



UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.

Incorporación No. 8727 – 15

a la Universidad Nacional Autónoma de México.

Escuela de Ingeniería Civil

**PROPUESTA DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PARA LAS
CALLES DE LA COLONIA “BENITO JUÁREZ”, EN EL MUNICIPIO
DE TEPALCATEPEC, MICHOACÁN.**

Tesis

que para obtener el título de

Ingeniero civil

Presenta:

Sebastian Moreno Chávez

Asesor:

Ing. Guillermo Navarrete Calderón

Uruapan, Michoacán, a 12 de mayo del 2016.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

ÍNDICE.

Introducción.	
Antecedentes.	1
Planteamiento de problema.	3
Objetivo general.	4
Pregunta de investigación.	4
Justificación.	5
Marco de referencia.	5
Capítulo 1.- Estructura de pavimento.	
1.1.- Definición de pavimento.	7
1.2.- Tipos de pavimentos.	9
1.3.- Pavimentos rígidos.	10
1.3.1.- Concreto hidráulico.	11
1.3.1.1.- Cemento Portland.	12
1.3.1.2.- Agua.	12
1.3.1.3.- Agregado grueso.	12

1.3.1.4.- Granulometría de los agregados gruesos.	13
1.3.1.5.- Agregado fino.	14
1.3.1.6.- Aditivos.	15
1.3.1.6.1.- Concreto fresco.	15
1.3.1.6.2.- Concreto endurecido.	16
1.3.1.6.3.- Inclusores de aire.	16
1.3.1.6.4.- Reductores de agua.	16
1.3.1.6.5.- Retardantes de fraguado.	17
1.3.1.7.- Aire incluido.	17
1.3.1.8.- Contenido de cemento.	18
1.3.1.9.- Relación de agua/cemento.	18
1.3.1.10.- Revenimiento.	19
1.3.1.11.- Resistencia de concreto hidráulico.	20
1.3.2.- Elementos que contribuyen los pavimentos rígidos.	21
1.3.2.1.- Capa de sub-rasante.	22
1.3.2.2.- Capa de sub-base.	23
1.3.2.3.- Losas de concreto hidráulico.	23

1.3.3.- Tipos y características del concreto hidráulico.	24
1.3.3.1.- Losas de concreto vibrado.	25
1.3.3.2.- Losas de concreto reforzado.	26
1.3.3.3.- Losas de concreto compactadas con rodillo.	26
1.4.- Pavimentos flexibles.	27
1.4.1.- Resistencia estructural.	29
1.4.2.- Deformabilidad.	32
1.4.3.- Durabilidad.	33
1.4.4.- Costo.	33
1.4.5.- Conservación.	34
1.4.6.- Comodidad.	34
Capítulo 2.- Mecánica de suelos.	
2.1.- Concepto de suelo.	35
2.1.1.- Agentes generadores del suelo.	36
2.1.2.- Suelos transportados y residuales.	38
2.1.3.- Fases del suelo.	39

2.2.- Clasificación de los suelos.	42
2.2.1.- Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).	44
2.2.1.1.- Suelos gruesos.	46
2.2.1.2.- Suelos finos.	48
2.3.- Pruebas de laboratorio enfocadas en vías terrestres.	50
2.3.1.- Muestreo de materiales.	50
2.3.2.- Composición granulométrica.	52
2.3.3.- Límites de consistencia.	55
2.3.4.- Valor relativo de soporte (VRS).	56
2.3.5.- Prueba de placa.	58
2.3.6.- Prueba AASHTO.	60
Capítulo 3.- Resumen de macro y micro localización.	
3.1.- Generalidades.	63
3.2.- Objetivo.	66
3.3.- Resumen ejecutivo.	66
3.4.- Entorno geográfico.	66

3.5.- Macro y micro localización.	68
3.6.- Hidrografía y clima.	70
3.7.- Actividades de la región.	71
3.8.- Informe fotográfico.	72

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

4.1.- Método empleado.	79
4.1.1.- Método matemático.	79
4.2.- Enfoque de la investigación.	80
4.2.1.- Alcance de la investigación.	80
4.3.- Diseño de la investigación.	81
4.4.- Instrumentos de recopilación de datos.	82
4.5.- Descripción del procedimiento de investigación.	82
4.6.- Análisis e interpretación de resultados.	83
4.6.1.- Aforo vehicular.	84
4.6.2.- Aplicación del método de la PCA.	89
4.6.3.- Elementos básicos, cálculos, factores de diseño y diseño de espesores.	90

4.6.4.- Dibujo de la estructura de pavimento.	107
Conclusión.	108
Bibliografía.	111
Anexos.	

INTRODUCCIÓN.

Antecedentes.

Desde el principio de la existencia del ser humano se ha observado en la necesidad de comunicarse, por lo cual fue desarrollando diversos métodos para la construcción de caminos, con el aumento de tamaño y densidad de las poblaciones, la comunicación con los otros pueblos se volvió fundamental para el desarrollo y la obtención de alimentos los cuales tenían que hacer llegar a los consumidores.

Se dice que un pavimento es “la capa o conjunto de capas de materiales apropiados, comprendidos, entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento” (Rico, Del Castillo; 1996; 99). La función del pavimento es la de conformar una superficie de rodamiento uniforme, resistente al tránsito de vehículos, de textura y color apropiado, así como resistente a los factores ambientales, el pavimento permite que los vehículos transiten con comodidad, seguridad y mantener un buen rendimiento económico.

Por lo tanto, las vías terrestres deben ser diseñadas y evaluadas, con criterios de factibilidad económica, ambiental y de ingeniería, requeridos por una sociedad que al final será la beneficiada.

Los pavimentos pueden estar conformados por una o varias capas de materiales, con diferentes calidades, las cuales varían de menor a mayor conforme se acercan a la capa de rodamiento específica del pavimento, los

materiales utilizados son naturales que pueden o no estar sometidos a procesos previos para su uso, como son el cribado, el triturado, lavado, entre otros.

A medida que los vehículos van evolucionando en peso, velocidad, comodidad, autonomía, se tiene la necesidad de proyectar vías de comunicación con mejores características geométricas, como curvatura, sobreelevación, pendiente longitudinal y transversal, visibilidad, secciones trasversales, uniformidad en la capa de rodamiento etc.

En cuanto a diseño de pavimento y temas sobre mecánica de suelos, en la biblioteca de la Universidad Don Vasco A.C., se localizaron las siguientes investigaciones: la tesis “Diseño del pavimento en la calle delicias y su conexión con la av. Latinoamericana, en la ciudad de Uruapan, Michoacán”, por Raymundo Ávila Hernández y Julián Eduardo Castillo Cázares, 2015, la cual tiene como objetivo en común con la presente tesis diseñar las capas del pavimento y presentar el proyecto más viable para los usuarios; También se encuentra un trabajo comparativo entre el “Diseño de Pavimento Asfáltico e Hidráulico para el Proyecto Boulevard paseo de la Revolución en Uruapan, Michoacán”, elaborada por César Ignacio Madrigal Alarcón, 2003, en la que su propósito es presentar una solución alterna al proyecto elaborado para la ampliación de la vía urbana Paseo de la Revolución, la cual consta de un pavimento de tipo hidráulico, presentando en dicho proyecto ventajas y desventajas que tendría el usar este tipo de pavimento, llegándose a la conclusión de que, el costo inicial de un pavimento rígido es más elevado que el de un pavimento flexible, pero, una de las ventajas del pavimento rígido es que tienen un bajo costo en cuanto a mantenimiento se

refiere, por ser más duradero que el otro. Se encuentra también el estudio de “Diseño de la Estructura de Pavimento Rígido para el Boulevard Industrial del Km 9+800 al 10+900 en la ciudad de Uruapan, Michoacán”., de Cristian Pérez Sepúlveda, 2011, el cual presenta como objetivo cambiar la superficie de rodamiento existente y así evitar el mantenimiento constante de dicha vía.

Planteamiento del problema.

Un camino o vía de comunicación en malas condiciones afecta económica y socialmente, ya que acarrea problemas en una vialidad como en el transporte del comercio, reducción de velocidad, daños hacia el vehículo, inseguridad al transitarlo y la comodidad del mismo, por ello es necesario contar con un pavimento que garantice la seguridad, la confianza y la certeza de un camino seguro para el traslado de mercancías y las necesidades primordiales de la ciudadanía.

Para el tránsito vehicular del municipio se ve la necesidad de contar con buenos pavimentos, que sean duraderos y que ofrezcan un grado de satisfacción para el conductor, es decir, que conlleven a un tránsito fluido y seguro, para ello se deben realizar estudios y diseños para cumplir con las condiciones satisfactorias mencionadas de acuerdo a este tipo de estructura, en este caso, para el proyecto de las vialidades en el municipio se realiza esta investigación con la finalidad de proporcionar un pavimento que cumpla las condiciones requeridas y que se

mantenga en su correcto funcionamiento para que agilice el tráfico de los vehículos y brinde una mayor comodidad a los ciudadanos que transiten en él.

Por lo anterior, cabe preguntarse ¿Cuál es la propuesta idónea de la estructura de pavimento para las calles de la colonia “Benito Juárez” en Tepalcatepec, Michoacán?

Objetivo general.

Diseñar la estructura de pavimento rígido para las vialidades de la colonia “Benito Juárez” la cual se encuentra situada en Tepalcatepec, Michoacán, basándose en los principales métodos del diseño para este tipo de estructuras.

Objetivos particulares:

- 1) Establecer la definición de pavimentos.
- 2) Determinar cuáles son los tipos de pavimentos y sus conformaciones.
- 3) Señalar los principales métodos de diseño de pavimentos.
- 4) Determinar el pavimento adecuado para el presente estudio.

Pregunta de investigación.

¿Qué estructura de pavimento rígido, es la adecuada para las vialidades de la colonia “Benito Juárez” en Tepalcatepec, Michoacán?

Justificación.

Por medio de esta investigación se diseñará la estructura de un pavimento rígido, para las calles de Tepalcatepec, Michoacán, ya que es de suma importancia para los ciudadanos de esta localidad. Con esta investigación se beneficiarán sobre todo los habitantes de Tepalcatepec, al igual que a los estudiantes que busquen información sobre esta área, se beneficiarán con la calidad de un buen pavimento diseñado por razón que es una vialidad con flujo medio en el transporte de mercancías, llevando a cabo una mejor estructura de pavimento y en tecnología que hoy en día apoya.

En un futuro, los usuarios se verán beneficiados con el trasiego y el uso continuo de la vialidad, así mismo quedará como referencia para los futuros proyectos de vialidades en esta zona, tanto en el ámbito privado como público.

Marco de referencia.

El presente trabajo se realizó en la ciudad de Tepalcatepec, Michoacán, se localiza al Oeste del estado de Michoacán de Ocampo, en las coordenadas 19°11' de latitud Norte y 102°51' de longitud Oeste, el municipio cuenta con una extensión territorial de 786.25 km², a una altura de 320 metros sobre el nivel del mar. Y de acuerdo con el (INEGI 2012), cuenta con una población total de 22,987 habitantes, se encuentra delimitado al Norte y al Oeste con el Estado de Jalisco, al Este con Buenavista y Aguililla, al Sur con Coalcomán. Las principales actividades

es el cultivo de maíz, sorgo, ajonjolí, caña, pepino, además tiene la cría de ganado bovino, porcino, equino y caprino.

La ubicación geográfica de la colonia en la que se realizará dicho estudio queda comprendida en las en las coordenadas 19°10'53.65" de latitud Norte y 102° 50'36.88" de longitud Oeste, a una altura de 322 metros sobre el nivel del mar. Limita al Norte con la colonia Cantarranas y colonia Centro, al Este con colonia Los Tamarindos, al Sur con la colonia El Laurel y al Oeste con colonia Los Mangos. El predio destinado a la urbanización de dicha colonia cuenta con 684,894 m², destinado 148,349 m² para vialidades.

CAPÍTULO 1

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

En el presente capítulo se estudia el pavimento, sus clasificaciones, al igual que la descripción de cada una de ellas, los elementos que los integran, las ventajas y desventajas que presentan los pavimentos en el uso cotidiano y se enfocará en un contenido mayor a los pavimentos rígidos debido a que este proyecto de investigación es de un diseño de este tipo de elemento.

1.1.- Definición de pavimento.

Se debe entender que un pavimento puede definirse como la capa o conjunto de capas de materiales específicos, comprendidos entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento de distintos caminos, cuyo principal objetivo es proporcionar una superficie de rodamiento, así como cumplir con ciertas especificaciones como sería el color y su textura, la resistencia al control de tránsito, el intemperismo y otros factores que puedan afectar su correcto funcionamiento, S.O.P.(1975).

En otras palabras, “el pavimento es la superestructura de la obra vial, que hace posible el tránsito de los vehículos con la comodidad, seguridad y economías previstas por el proyecto” (SOP:1975;7). Así, de acuerdo con la Secretaría de Obras Públicas (1975), la estructura o disposición de los elementos que lo componen están formados por una sola capa o, en su mayoría, por varias capas que pueden ser de materiales naturales seleccionados de acuerdo a las

especificaciones de la superficie de rodamiento propiamente dicha puede ser una carpeta asfáltica, una losa de concreto hidráulico o estar formada por acumulaciones de materiales pétreos compactados. De hecho gracias a la tecnología ahora podemos contar con una muy diversa gama de secciones estructurales y elegir la más apropiada para las condiciones específicas del caso que corresponda.

Los pavimentos deben tener en cuenta en su diseño las cargas a las que van a ser sometidos debido al incremento de tránsito que van a circular sobre ellos, deben ser estables ante los problemas del intemperismo, que resistan las cargas de tránsito que pasarán sobre ellos, tener una textura apropiada de rodamiento, que sea durable, así como económicas.

Una de las condiciones que el pavimento debe cumplir es soportar las cargas impuestas por el tránsito. Las cargas del tránsito producen esfuerzos normales y cortantes en todo punto de la estructura. En el estudio de los pavimentos flexibles puede considerarse a los esfuerzos cortantes como la principal causa de falla desde el punto de vista estructural, es por eso que este tipo de pavimento debe contar con un buen diseño y cálculo estructural para reducir la deformación y alargar más el tiempo de servicio de dicha estructura.

La carpeta asfáltica resulta de la mezcla de materiales bituminosos y materiales pétreos seleccionados, mientras que las losas de concreto hidráulico resultan de la combinación de materiales pétreos controlados con agua y cemento Portland, en condiciones previamente especificadas.

1.2.- Tipos de pavimentos.

Como se ha mencionado en los subtemas anteriores, hay dos tipos de pavimentos: los rígidos y los flexibles.

Badillo (1995) señala que los pavimentos rígidos están formados por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la capa del material seleccionado o directamente sobre la capa subrasante, los concretos más usados son de resistencia a la compresión de entre 210 kg/cm² y de 350 kg/cm², a los 28 días, aunque de acuerdo con el IMCYC (2002), los valores más comúnmente utilizados para el diseño de pavimentos rígidos varían entre 35 kg/cm² a 50 kg/cm², estos en relación a la resistencia a flexión del concreto hidráulico, mientras que los pavimentos flexibles están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, denominada base y subbase, las cuales la calidad de cada una de ellas van en descenso conforme van alejándose de la superficie de rodamiento, la tendencia de uso dependiendo del tipo de pavimento es, para carreteras, pavimentos tipo flexibles, mientras que para zonas urbanas y aeropistas, pavimentos tipo rígido; en esta investigación no se verá a detalle el pavimento flexible ya que la presente investigación se basa más en el tipo de pavimento rígido.

1.3.- Pavimento rígido.

Un pavimento se puede definir como una estructura vial que hace posible el tránsito de vehículos con las condiciones de seguridad, comodidad y economía. Dentro de la categoría de los pavimentos se encontrarán a los pavimentos tipo rígidos, los cuales están formados por una losa de concreto hidráulico sobre una base, o directamente sobre la sub-rasante. Transmite directamente los esfuerzos al suelo en una forma minimizada, es auto-resistente, y la cantidad de concreto debe ser controlada, debido a que el módulo de elasticidad del concreto es mucho mayor al de los materiales que le sirven de apoyo, la capacidad de carga del pavimento depende en su mayoría de la losa de concreto hidráulico, la misma que debe resistir los esfuerzos producidos por el tránsito, los cambios bruscos de temperatura y la humedad que se encuentra en el ambiente, así como los cambios volumétricos del material al que le sirve de apoyo; las características estructurales de las losas de concreto hidráulico, dependen de la cantidad de concreto utilizado en su conformación y del espesor de las mismas.

Otro factor importante que influye para este tipo de pavimento, son las juntas que dividen las losas de concreto hidráulico, puesto que del diseño adecuado de las mismas, dependerá de la buena distribución de la carga entre losas y la cantidad de rodamiento de los vehículos.

De acuerdo con el IMCYC (2002), este tipo de pavimento debe satisfacer determinados atributos funcionales tales como:

- Resistencia al derrapamiento.
- Regularidad superficial tanto longitudinal como transversal.
- Eliminación rápida del agua en la superficie de rodamiento.
- Bajo nivel de desgaste de las llantas en los vehículos.
- Condiciones de durabilidad.
- Resistencia a los efectos de derrames de combustibles y aceites.
- Propiedades adecuadas de flexión luminosa.
- Condiciones adecuadas para el señalamiento horizontal.
- Buena apariencia general a la capa de rodamiento.

1.3.1.- Concreto hidráulico.

Conociendo la definición de un pavimento rígido, y que su principal característica es la superficie de rodamiento a base de losas de concreto hidráulico, es necesario conocer más a fondo el concepto de “concreto hidráulico”, se dice que “es un material pétreo artificial, elaborado al mezclar agua, cemento Portland, arena y grava, en proporciones tales que se produzca la resistencia y la densidad deseada.” (Olivera; 1986; 211)

A continuación se mencionan algunos de los elementos que los integran y su función o efecto dentro de la mezcla de concreto hidráulico.

1.3.1.1.- Cemento Portland.

En la fabricación de este elemento de concreto, existen diferentes tipos que pueden ser empleados en la conformación de pavimentos rígidos, los más comunes son los cementos Portland del tipo I y tipo II, los cuales se refieren a los cementos Portland normales o de empleo general, y los cementos Portland de calor moderado, el cual genera menor cantidad de calor y su desarrollo de resistencia será más lento que el cemento tipo I, adicionalmente a estos tipos de cemento, se encuentran los del tipo III (Rápida resistencia), tipo IV (Bajo calor de hidratación), tipo V (resistentes a los sulfuros). (IMCYC; 2002; I-33).

1.3.1.2.- Agua.

El agua requerida para la elaboración de las mezclas de concreto hidráulico debe ser libre de materia en suspensión; siempre que sea posible debe utilizarse agua potable, no debe contener impurezas que puedan interferir en la hidratación del cemento Portland, produciendo retrasos en el fraguado y reduciendo su capacidad de resistencia.

1.3.1.3.- Agregado grueso.

Son materiales granulares sólidos inertes que se emplean en los firmes de las carreteras con o sin adición de elementos activos y con granulometrías adecuadas; se utilizan para la fabricación de productos artificiales resistentes, mediante su mezcla con materiales aglomerantes de activación hidráulica (cementos, cales, etc.) o con ligantes asfálticos. (Smith M. R. and L. Collins, 1994)

Otra consideración importante, es la forma de las partículas que presentan los agregados, las diferentes formas como planas, alargadas y de forma angulosa, que requieren mayor cantidad de agregado fino y mayor consumo de cemento para crear una mezcla que pueda ser trabajable, para las partículas con forma redondeada o equidimensionales, formas que se obtienen del separado de arenas o en su efecto el cribado o en un proceso de trituración se puede obtener las características adecuadas para acercarse a la forma cúbica adecuada ya que la grava triturada produce una resistencia mayor que la redondeada, esto se debe a la trabazón que se desarrolla en las partículas angulosas. El agregado ideal debe ser limpio, cúbico, anguloso, triturado 100 %, con un mínimo de partículas planas y elongadas.

1.3.1.4.- Granulometría de los agregados gruesos.

El tamaño máximo del agregado grueso que se utiliza en el concreto tiene su fundamento en la economía. Comúnmente se necesita más agua y cemento para agregados de tamaño pequeño que para tamaños mayores, para revenimiento de aproximadamente 7.5 cm para amplio rango de tamaños de agregado grueso.

El número de tamaño de la granulometría (o tamaño de la granulometría). Se aplica a la cantidad colectiva del agregado que pasa a través de un arreglo de mallas. El tamaño máximo nominal de un agregado, es el menor tamaño de la malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado. La malla de tamaño máximo nominal, puede retener de 5% al 15% del agregado dependiendo del

número del tamaño. Por ejemplo, el agregado del número del tamaño 67 tiene un tamaño máximo de 25 mm y un tamaño máximo nominal de 19 mm. De 90 a 100 por ciento de este agregado debe pasar la malla de 19 mm y todas sus partículas deberán pasar por la malla de 25 mm. Por lo común el tamaño máximo de las partículas de agregado no debe pasar:

- Un quinto de la dimensión más pequeña del miembro de concreto.
- Tres cuartos del espaciamiento libre entre barras de esfuerzo.
- Un tercio del peralte de las losas.

La granulometría consiste en un análisis de separación para conocer los porcentajes de granos de cada tamaño.

El agregado debe tener una granulación dada de acuerdo con su tamaño máximo y dentro de los límites fijados. es.scribd.com (2015)

1.3.1.5.- Agregado fino.

El agregado fino se emplea en el concreto para mejorar las propiedades de la mezcla plástica, facilitar el acabado, promover la uniformidad e impedir la segregación. Estas mejoras se logran en gran parte, por la composición granulométrica, el tamaño, la forma y la textura de la superficie de las partículas. Con excepción del agregado ligero, el agregado fino para concreto debe consistir en arena natural, arena manufacturada o una combinación de ambas.

La arena que pasa las pruebas estándar de consistencia, impurezas orgánicas y materiales deletéreos que pudieran reaccionar desfavorablemente con

los álcalis del cemento; debe estar graduada dentro de los límites específicos. Las mallas estándar para la granulometría del agregado fino tienen los números 4, 8, 16, 30, 50, 100, es.scibd.com (2015).

1.3.1.6.- Aditivos.

La finalidad del aditivo es mejorar las características del concreto como es el tiempo de fraguado, dureza, flexibilidad, etc. Son modificadores que mejoran las mezclas de concreto, y son solubles al agua que mezclándose se hacen uno solo en porcentajes no mayores al 1% de la mezcla del cemento. La importancia de los aditivos es que permiten la producción de concretos con características diferentes a las tradicionales y que le da un gran impulso a la construcción. Estos pueden clasificarse el tipo de concreto que se requiera como puede ser fresco o endurecido.

1.3.1.6.1.- Concreto fresco.

Las características que tienen los aditivos frente al concreto fresco es incrementar la trabajabilidad de este utilizando menos agua o retardar o acelerar el endurecimiento o fraguado también modifican el revestimiento disminuyendo el sangrado y reduciendo la segregación o separación y mejorando la bombeabilidad del concreto.

1.3.1.6.2.- Concreto endurecido.

A este tipo de concreto la presencia de aditivos ayudan a acelerar la resistencia temprana, mejorar la durabilidad frente a la exposición y también a disminuir la permeabilidad.

1.3.1.6.3.- Inclusores de aire.

Los aditivos llamados inclusores de aire introducen microburbujas en la mezcla de concreto hidráulico mejorando su trabajabilidad así como su durabilidad, la resistencia de este aditivo también se puede ver afectado por consecuencia de los siguientes factores como; concentración del aditivo, tiempo y velocidad del mezclado, contenido de agua, composición granulométrica de los agregados, temperatura y contenido del cemento y de finos en la mezcla.

1.3.1.6.4.- Reductores de agua.

La finalidad de estos aditivos también es minimizar las cargas eléctricas entre las partículas del cemento, disgregando y dispersando dichas partículas en la mezcla, también así por consecuencia reduciendo la cantidad de agua requerida y mejorando la eficiencia del cemento, todo esto sin afectar la resistencia y la trabajabilidad del concreto hidráulico.

1.3.1.6.5.- Retardantes de fraguado.

Después del mezclado y dependiendo del uso, el concreto tiene que mantenerse con la fluidez y maleabilidad necesaria durante cierto periodo. Con los aditivos que se utilicen se puede calcular con precisión el tiempo de fraguado del concreto. El concreto fresco solamente debe mantenerse fluido durante su aplicación. Por el contrario, el concreto transportable debe mantenerse fluido hasta alcanzar el destino en donde será utilizado. Aditivos conocidos como superfluidificantes, los cuales se emplean en trabajos de pavimentación en los que se utilicen métodos manuales o que se requiera concretos autonivelantes, funcionan mejorando notablemente la trabajabilidad del concreto hidráulico.

1.3.1.7.- Aire incluido.

Es conveniente que las mezclas de concreto utilizados para pavimentos rígidos contengan la presencia de aire incluido, ya que este punto aumenta la trabajabilidad del mismo cuando su estado de este es fresco, también aumenta la resistencia de los factores ambientales, en un concreto hidráulico la proporción de aire incluido no debe ser mayor del 6 por ciento, aunque el tamaño máximo también dependerá del valor agregado utilizado en el concreto hidráulico realizado.

1.3.1.8.- Contenido de cemento

Conforme con el IMCYC (2002), para obtener concretos hidráulicos de gran durabilidad, resistentes a los tipos de clima y al tránsito vehicular, es recomendable que el contenido de cemento por metro cúbico de concreto hidráulico sea de 300 kg.

Contenido de aire incluido en la mezcla de concreto hidráulico, recomendado según el IMCYC.	
Tamaño máximo de agregado en cm.	Aire incluido en %
3.80 - 5.00	5 ± 1
2.00 - 2.50	6 ± 1
0.09 - 1.30	7.5 ± 1

Imagen 1.1.- Contenido de aire incluido.

Fuente: Pavimentos de concreto para carreteras; IMCYC; 2002, I-32.

1.3.1.9.- Relación de agua / cemento.

La relación agua/cemento es la proporción utilizada para obtener las diferentes mezclas tanto para la obtención de morteros como de hormigones, con el objetivo de controlar la cantidad de agua en la mezcla del concreto hidráulico, debiendo tener en cuenta, que en general, la relación adoptada se localiza en un rango de entre 0.47 y 0.55, esto con la finalidad de obtener la resistencia y la durabilidad esperada.

A continuación se mostrará una tabla donde se cumplen los parámetros de dicha relación:

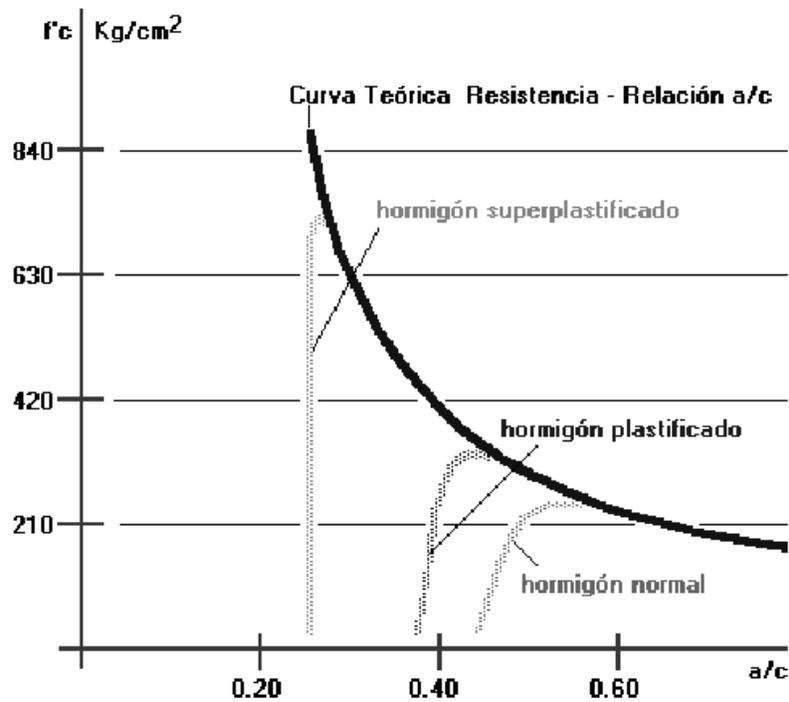


Imagen 1.2.- Curva teórica de resistencia – Relación agua/cemento

Fuente: Publiespe.espe.edu.ec

1.3.1.10.- Revenimiento.

Un concreto de calidad uniforme requiere que los materiales se mezclen totalmente hasta que tenga una apariencia uniforme. La mezcla de concreto debe tener una trabajabilidad apropiada para su fácil colocación; una vez endurecido el concreto tendrá que cumplir con el requisito de resistencia para soportar las distintas sollicitaciones a las que podrá estar expuesto y además deberá poseer una adecuada durabilidad frente a las condiciones de exposición a las que será sometido, de acuerdo con Tecnología del concreto (1989).

El concreto utilizado para la conformación de los pavimentos regidos, deben de evitar tener un exceso de agua en la mezcla de elaboración, debe de

mantenerse un equilibrio que no afecte la trabajabilidad y compactación del concreto, por esta razón los revenimientos recomendados son relativamente bajos, con un máximo valor de 10 cm. Todo esto con la finalidad de mejorar el manejo de los concretos hidráulicos, así como emplear aditivos y retardantes los cuales alargan o aceleran el fraguado del concreto hidráulico, según IMCYC (2002).

Se le llama revenimiento a la diferencia de altura que hay entre la parte superior del molde y la parte superior de la mezcla fresca cuando ésta se ha asentado después de retirar el molde. Esta distancia se expresa generalmente en cm y varía según la fluidez del concreto. Los principales factores que afectan al revenimiento son: el contenido de agua, la composición granulométrica, la relación de los agregados gruesos y agregados finos, la forma y textura de los agregados, el uso de los aditivos y la temperatura del ambiente.

1.3.1.11.- Resistencia al concreto hidráulico.

La resistencia al concreto hidráulico, constituye el más importante valor a considerar en el diseño de un pavimento rígido, ya que la losa de concreto hidráulico que conforma la superficie de rodamiento de este tipo de pavimentos, al momento de imponerles carga por el tránsito de vehículos, se flexionarán, produciendo en ellas esfuerzos de tensión y compresión, siendo las primeras las más delicadas puesto que la resistencia a tensión de concretos hidráulicos sin esfuerzos es apenas del orden del 10% de la resistencia a compresión, esto según IMCYC, por esta situación los diseños deben de considerar la resistencia del

concreto hidráulico a tensión, determinándose por medio del módulo de ruptura a la tensión por flexión (MR).

De acuerdo con el IMCYC (2002), los valores más comúnmente utilizados para el diseño de pavimentos rígidos varían entre 35 kg/cm² a 50 kg/cm², mientras que en pavimentos y autopistas de tránsito pesado se recomienda utilizar valores de MR mayores de 40 kg/cm².

En algunas ocasiones y sobre todo en obras pequeñas, se puede controlar la resistencia del concreto mediante pruebas convenciones de compresión de cilindros de concreto hidráulico, estableciendo una correlación con el módulo de ruptura, que usualmente y de acuerdo con el IMCYC (2002), va entre 0.10 y 0.17 de la resistencia a la compresión de concreto hidráulico.

1.3.2.- Elementos que constituyen los pavimentos rígidos.

Un pavimento rígido como, se ha comentado, está conformado por varias capas, las cuales varían en los materiales, calidad y espesor, el IMCYC (2002) menciona una estructura típica de este tipo de pavimento, claramente, a reserva del diseño específico para cada caso; entre los elementos que se puede mencionar que integran una estructura de pavimento rígido, terreno natural, está la capa sub-rasante, la capa sub-base, la losa de concreto hidráulico.

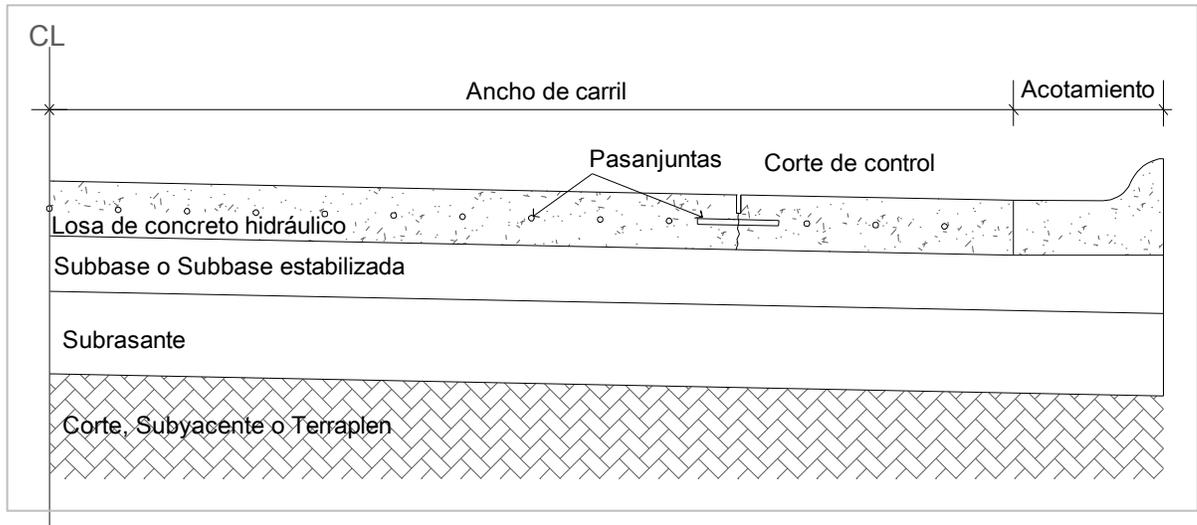


Imagen 1.2.- Estructura de pavimento rígido

Fuente: Realización propia.

1.3.2.1.- Capa de sub-rasante.

Esta capa constituye la capa superior de una terracería, por encima de los cortes, la capa que está por debajo o los cuerpos de terraplén, la cual puede estar formada por el mismo terreno natural adecuadamente compacto, esto dependerá de la misma calidad del terreno natural, o por una capa de material seleccionado proveniente de un banco de material, esta capa se constituye el apoyo del pavimento, por lo que debe de resistir los esfuerzos que le trasmite este aún en condiciones de humedad excesiva.

1.3.2.2.- Capa de sub-base.

Esta capa como función principal tiene que controlar los cambios volumétricos de la capa sub- rasante e incrementar el módulo de reacción para el apoyo de las losas, así como de conformar una plataforma estable de trabajo para la construcción del pavimento, permitiendo un nivelado igual al del soporte de las losas de concreto hidráulico, los materiales utilizados en la distribución de esta capa por lo general, son materiales granulares no cementados, que son seleccionados de bancos de material, los cuales de acuerdo al tránsito que se proyecte para la vía, estos pueden ser estabilizados o no, he incluso si el tránsito es muy pequeño, las losas de concreto hidráulico, se podrían colocar sobre la capa sub-rasante, otra de las funciones de la capa de sub-base, es evitar la pérdida de material fino a través de las juntas y grietas.

En ocasiones, a esta capa se le llama capa de base, por estar inmediatamente debajo de la capa de rodamiento, sin embargo, la calidad del material utilizado para la distribución de esta capa no llega a ser tan estricto como una capa de base hidráulica para un pavimento flexible, esto tomando en cuenta que las losas de concreto hidráulico reducen los esfuerzos impuestos a esta capa.

1.3.2.3. Losas de concreto hidráulico.

Las losas de concreto hidráulico, representan la capa del rodamiento de este tipo de pavimento, dichos elementos deben estar diseñados para resistir los esfuerzos producidos por el tránsito de proyecto, los fenómenos naturales del tiempo y el intemperismo, proporciona una superficie de rodamiento segura,

cómoda con características estables o permanentes durante toda su vida útil, de manera que su conservación sea esporádica y bajo costo.

Dentro de esta capa e integrada a las losas de concreto hidráulico, y si el diseño así lo establece, se puede encontrar las pasajuntas, las cuales pueden ser horizontales como transversales, estos elementos generalmente de acero, nos permitirán transmitir los esfuerzos producidos por el tránsito entre las losas de concreto hidráulico.

1.3.3- Tipos y características del concreto hidráulico.

Como comenta el IMCYC (2002), las losas de concreto hidráulico constituyen los elementos de mayor responsabilidad estructural dentro de los pavimentos rígidos, mientras que las capas inferiores, aseguran el apoyo uniforme y estable del pavimento, los espesores de las losas pueden variar entre 15 cm, para tránsitos ligeros, hasta llegar al orden de 40 cm. Para casos de autopistas y carreteras de altas especificaciones, requiriendo además concretos homogéneos y de alta calidad, con resistencias a la tensión no inferiores a 35 kg/cm², aunque generalmente se utilizan de 40 kg/cm².

Adicionalmente, el IMCYC (2002) menciona que los pavimentos de concreto hidráulico, generalmente se dividen en: losas de concreto vibrado, concreto reforzado y concreto compactado.

1.3.3.1- Losas de concreto vibrado.

Estos tipos de pavimentos son los más comunes, están realizados a base de concreto hidráulico vibrado en masa, en los cuales las losas de concreto se dividen mediante juntas longitudinales y transversales, de forma generalmente cuadrada con relaciones largo/ancho de entre 1.00 y 1.25, en superficies de anchos irregulares se las formas de las losas adoptan formas regulares evitando ángulos agudos.

De acuerdo con el IMCYC (2002), la separación entre las juntas que se realizan en los pavimentos de concreto hidráulico, varían entre cuatro y seis metros, esto para favorecer el efecto de la transferencia de cargas entre ellas, las juntas se construyen en forma machihembrada para las que son longitudinales, mientras que para las transversales se realizan cortes en las losas para generar las fracturas controladas, generándose la transferencia de carga por efecto de la fricción y trabazón mecánica entre sus caras. Para mantener unidas las losas continuas y asegurar un efecto de transferencia de carga entre ellas, se colocan pasajuntas metálicas, las cuales para las juntas transversales generalmente son varillas lisas, y para las longitudinales varillas corrugadas, las cuales se denominan como barras de sujeción.

Para algunos diseños se omiten las pasajuntas, en cambio conforman sub-base rígidas y no erosionables, así como se restringe la longitud de las losas a un máximo de cuatro metros.

1.3.3.2 Losas de concreto reforzado.

Este tipo de losas cuenta con un refuerzo de acero, ya sea a base de malla electrosoldada que ya viene prefabricada o habilitándose un armado con varillas corrugadas, dicho armado se coloca de preferencia en el tercio superior del espesor de la losa, se coloca este acero con el propósito de mantener unidas la fisuras transversales que inevitablemente aparecen en el caso de las losas largas, con este procedimiento disminuyen las juntas reduciendo su número y las complicaciones que estas puedan tener, el IMCYC (2002), menciona que “ la cantidad de acero de refuerzo es proporcional a la longitud de las losas, siendo en general de 2 a 3 kg/m² para las losas de 8.0 m a 15.0 m de largo y no es suficiente para reducir el espesor de las losas.” (IMCYC 2002, I-6). A causa del alto costo que tiene para la construcción de este tipo de losas, su elaboración ha caído casi en desuso, utilizándose principalmente en autopistas con tránsito de vehículos pesados, en las cuales se desea una mínima conservación o en su caso nula. La desaparición de las juntas trasversales genera un rodamiento más cómodo para el usuario.

1.3.3.3- Losas de concreto compactado con rodillo.

Este tipo de losas se construyen con un concreto hidráulico con bajo nivel de agua en su elaboración, aunque con una cantidad similar de cemento que para un concreto vibrado, para este tipo de losas la mezcla de concreto hidráulico se coloca con extendedoras de concreto hidráulico, y pasando sobre la capa

extendida, posteriormente rodillos vibratorios y neumáticos, los cuales compactarán la capa de concreto hidráulico, una vez compactado el concreto hidráulico la vía puede abrirse al tránsito, para carreteras principales se recomienda realizar juntas transversales a intervalos de entre 6.0 m a 7.0 m. este proceso sin el adecuado control topográfico, deja superficies de rodamiento irregulares, por lo cual no puede ser utilizado en carreteras de altas especificaciones.

1.4.- Pavimento flexibles.

De acuerdo con Rico y del Castillo (1996), un pavimento flexible es un conjunto de capas formando por materiales controlados que va desde la sub-rasante hasta la rasante de un camino, el cual su principal función es dar una uniforme superficie de rodamiento que cuente con características de resistencia al tránsito de los vehículos, esta superficie debe de ser cómoda, económica y dar seguridad al usuario.

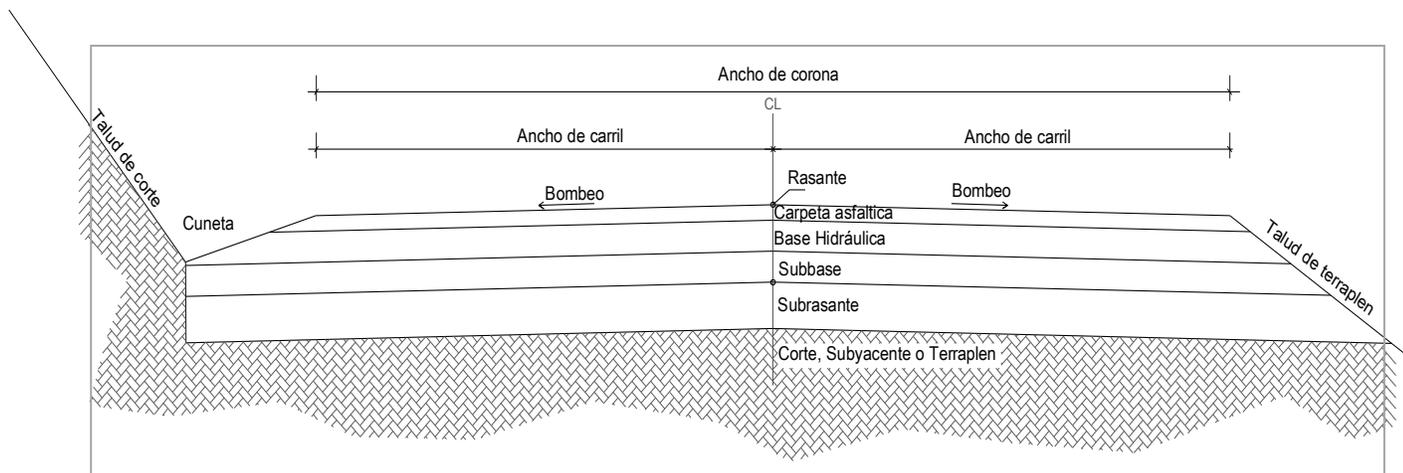


Imagen 1.3.- Sección típica de un pavimento flexible.

Fuente: Realización propia.

La estructura de este tipo de pavimentos, así como de la característica de los materiales empleados para su construcción, ofrecen una gran variedad de posibilidades, ya que pueden estar conformados desde una sola capa hasta varias de ellas. Los materiales que las construyen pueden ser tanto de materiales tal como se tiene en los bancos de explotación o previamente sometido a procesos de selección.

Al igual de los pavimentos rígidos, este tipo de pavimentos debe contar con las condiciones adecuadas de estabilidad, resistencia, comodidad, economía y conservación, con el entendido que al tener una superficie de rodamiento flexible, se requerirían capas de menor calidad y en mayor número, todo para mantener una buena distribución de esfuerzos a las terracerías.

De acuerdo con Rico y del Castillo (1996), las características fundamentales que debe presentar un pavimento flexible, considerando éste como un conjunto uniforme y homogéneo, son:

- La resistencia estructural.
- La deformabilidad.
- La durabilidad.
- El costo.
- La conservación.
- La comodidad.

1.4.1.- Resistencia estructural.

Esta característica está enfocada a la resistencia de soportar las cargas impuestas por el tránsito de los vehículos, dentro de un nivel paulatino de deterioro el cual debe ser previsto en el proyecto. “las cargas del tránsito producen esfuerzos normales y cortantes de todo punto de la estructura” (Rico y del Castillo; 1996, 102), en el estudio de los pavimentos flexibles se considera que la principal causa de falla de una estructura es debida a los esfuerzos cortantes que la afectan, por ende, el estudio a la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos resulta fundamental; adicionalmente a los esfuerzos cortantes que actúan en los pavimentos, existen los esfuerzos producidos por la aceleración y frenado de los vehículos, esfuerzos que se desarrollan a los niveles superiores de la estructura.

La resistencia de este tipo de pavimentos se planea principalmente en relación con la estructura de los materiales que la integran, aun cuando los materiales de la capa de terracería o desplante de dicha estructura sea de una calidad relativamente mala, el espesor protector o la estructura de pavimento en sí, disminuye los esfuerzos que llegan a la terracería, evitando la falla de este tipo de suelos no obstante los autores Rico y Del Castillo (1996) mencionan que muchas de las fallas que actualmente se consideran en los pavimentos, vienen desde la capa de terracería, la cual deberá ser integrada con una mayor interacción en los diseños de pavimento, lo cual conducirá a una mayor exigencia de calidad de los materiales que la integran y con ello a un incremento general del costo de los pavimentos flexibles.

Otros de los factores que interviene en la resistencia de los materiales es el contenido de humedad, puesto que no se ha llegado a predecir el contenido de humedad más desfavorable, se llega a considerar que el suelo llegara a saturarse, adquirirá una humedad de equilibrio y mantendrá la humedad óptima de compactación cercana a ella.

El tipo de carga es la aplicada y la velocidad con la cual se realiza, es otro factor que influye en la resistencia, los pavimentos están sujetos a cargas móviles las cuales no han sido suficientemente estudiadas así como sus efectos, las cuales requieren una mayor integración tanto en los diseños como en las pruebas de laboratorio previas a estos.

El hecho que las cargas aplicadas sean repetitivas a la larga afecta a la relativa rigidez de la capa de los pavimentos, en el caso de los pavimentos flexibles este efecto se refleja principalmente en la carpeta asfáltica así como en las bases estabilizadas, conociendo este fenómeno como “fatiga”, la cual produce rupturas de granos en las partículas granulares lo que provoca la modificación de su resistencia, la repetición de las cargas aplicadas, producen también la interpenetración de las partículas granulares en las capas de suelo más fino.

La resistencia de los materiales que conformarán los pavimentos se pueden considerar desde dos puntos de vista generales: en relación a las cantidad de carga que pueden desarrollar para soportar adecuadamente las cargas producidas por el tránsito; y en cuanto a la capacidad de carga de la capa subrasante que contribuye el nexo de unión entre la terracería y el pavimento para soportar los esfuerzos y transmitir dichos esfuerzos a la terracería, en relación a estas dos consideraciones se pueden mencionar que la calidad de los materiales y su espesor definirá la transmisión de esfuerzos de una capa a otra, ya que una capa de espesor delgado pueden soportar los esfuerzos que le sean aplicados, pero la transmisión de los mismos será mayor que una capa con espesor mayor, en los diseños de pavimento se tendrá que buscar un equilibrio entre la distribución de los esfuerzos y el espesor de las capas, considerando la calidad de cada una ellas; para el segundo punto de vista, podemos mencionar que una subrasante resistente será capaz de tolerar esfuerzos mayores, por lo que la estructura del pavimento podrá conformarse con espesores más pequeños, considerando ahorros en la inversión general del proyecto.

1.4.2- Deformabilidad.

En la relación a la deformación y a la naturaleza de los materiales que forman la estructura de pavimento, la deformabilidad que tiende a producirse hacia niveles inferiores a la terracería es mucho más deformable que el pavimento propiamente dicho.

De acuerdo con Rico y Del Castillo (1996), en los pavimentos las deformaciones interesan desde los dos puntos de vista, porque las deformaciones excesivas están asociadas a fallas estructurales, y a que un pavimento deformado deja de cumplir sus funciones primordiales, independientemente que la deformación no haya conducido a una falla.

Existen varias clases de deformaciones producidas por las cargas de tránsito, las elásticas que son las que se pueden recuperar instantáneamente, y las plásticas las cuales permanecen en el pavimento después de cesar la causa reformatora.

Las deformaciones elásticas repetidas tienen sus principales efectos en los materiales inadmisibles, que se consideren como fallas estructurales, lo cual paradójicamente, este tipo de deformaciones viene acompañado de una densificación de los materiales, de tal manera que en pavimento fallado puede ser más resistente que el pavimento inicial.

1.4.3- Durabilidad.

Rico y el Castillo (1996) mencionan que esta característica es la que genera una mayor incertidumbre, puesto que no existe una definición fiel del concepto, aunque está ligada de factores económicos y sociales, de tal forma que en un camino modesto la duración de pavimento puede ser menor que la del camino, las reconstrucciones que se requieren valdrán menos que el costo inicial de una camino más durable, por el contrario para una vía de alto tránsito e importancia económica, se requerirían pavimentos duraderos en los que las conservaciones sean menores y no intervengan en gran medida con el servicio que la vía presente.

1.4.4- Costo.

El pavimento debe representar un balance entre la satisfacción de los requisitos de resistencia, estabilidad y costo, considerando un diseño de pavimento adecuado aquel que llegue a satisfacer los requisitos de servicio a un costo mínimo.

Esta característica toma su importancia desde la elección del tipo de pavimentos, las condiciones de operación, las condiciones ambientales, la calidad de los materiales, los costos de mantenimiento, etc.

1.4.5- Conservación.

El concepto abarca una infinidad de factores que se deben tomar en cuenta, desde los factores climáticos que influyen decisivamente en la vida de los pavimentos, la intensidad del tránsito y el crecimiento del mismo, el comportamiento general de las terracerías, las condiciones del drenaje y sub-drenaje, así como la degradación estructural de los materiales, sin olvidar la falta de una conservación sistemática que conlleva vidas más cortas de los pavimentos.

1.4.6- Comodidad.

De acuerdo con Rico y Del Castillo (1996), la comodidad es una característica fundamental de un pavimento, dentro de los aspectos más importantes de este concepto tenemos el de la seguridad de usuario, seguida por la estética que influye en las relaciones psicológicas del conductor. Todo esto para permitir que el usuario pueda transitar a la velocidad segura y constante, que asemeje a la velocidad del proyecto.

CAPÍTULO 2

MECÁNICA DE SUELOS

En este capítulo se explica qué es un suelo, cómo está compuesto, las fases que lo componen, la clasificación de los suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS); se mencionarán las pruebas necesarias para el desplante de la estructura, su composición y su proceso de realización. Es necesario que el Ingeniero Civil, identifique el suelo en base a: granulometría, forma, composición química de las partículas, las fracciones coloidales y sedimentales que contienen.

2.1.- Concepto de suelo.

La importancia de los estudios de la mecánica de suelos radica en el hecho de que si se sobrepasan los límites de la capacidad resistente del suelo o si, aún sin llegar a ellos, las deformaciones son considerables, se pueden producir esfuerzos secundarios en los miembros estructurales, quizás no tomados en consideración en el diseño, produciendo a su vez deformaciones importantes, fisuras, grietas, alabeo o desplomes que pueden producir, en casos extremos, el colapso de la obra o su inutilización y abandono.

Como elemento estructural: En toda obra de tierras y en especial en las de carácter industrial se realizan rellenos (terraplenes); se hacen obras de sostenimiento o contención; se realizan excavaciones superficiales y subterráneas; se crean infraestructuras para las obras viales, propias o inducidas

de la industria y en todas ellas el suelo o terreno juega un papel como elemento estructural.

El suelo es la capa superficial de espesor variable que recubre la corteza terrestre procedente de la meteorización física y química de las rocas pre existente y sobre la que se asienta la vida.

Como señalan los autores Badillo y Rico (1965), hay la creencia de que el suelo es un agregado de partículas orgánicas e inorgánicas, no sujetas a ninguna organización, pero en realidad el suelo es un conjunto con organización definida y con propiedades que varían en diferentes direcciones. La interpretación varía dependiendo de los respectivos intereses, se puede considerar el suelo desde la parte superficial de la corteza capaz de sustentar la vida vegetal para un ingeniero agrónomo pero para un geólogo el suelo es todo material intemperizado y que contiene la materia orgánica cerca de la superficie terrestre.

Para la ingeniería el suelo está representado por todo tipo de material terroso, desde los rellenos realizados por el hombre, hasta las areniscas cementadas, quedando fuera las definiciones de rocas sanas, ígneas o metamórficas, que no se puedan desintegrar con facilidad.

2.1.1.- Agentes generadores del suelo.

La corteza es atacada por factores como el agua y el aire, teniendo como resultado el suelo como se le conoce, puede entrar en un rango muy variado, podemos resumirlos en dos grupos.

La desintegración mecánica que es la intemperización de las rocas por agentes físicos, como pueden ser los cambios bruscos de temperatura, congelación del agua, efectos de los microorganismos plantas etc. Por estos efectos las rocas llegan a formar arenas, limos y en casos especiales arcillas.

La descomposición química son las acciones de agentes que atacan a las rocas modificando su morfología. Los agentes principales de ataque son el agua, oxidación, hidratación, y carbonatación.

Todos los efectos se presentan más con los cambios de temperatura, por eso se generan en zonas húmedas y cálidas suelos arcillosos, sin embargo, en las zonas frías, se presentan suelos arenosos y limosos, mientras que en las zonas cálidas como los desiertos son las arenas principalmente.

“No debe creerse que las reglas anteriores sean inmutables, ya que la naturaleza actúa con una complejidad que desafía cualquier regulación.”(Badillo y Rico; 1996: 35) Por ejemplo en países fríos o secos pueden existir formaciones arcillosas de importancia, cuando el aporte de corriente de agua quede en las mejores condiciones para construir un depósito.

Los suelos, por lo tanto, deben su origen a una variedad de causas tan diversa como la variedad de suelos existentes a través de las eras geológicas, como sigue ocurriendo hoy en día.

2.1.2.-Suelos residuales y transportados.

Los productos del intemperismo quedan directamente sobre la roca de la cual se derivan, dando origen a suelos residuales, en tanto que los suelos que son removidos de lugar y depositados en otras zonas se les llaman suelos transportados. En la naturaleza existen diversos agentes de transporte, como son los glaciares, los vientos, ríos y corrientes de agua, mares y fuerzas de gravedad estos factores actúan normalmente combinándose. El escurrimiento de manantiales arrastra materiales de gran tamaño colina abajo depositándolos en la zona de valles, los ríos arrastran materiales depositándolos a lo largo de su perfil dependiendo la velocidad de su curso, de acuerdo con Badillo y Rico (1996).

Un suelo transportado se describe como el “perfil estratigráfico”, que resalta la secuencia de colocación y el espesor de sus estratos, en lo que respecta a los suelos residuales existen dos conceptos que juegan un papel importante, son estos el perfil de meteorización y el conjunto de estructuras heredadas. El primero es la secuencia de materiales con diferentes propiedades y las estructuras heredadas consisten en diaclasas, exfoliaciones, juntas, grietas, fallas y otros defectos estructurales que muestra el suelo como herencia de los que tenía la roca original.

2.1.3- Fases del suelo.

Conforme a los autores Badillo y Rico (1965) los suelos se pueden distinguir en tres fases que lo constituyen, como son: la capa sólida, líquida y gaseosa.

- La capa sólida es la que está conformada por las partículas minerales del suelo.
- La fase líquida por el agua libre aunque pueden existir otros tipos de líquidos.
- La capa gaseosa comprende sobre todo el aire pero pueden estar presentes más gases.

Se dice que un suelo es totalmente saturado cuando todos sus vacíos están ocupados por agua. Un suelo en estas circunstancias consta, como caso especial, de sólo dos fases, la sólida y la líquida, muchos suelos que se encuentran bajo el nivel freático de agua son suelos totalmente saturados, muchos de estos suelos cuentan con cantidades considerables de materia orgánica y se originan por los residuos vegetales parcialmente descompuestos.

A continuación se mostrará un esquema de las fases de una muestra de suelo, donde se describen las partes que lo conforman:

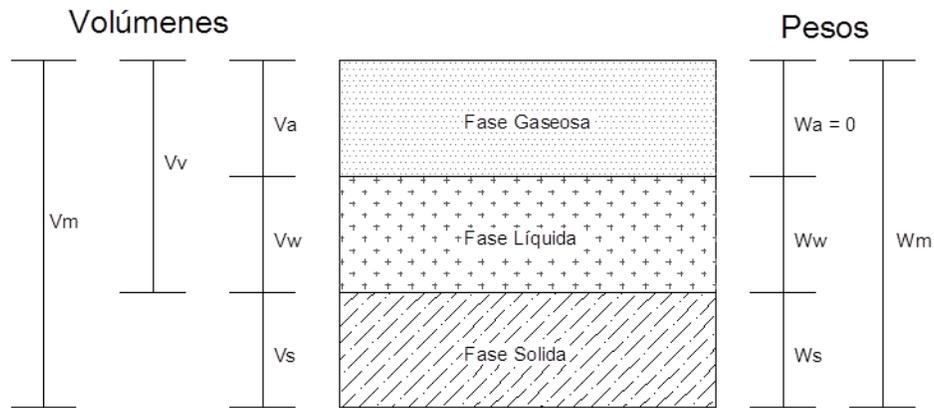


Imagen 2.1.- Esquema de las fases en una muestra de suelo.

Fuente: Realización propia.

El significado de los símbolos es el siguiente:

Donde:

V_m = Volumen total de la muestra.

V_v = Volumen de vacíos.

V_a = Volumen de la fase gaseosa (aire).

V_w = Volumen de la fase líquida (agua).

V_s = Volumen de la fase sólida (sólidos)

W_a = Peso de la fase gaseosa (generalmente igual a cero).

W_w = Peso de la fase líquida.

W_s = Peso de la fase sólida.

W_m = Peso total de la muestra.

Con este esquema que comprende las fases del suelo se aprecia que las relaciones que se verán a continuación son importantes para el manejo de las propiedades mecánicas de los suelos y un amplio dominio de su significado; estas relaciones son:

Relación de vacíos, Oquedad o índice de poros: se le denomina a la relación que guarda el volumen de vacíos y el de los sólidos de un suelo.

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

“La relación puede variar teóricamente de 0 (cero) a ∞ (infinito), en la práctica no suelen hallarse valores menores de 0.25 (arenas muy compactadas con finos) ni mayores de 15, en casos de algunas arcillas altamente comprensibles”. (Badillo y Del Castillo; 1965:54)

La porosidad, se denomina a la relación entre su volumen de vacíos y el volumen de su masa, generalmente se expresa como porcentaje:

$$n(\%) = \left(\frac{V_v}{V_m} \right) \times 100$$

Esta relación puede variar entre los valores de 0 (en un suelo ideal con solo fase sólida) a 100 (espacio vacío). Los valores reales pueden encontrarse entre 20% y 95%.

Grado de saturación, se denomina saturación de un suelo a la relación entre su volumen de agua y el volumen de sus vacíos. Suele expresarse como porcentaje:

$$Gw(\%) = \left(\frac{V_w}{V_v} \right) \times 100$$

Varía de 0 (suelo seco) a 100% (suelo totalmente saturado).

Contenido de agua o humedad de un suelo, es la relación entre el peso del agua contenida en el mismo y el peso de su fase sólida. Se expresa en porcentaje:

$$w(\%) = \left(\frac{W_w}{W_s} \right) \times 100$$

Este valor puede cambiar teóricamente entre 0 a ∞ . “En México, existen valores de 1000% en arcillas procedentes a la región Sureste del país. En el valle de México son normales humedades de 500 a 600%”. (Badillo y Del Castillo; 1965: 55)

2.2.- Clasificación de los suelos.

Debido a la infinita complejidad y a la variedad de los distintos tipos de suelos que se encuentran en la naturaleza, dado el escaso conocimiento que sobre los suelos se tenía, se vio la necesidad de crear una clasificación para esto, en 1942, el doctor A. Casagrande en la Universidad de Harvard, presenta una de

las primeras clasificaciones, que se denominó como Sistema de Clasificación de Aeropuertos, así originalmente llamado, debido a que estaba orientado para el uso de ese tipo de obras. Este sistema reconoce las propiedades mecánicas e hidráulicas de los suelos constituidos por partículas menores a la malla N° 200, las cuales pueden deducirse cualitativamente a partir de sus características de plasticidad. En cuanto a los suelos formados por partículas mayores de la malla mencionada, el criterio básico de la clasificación es aun el granulométrico que, aunque no es el determinante para el comportamiento de un material, si puede usarse con base a la clasificación de los materiales granulares.

Algunos de los fundamentos que considera este sistema son los siguientes:

- El sistema fue propuesto en 1952 y se adoptó en seguida por el cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos de América, quien lo aplicó principalmente, como queda dicho, en la constitución de las aeropistas.
- El sistema divide a los suelos en dos grandes fracciones: la gruesa, formada por partículas mayores a la malla N° 200 y menores que la malla de 3" y esta la fina, que está formada por las partículas que pasan la malla N° 200.
- La fracción gruesa se subdivide en gravas y arenas, teniendo como frontera la malla N° 4. Subdivisiones subsecuentes de esta fracción toman en cuenta el contenido y y la naturaleza de los finos, así como características de graduación. El conjunto presenta un aspecto muy similar al que

posteriormente se discutirá con más detalle al analizar el Sistema Unificado de Clasificación de Suelo.

2.2.1.- Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Este sistema de clasificación, basado en el sistema de clasificación de aeropuertos, es el más utilizado, si no es que el único, en la actualidad, en nuestro país, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y en específico la norma M-MMP- 1-02/03, establece las especificaciones para la clasificación de los suelos con este sistema.

De acuerdo a la norma M-MMP-1-02/03, los suelos se clasifican como suelos gruesos cuando más del 50% de sus partículas tienen un tamaño mayor de 0.075 mm (malla No. 200), y como suelos finos cuando el 50% o más de sus partículas, son de tamaño menor.

A continuación se muestra la tabla del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Tipo	Sub-Tipos		Identificación		Simbolo de Grupo	
Suelos (partículas menores de 7.5 cm)	SUELOS GRUESOS (Más de la mitad del material se retiene en la malla No. 200)	GRAVA (Más de la mitad de la fracción gruesa se retiene en la malla No. 4)	GRAVA LIMPIA (Poco o nada de partículas finas)	Grava bien graduada; mezcla de grava y arena con poco o nada de finos. Debe tener un coeficiente de uniformidad mayor a 4 y un coeficiente de curvatura	Menos del 5% en masa pasa la malla No.200	GW
				Grava mal graduada; mezcla de grava y arena con poco o nada de finos. No satisface los requisitos de graduación para GW.	Menos del 5% en masa pasa la malla No.200	GP
			GRAVA CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas)	Grava limosa; mezcla de grava, arena y limo.	Más de 12% en masa de la malla No. 200 y las pruebas de límite de consistencia, clasifican a la fracción fina como ML o MH.	GM
				Grava arcillosa; mezcla de grava, arena y arcilla.	Más de 12% en masa de la malla No. 200 y las pruebas de límite de consistencia, clasifican a la fracción fina como CL o CH.	GC
		ARENA (Más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla No. 4)	ARENA LIMPIA (Poco o nada de partículas finas)	Arena bien graduada; mezcla de arena y grava con poco o nada de finos. Debe tener un coeficiente de uniformidad mayor a 6 y un coeficiente de curvatura entre 1 y 3.	Menos del 5% en masa pasa la malla No.200	SW
				Arena mal graduada; mezcla de arena y grava con poco o nada de finos. No satisface los requisitos de graduación para SW.	Menos del 5% en masa pasa la malla No.200	SP
			ARENA CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas)	Arena limosa; mezcla de grava, arena y limo.	Más de 12% en masa de la malla No. 200 y las pruebas de límite de consistencia, clasifican a la fracción fina como ML o MH.	SM
				Arena arcillosa; mezcla de grava, arena y arcilla.	Más de 12% en masa de la malla No. 200 y las pruebas de límite de consistencia, clasifican a la fracción fina como CL o CH.	SC
	SUELOS FINOS (Más de la mitad del material pasa la malla No. 200)	LIMO Y ARCILLA (Límite líquido)	Menor de 50%	Limo de baja compresibilidad; mezcla de limo de baja plasticidad, arena y grava; polvo de roca. Se localiza dentro de la zona I de la carta de plasticidad.	ML	
				Arcilla de baja compresibilidad, mezcla de arcilla de baja plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona II de la carta de Plasticidad.	CL	
				Limo orgánico de baja compresibilidad; mezcla de limo orgánico de baja plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona I de la carta de plasticidad.	OL	
			Mayor de 50%	Limo de alta compresibilidad; mezcla de limo de alta plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona III de la carta de plasticidad.	MH	
				Arcilla de alta compresibilidad, mezcla de arcilla de alta plasticidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona IV de la carta de Plasticidad.	CH	
				Limo orgánico de alta compresibilidad; mezcla de limo orgánico de alta compresibilidad, arena y grava. Se localiza dentro de la zona III de la carta de plasticidad.	OH	
				ALTAMENTE ORGÁNICOS	Turba, fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa.	Pt

Imagen 2.2.- Clasificación SUCS.

Fuente: Norma SCT M-MMP-1-02/03; 2003; 4.

2.2.1.1.- Suelos gruesos.

Los suelos gruesos se clasifican como gravas cuando más de 50% de las partículas de la fracción gruesa se retienen en la malla 4.75 mm (malla No. 4) y como arena cuando las del 50% de las partículas pasan dicha malla, clasificando la muestra de acuerdo a lo siguiente:

Grava o arena bien graduada (GW o SW).

Si el material contiene hasta 5% de finos, cuando se trate de una grava cuyo Coeficiente de Uniformidad (Cu) es mayor de 4 y su Coeficiente de Curvatura (Cc) se encuentre entre 1 y 3, se clasifica como grava bien graduada y se identifica con el símbolo GW, cuando se trate de una arena la cual su Coeficiente de Uniformidad (Cu) es mayor de 6 y su Coeficiente de Curvatura (Cc) se encuentre entre 1 y 3, se clasifica como arena bien graduada y se identifica con el símbolo SW.

Grava o arena mal graduada (GP o SP).

Si el material contiene hasta 5% de finos, y sus Coeficientes de Uniformidad (Cu) y Curvatura (Cc), no cumpla con lo especificado en el párrafo anterior, se clasifica como grava mal graduada o arena mal graduada e identificándolas con los símbolos GP y SP, respectivamente.

Grava o arena limosa (GM o SM).

Si el material contiene menos del 12% de finos y estos son limos de acuerdo a la clasificación mediante la carta de plasticidad, se clasifica como grava

limosa o arena limosa, según corresponda y se identifica con los símbolos GM o SM.

Grava o arena arcillosa (GC o SC).

Si el material contiene más del 12% de finos y estos son arcillas de acuerdo a la clasificación mediante la carta de plasticidad, se clasifica como grava arcillosa o arena arcillosa, según corresponda y se identifica con los símbolos GC o SC.

Grava o arena bien graduada limosa (GW-GM o SW-SM).

Si el material contiene entre el 5% y el 12% de finos y estos son limos, y se trae una grava bien graduada, se recurrirá a los determinados símbolos dobles, identificando este caso como una grava bien graduada limosa, así mismo, cuando se trate de una arena bien graduada, y presente esta condición, se denominará arena bien graduada limosa identificando con el símbolo SW-SM.

Grava o arena mal graduada limosa (GP-GM o SP-SM).

Si la grava o arena son mal graduadas y contienen sobre el 5% y el 12% de finos y estos son limos, se denominarán grava mal graduada limosa o arena mal graduada limosa, identificándolas con los símbolos GW-GC o SW-SC, según sea el caso.

Grava o arena mal graduada arcillosa (GP-GC o SP-SC).

Si la grava o arena son mal graduadas y contiene entre el 5% y el 12% de finos y estos son arcillas, se denomina grava mal graduada arcillosa o arena mal

graduada arcillosa, identificándolas con los símbolos GP-GC o SP-SC, respectivamente.

2.2.1.2.- Suelos finos.

Estos suelos se clasifican de acuerdo a su plasticidad, mediante el ensaye denominados límites de consistencia el cual se describirá más adelante, estos suelos se dividen en 2 grupos, los limos y las arcillas, que a su vez se subdividen en alta y baja compresibilidad.

Limos (M)

El suelo se clasifica en limo cuando su límite líquido (LL) y su índice plástico (Ip), definen un punto de ubicación en las zonas I y III de la carta de plasticidad, se identifica con el símbolo M, y dependiendo de la zona se clasificara como limo de baja compresibilidad (ML) o limo de alta compresibilidad (MH).

Si el material contiene una cantidad apreciable de materia orgánica y el punto definido por el límite líquido y el límite plástico, se ubica cercano y por debajo de la línea A de la carta de plasticidad, se clasifica como limo orgánico de baja compresibilidad, si su límite líquido es menor al 50% se identifica con el símbolo OL, o como límite orgánico de alta compresibilidad si su límite líquido es mayor al 50%, identificándolo con el símbolo OH.

Arcillas (C)

El suelo se clasifica como arcillas cuando su límite líquido (LL) y su índice plástico (I_p), define un punto ubicado en las zonas II y IV de la carta de plasticidad, se identifica con el símbolo C, y dependiendo de la zona se clasificará como arcilla de baja compresibilidad (CL) o arcilla de alta compresibilidad (CH).

Suelos totalmente orgánicos (Pt)

El suelo fino que se clasifica como altamente orgánico, generalmente se identifica por su color, olor y sensación esponjosa y por su textura fibrosa, se le denomina turba y se clasifica con el símbolo Pt.

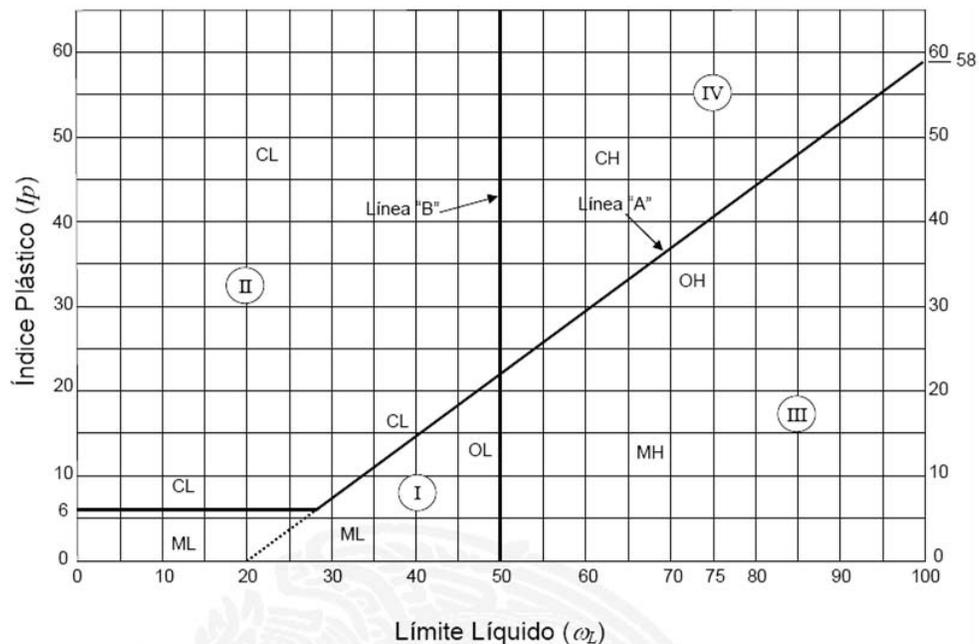


Imagen 2.3.- Carta de Plasticidad.

Fuente: Norma SCT M-MMP-1-02/03; 2003; 6.

2.3.- Pruebas de laboratorio enfocadas a vías terrestres.

Dentro de la gama de ensayos de laboratorio que se pueden realizar para verificar la calidad de los materiales, en nuestro caso, que intervienen en la conformación de un pavimento, y en específico de la calidad del terreno de desplante de los mismos, podemos encontrar desde el correcto método de muestreo hasta los procedimientos de realización de cada uno de dichos ensayos, hoy en día, en nuestro país, la normativa de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes SCT, es una de las más importantes y comunes a la que el personal técnico encargado de este tipo de estudios toma como referencia.

2.3.1.- Muestreo de materiales.

De acuerdo con la normativa SCT y específicamente con la norma M-MMP- 1-01/03, el muestreo consiste en la obtención representativa de un material con el que se pretende construir o conformar una terracería o bien del material que ya forma parte de una, dentro del muestreo se puede clasificar tres tipos de muestras, las inalteradas, las representativas y las integrales.

Las muestras inalteradas, son aquellas en las que el material conserva las condiciones de estructura y contenido de humedad del lugar, por lo que en su obtención son requeridos cuidados especiales, como la colocación de dicha muestra en un recipiente rígido y con material de colchón así como la colocación de una membrana impermeable que permite conservar la humedad dentro de la muestra.

Las muestras representativas, son muestras constituidas por el material disgregado o fragmentado, en las que se toman precauciones para conservar la

humedad de lugar de origen, no tanto la estructura, por lo que este tipo de muestras son generalmente avanzadas en bolsa de plástico u otros elementos impermeables.

Por otra parte, las muestras integrales, están constituidas por el material disgregado o fragmentado de diversos estratos de uno solo, en las que queda representado el material que lo forma.

En la obtención de las muestras se utiliza equipo como pala, pico cuchillas, espátulas, cucharones, barras de acero, bolsas, costales, etc. Todo dependerá del tipo de muestra a obtener.

La norma SCT M-MMP-1-01/03, proporciona una relación y cantidad de muestras representativas dependiendo del propósito de uso para cada una de ellas.

Propósito del muestreo	Tipo y número	Tamaño de las muestras parciales (kg)
Determinar la estratigrafía y propiedades del subsuelo a lo largo del trazo de una obra o seleccionar los préstamos y bancos de terracería.	Una muestra representativa de cada estrato en cada pozo a cielo abierto o frente abierto de material	4
	Una muestra integral por cada pozo a cielo abierto y por cada 150m ³ de material aprovechable.	50
	Dos muestras integrales de cada frente abierto de material.	20
	Una muestra cúbica inalterada por cada estrato de suelo fino típico, para determinar sus propiedades mecánicas.	-
Estudio de almacenamientos	Una muestra integral por cada 1 000 m ³ de material homogéneo.	20
Control de calidad	Una muestra integral por cada 300 m ³ de material que se utilice para terraplén o subyacente y por cada 200 m ³ para subrasante.	10
	Una muestra integral por cada 1 000 m ³ de material que se utilice para terraplén, por cada 800 m ³ para subyacente y por cada 500 m ³ de subrasante.	50

Imagen 2.4.- Tamaños del muestreo representativo.

Fuente: Norma SCT M-MMP-1-01/03; 2003; 4.

2.3.2.- Composición granulométrica.

En la normativa de la SCT y específicamente la norma M-MMP-1-01/03, se considera que este ensayo permite determinar la composición de los tamaños de

las partículas que integran una muestra de material utilizado en la conformación de las capas de la terracería y pavimento de una estructura vial.

Esta determinación se realiza mediante el paso del material por una serie de mallas con diferentes aberturas, dispuestas de mayor a menor tamaño, así el material se va reteniendo en cada una de esas mallas, obteniendo la masa que se retiene de cada una de ellas y calculando el porcentaje que se retiene como el porcentaje que va pasando.

La disposición de las mallas que se comenta en el párrafo anterior es la siguiente:

Fracción	Malla		Variación permisible de la abertura promedio (±)	Abertura máxima permisible para no mas del 5% de las aberturas de la malla	Abertura máxima individual permisible	Diámetro nominal del alambre.
	Desingnación	Abertura nominal				
Grava	3"	75.000	2.200	78.100	78.700	5.800
	2"	50.000	1.500	52.100	52.600	5.050
	1 1/2"	37.500	1.100	39.100	39.500	4.590
	1"	25.000	0.800	26.100	26.400	3.800
	3/4"	19.000	0.600	19.900	20.100	3.300
	1/2"	12.500	0.390	13.100	13.310	2.670
	3/8"	9.500	0.300	9.970	10.160	2.270
Arena con finos.	1/4"	6.300	0.200	6.640	6.780	1.820
	No. 4	4.750	0.150	5.020	5.140	1.540
	No. 10	2.000	0.070	2.135	2.215	0.900
	No. 20	0.850	0.035	0.925	0.970	0.510
	No. 40	0.425	0.019	0.471	0.502	0.290
	No. 60	0.250	0.012	0.283	0.306	0.180
	No. 100	0.150	0.008	0.174	0.192	0.110
	No. 200	0.075	0.005	0.091	0.103	0.053
unidades de mm.						

Imagen 2.5.- Disposición de mallas y tamaño de aberturas.

Fuente: Norma SCT M-MMP-1-06/03; 2003; 2.

Con este ensaye se podra clasificar los suelos gruesos que contengan un porcentaje de finos menor al 5%, ya que la gráfica que obtenemos de este ensaye podemos calcular los coeficientes de uniformidad y curvatura (Cu y Cc), respectivamente, los cuales indican si un suelo grueso es bien o mal graduado.

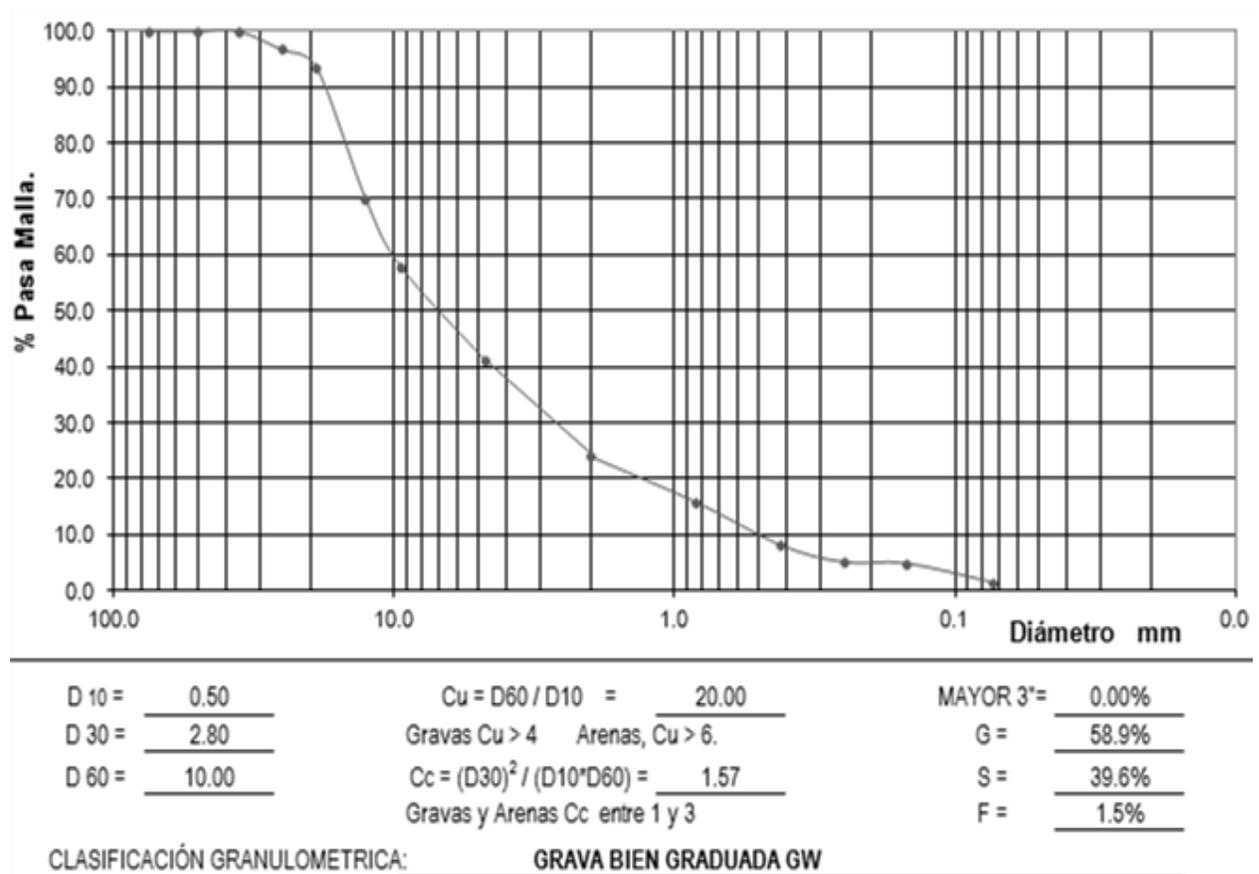


Imagen 2.5.- Curva granulométrica de una GW.

Fuente: Elaboración propia.

2.3.3.-Límites de consistencia.

En este ensaye permite conocer las características de plasticidad de la porción que pasa la malla N° 4 (0.425), de los materiales, cuyos resultados se utilizan para identificar y clasificar los suelos, principalmente finos.

El ensaye consiste en determinar el límite líquido, que representa el contenido de agua cuando un suelo plástico adquiere una resistencia al corte de 2.45 kpa. (25 g/cm²), el cual se considera como la frontera entre los estados semilíquido y plástico de un suelo; así como el límite plástico o el contenido de agua para el cual un rollito de aproximadamente 3 mm se rompe, el cual se considera como la frontera entre los estados plástico y semisólido; calculando posteriormente la diferencia entre estos dos límites la cual se define como el índice plástico.

Con los datos de límite líquido e índice plástico, y con la ayuda de la carta de plasticidad se puede definir la clasificación de un suelo, mediante este ensaye.

LIMITE LIQUIDO								
Prueba No	No. de Golpes	Capsula No.	Peso Capsula + Suelo Humedo (gr)	Peso Capsula + Suelo Seco (gr)	Peso del Agua (gr)	Peso Capsula (gr)	Peso Suelo Seco (gr)	Contenido de Agua W (%)
1	15	1	26.23	24.65	1.58	22.31	2.34	67.52
2	24	2	17.65	16.23	1.42	13.87	2.36	60.17
3	28	3	20.18	18.82	1.36	16.47	2.35	57.87
4	32	4	33.31	32.00	1.31	29.52	2.48	52.82
LIMITE PLASTICO								
Prueba No.	Capsula No.	Peso Capsula + Suelo Humedo (gr)	Peso Capsula + Suelo Seco (gr)	Peso del Agua (gr)	Peso Capsula (gr)	Peso Suelo Seco (gr)	Contenido de Agua W (%)	
1	1	17.79	17.51	0.28	16.49	1.02	27.45	
2	2	14.10	13.94	0.16	13.29	0.65	24.62	
LIMITE LIQUIDO LL (%) =		59.00						
LIMITE PLÁSTICO LP (%) =		26.03						
INDICE PLÁSTICO IP (%) =		32.97						
CLASIFICACION SUCS =		CH						
		ARCILLA DE ALTA COMPRESIBILIDAD.						
OBSERVACIONES:								

GRAFICA PARA LIMITE LIQUIDO.	
70.00	
68.00	
66.00	
64.00	
62.00	
60.00	
58.00	
56.00	
54.00	
52.00	
50.00	
1	10
	100
CONTENIDO DE AGUA (%)	
NUMERO DE GOLPES	

Imagen 2.6.- Registro y cálculo de ensaye de límite de consistencia.

Fuente: Elaboración propia.

2.3.4.-Valor relativo de soporte (VRS).

De acuerdo con los autores Rico y Del Castillo (1996), en el ensaye de valor relativo de soporte o mejor conocido como VRS, fue un ensaye originalmente desarrollado por el departamento de carreteras del estado de california; el VRS de un suelo, se obtiene de una prueba de penetración, en la que un vástago de 19.4

cm² (3 plg²), de área se hace penetrar en un molde con suelo previamente compactado, la penetración de dicho vástago se realiza con una velocidad de 0.127 cm/min (0.05 plg /min), registrando la carga de penetración a cada 0.25 cm. (0.1) El espécimen de suelo en el cual se realiza en ensaye, está confinado en un molde de acero de 15.20 cm. (6") de diámetro, y una altura de 20.30 cm (8"), el suelo se prepara cribando el material seco por la malla de 2.54 cm (1"), agregándole el agua necesaria para obtener la humedad optima de compactación, pesando 4 kg. De material húmedo el cual se colocará en el molde distribuido en tres capas varillas, para posteriormente colocarlo en una preense que le colocara una carga de 140 km/cm², carga aplicada uniformemente en la superficie del suelo al interior del molde, este proceso se denominaba ensaye porter, en la actualidad con la aplicación del ensaye AASHTO tanto estándar como modificado, se debe igualar las características de masa volumétrica seco máximo y humedad optima de compactación obtenidas en los ensayos previos, y posteriormente aplicar la penetración que nos determinara el VRS del material estudiado.

Los factores que pueden afectar los resultados de VRS de un suelo son; la textura del suelo en la superficie interior del molde, el contenido de agua (que no sea el óptimo), y la condición de compactación dada al espécimen.

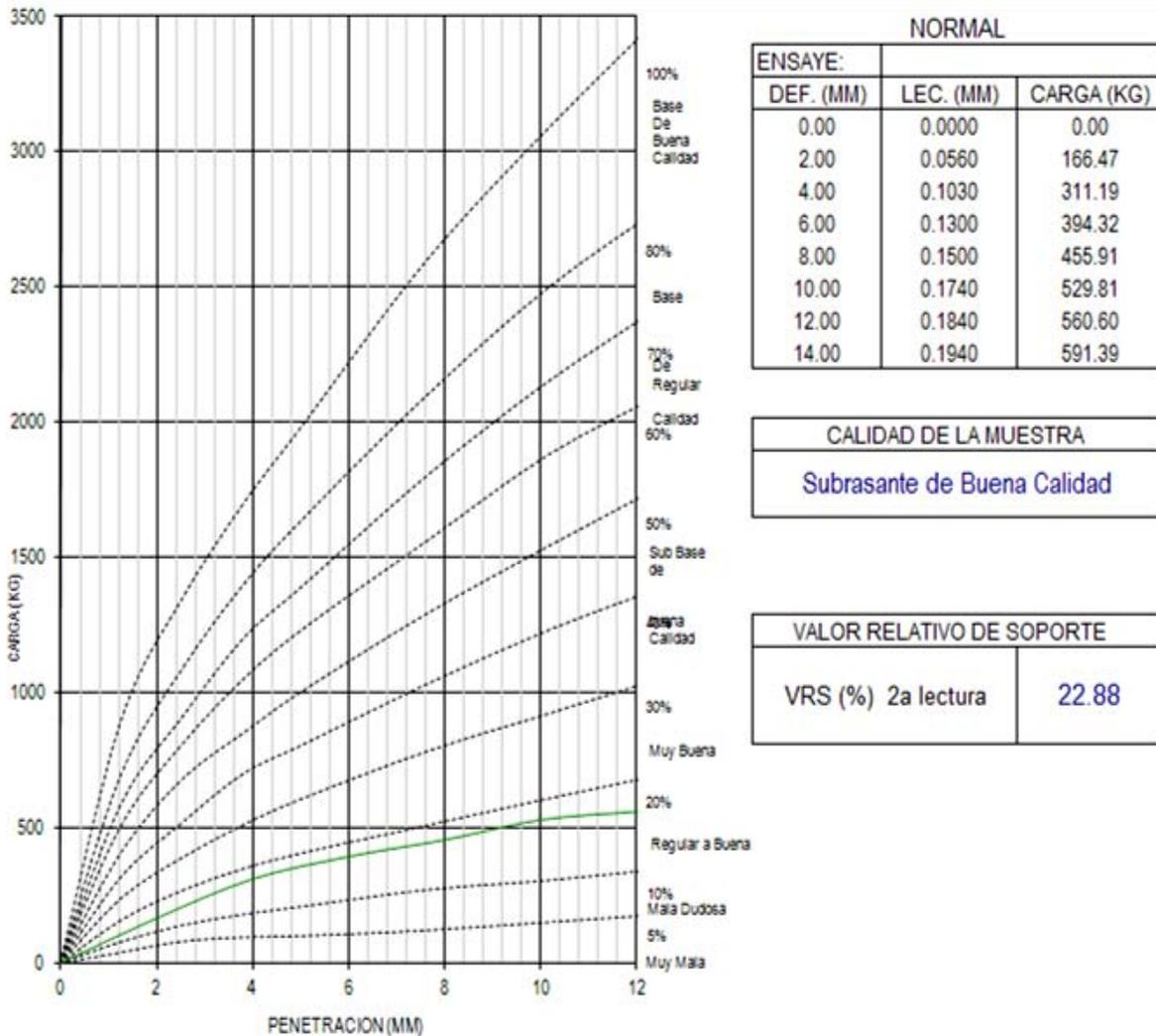


Imagen 2.7.- Registro y gráfica de ensayo de VRS.

Fuente: Elaboración propia.

2.3.5.- Prueba de Placa.

Este ensayo ayuda a determinar la capacidad de cortante de las capas subrasante, sub-base y en ocasiones de los pavimentos completos, el ensayo consiste en cargar una placa circular en contacto en el suelo a estudiar, midiendo las deformaciones correspondientes a diferentes cargas, los procedimientos de

diseño de un pavimento rígido se basan en un valor “k” determinado por un procedimiento estandarizado el cual utiliza una placa de 762 mm (30”) de diámetro.

De acuerdo al IMCYC (2002), se recomienda llevar a cabo los ensayos de placa en la capa sub-rasante y ajustar los resultados para tener en cuenta los efectos de la sub-base, así como de las condiciones de compactación y humedad, ya que los ensayos de placa realizados sobre las capas de sub-base, pueden arrojar resultados no representativos, ya que la profundidad de la influencia de este ensaye no es tan grande como la profundidad que presenta una losa de concreto cargada con un vehículo.

El IMCYC recomienda, “no extender en ningún caso el valor k” de la sub-rasante de 137 MPa/m (500lb/plg³) IMCYC 2002, I-16.

En la tabla 2.8, se presentan algunas correlaciones del valor “K” para algunos tipos de materiales que conforman las capas sub-rasante.

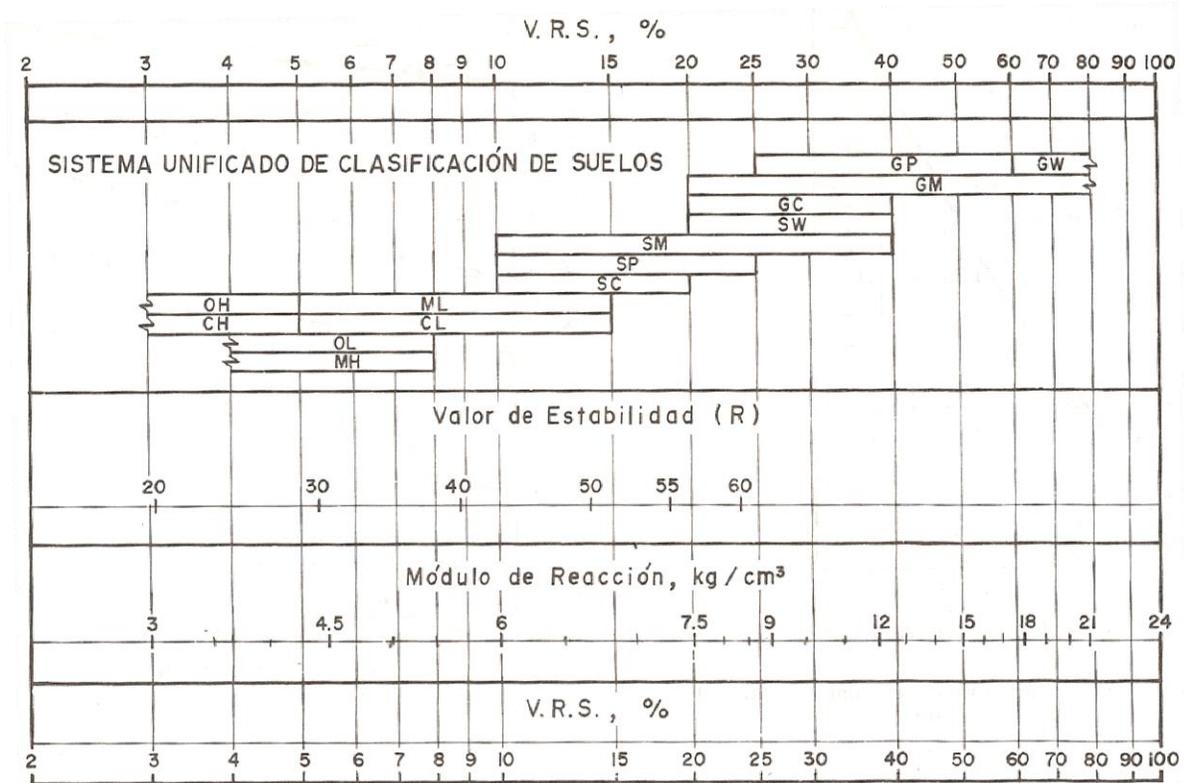


Imagen 2.8.- Comparación entre varios índices de resistencia.

Fuente: Rico y Del Castillo; 2002; 212.

2.3.6.-Prueba AASHTO.

De acuerdo con la normativa de la SCT, este ensaye permite determinar la curva de compactación de un material, a partir de la cual determinar la masa volumétrica seca máxima y su contenido de agua óptimo para la compactación del suelo en estudio.

MOLDE No.	UNO	VOLUMEN MOLDE (cm ³)	944.06	PESO DEL MOLDE (gms)	3750.00
P. MARTILLO (gr)	2500	ALTURA DE CAIDA (cm)	30.5	COLLARIN INFERIOR + PLACA	
No. DE CAPAS	TRES	GOLPES POR CAPA	25	TIPO DE PRUEBA: AASHTO ESTANDAR.	

PRUEBA No.	1	2	3	4	5	6
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO (gms)	4800.00	4950.00	5100.00	5200.00	5100.00	
PESO MOLDE (gms)	3750.00	3750.00	3750.00	3750.00	3750.00	
PESO SUELO HUMEDO (gms)	1050.00	1200.00	1350.00	1450.00	1350.00	
PESO ESPECIFICO HUMEDO (ton/m ³)	1.11	1.27	1.43	1.54	1.43	
HUMEDADES						
PESO SUELO HUMEDO (gms)	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	
PESO SUELO SECO (gms)	164.00	153.00	143.00	132.00	121.00	
PESO DEL AGUA (gms)	36.00	47.00	57.00	68.00	79.00	
CONTENIDO DE AGUA (%)	21.95	30.72	39.86	51.52	65.29	
PESO ESPECIFICO SECO (ton/m ³)	0.91	0.97	1.02	1.01	0.87	
RELACION DE VACIOS						

RESULTADO:		PVSM (kg/m ³)=	1030.00
		W _{opt} (%) =	45.00
OBSERVACIONES:			
Limo color café rojizo.			

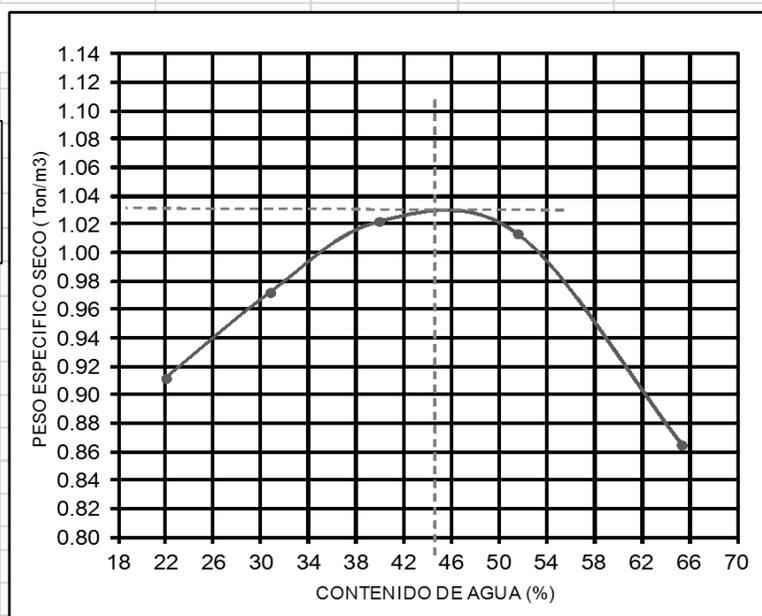


Imagen 2.9.- Registro y cálculo de ensaye Aashto Estándar.

Fuente: Elaboración propia.

Este ensaye consiste en determinar la masa volumétrica seca en un material compactando con diferentes contenidos de agua, mediante la aplicación de una misma energía de compactación en prueba dinámica, y graficando los puntos.

Correspondientes a cada una de las determinaciones realizadas, se traza la curva de compactación y se estima el punto máximo que corresponde a la masa volumétrica seca máxima e igualmente a la humedad óptima para la compactación del suelo.

Existen cuatro variantes principales del ensaye, las cuales se aplican dependiendo del material a estudiar y a su función en la capa de pavimento, podemos mencionar que para las capas de terraplén subyacente y sub-rasante podemos definir la prueba AASHTO estándar y para las capas de sub-base y base hidráulica se utiliza la prueba AASHTO modificado.

En el capítulo 3 de la presente investigación se dará una amplia información geográfica que ayuda a ubicar el lugar que tiene la investigación, así como las características que conforman el entorno donde esta investigación se desarrolla, además de proporcionar una guía para que cualquier persona pueda tener acceso al lugar.

CAPÍTULO 3

RESUMEN DE MACRO Y MICRO LOCALIZACIÓN

Dentro de este capítulo se presentará la ubicación de la colonia que se analiza en la presente investigación, así como también las características descritas en el presente capítulo que enfocan al entorno geográfico, hidrológico, climático y a otros aspectos que favorecen la comprensión del estudio y las condiciones en las que se encuentra.

3.1.- Generalidades.

Michoacán es el estado número 16 de los 31 estados y un Distrito Federal que tiene México, a su vez se divide en 113 municipios. El estado de Michoacán está ubicado en el centro-oeste del país, es importante mencionar que el estado cubre una extensión considerable de playas. Cubre el 3% del total del territorio del país y tiene una orografía muy accidentada ya que a través del estado pasa el Eje volcánico transversal al igual que la Sierra Madre del Sur.

En cuanto a su economía, Michoacán es uno de los principales productores de aguacate del país, en donde Uruapan es el municipio llamado “Capital Mundial del Aguacate” por consecuencia es su mayor actividad económica del estado sin dejar de mencionar la actividad portuaria al tener uno de los principales puertos del país ubicado en la ciudad de Lázaro Cárdenas. Otra fuente de ingreso para el estado es el turismo; cuenta con atractivos naturales y de tipo cultural.

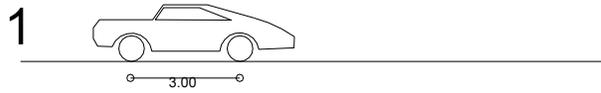
La infraestructura con la que cuenta el estado está conformada por carreteras incluyendo en ellas autopistas y supercarreteras. Cuenta con aeropuertos en sus principales ciudades y como se mencionó antes con puertos marítimo principalmente para el manejo de mercancía.

La presente investigación se realiza para la integración de un diseño de pavimento rígido destinado a las vialidades de la colonia denominada “Benito Juárez”, en Tepalcatepec, Michoacán, diseño que se tomará en cuenta con todos los aspectos teóricos y normativas referidas a este tipo de estructuras.

Una de las bases que se deberá tomar en cuenta para el diseño es el estudio geotécnico, el cual es requerido para la obtención de las características portantes del suelo de cimentación y/o desplante de la estructura de pavimento, dentro de este estudio se realizaron cuatro sondeos distribuidos en las zonas destinadas a las vialidades, de las cuales se obtuvieron muestras alteradas que posteriormente se analizaron en laboratorio, dichos análisis se resumen en las tablas que conforman los cálculos.

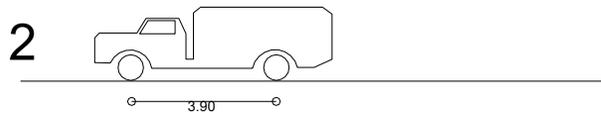
Otra variante importante dentro del diseño es el tránsito y distribución del mismo, el cual nos proporciona un número de vehículos que se proyectan, y que estarán transitando por las vialidades de la colonia, así como el total de ejes equivalentes que estarán afectando al pavimento en el trascurso de su vida útil o de servicio.

Ap



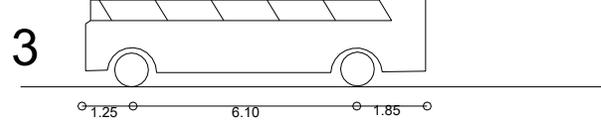
Ac

Carga =2.5 ton



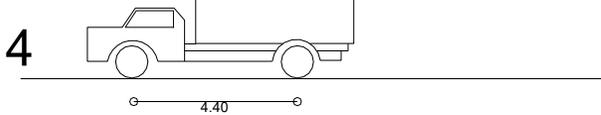
B

25 pasajeros



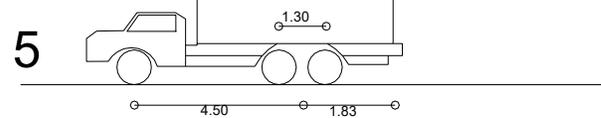
C2

Carga =5.1 ton



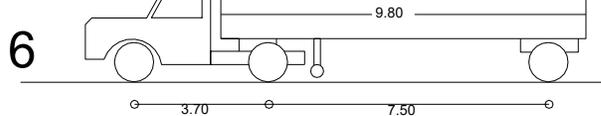
C3

Carga =9.7 ton



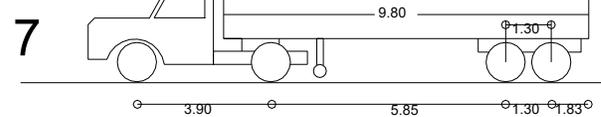
T2-S1

Carga =9.7 ton



T2-S2

Carga =13.3 ton



T3-S2

Carga =16.0 ton

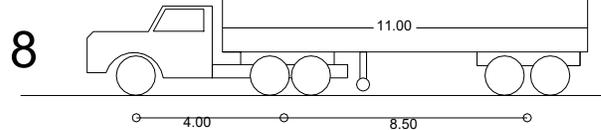


Imagen 3.1.- Vehículos de proyecto SCT.

Fuente: Crespo; 2004; 55.

3.2.- Objetivo.

El objetivo principal de la presente tesis es el diseño de una estructura de pavimento de tipo rígido, que cumpla con las condiciones de servicio y funcionalidad adecuadas durante la vida útil estimada para este, así como de la realización de un diseño de pavimento que considerará todos los factores teóricos que puedan influenciar a la estructura que formará el pavimento.

3.3.- Resumen ejecutivo.

El predio dedicado a esta investigación se encuentra en la zona Sur del municipio de Tepalcatepec, Michoacán. Así mismo en esta investigación se logró obtener los planos preliminares de la disposición de las vialidades dentro de la colonia, el total de las calles proyectadas lo cual ayudará a estimar el tránsito a futuro que tendrá que soportar el pavimento motivo de la investigación.

Otra de las variantes a verificar es la normativa de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, dentro de la cual se especifica los parámetros de calidad y características generales de los materiales a utilizar en la conformación de los pavimentos tanto flexibles como rígidos, que se tomarán en cuenta para cada una de las capas que conformarán la estructura del diseño.

3.4.- Entorno geográfico.

El estado de Michoacán se encuentra ubicado en el centro-oeste del territorio mexicano. Limita al Norte con los Estados de Guanajuato y Querétaro, al Este con el Estado de México, al Sur con Guerrero al Suroeste con el Océano

Pacífico y el Noroeste con Colima y Jalisco; cuenta con una superficie de 58,585 km², que representa el 3% de la superficie total del país, ocupando el lugar número 16 en extensión entre las 32 entidades federativas de México. Se encuentra ubicado entre las coordenadas 17° 55' y 20° 24' de latitud Norte, y las coordenadas 100° 04' y 103° 44' de longitud Oeste.



Imagen 3.2.- Ubicación del estado de Michoacán dentro del país.

Fuente: <http://es.wikipedia.org>.

El municipio de Tepalcatepec se localiza al Oeste del estado de Michoacán de Ocampo, en las coordenadas 19°11' de latitud Norte y 102°51' de longitud Oeste, a una altura de 320 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte y al oeste con el Estado de Jalisco, al este con Buenavista y Aguililla, al Sur con Coalcomán.



Imagen 3.3.- Ubicación del municipio de Tepalcatepec, Michoacán.

Fuente: Google Earth.

3.5.- Macro y Micro localización.

La ubicación geográfica de la colonia en cuestión queda comprendida en las coordenadas $19^{\circ}10'53.65''$ de latitud Norte y $102^{\circ}50'36.88''$ de longitud Oeste, a una altura de 322 metros sobre el nivel del mar. Limita al Norte con la colonia Cantarranas y colonia Centro, al Este con colonia Los Tamarindos, al Sur con la colonia El Laurel y al Oeste con colonia Los Mangos. El predio destinado a la urbanización de dicha colonia cuenta con $684,894 \text{ m}^2$, destinado $148,349 \text{ m}^2$ para vialidades.

Dentro de la urbanización del municipio de Tepalcatepec se encuentra la colonia “Benito Juárez” (lugar de la investigación) como lo muestra la siguiente imagen de su ubicación y su colindancia:

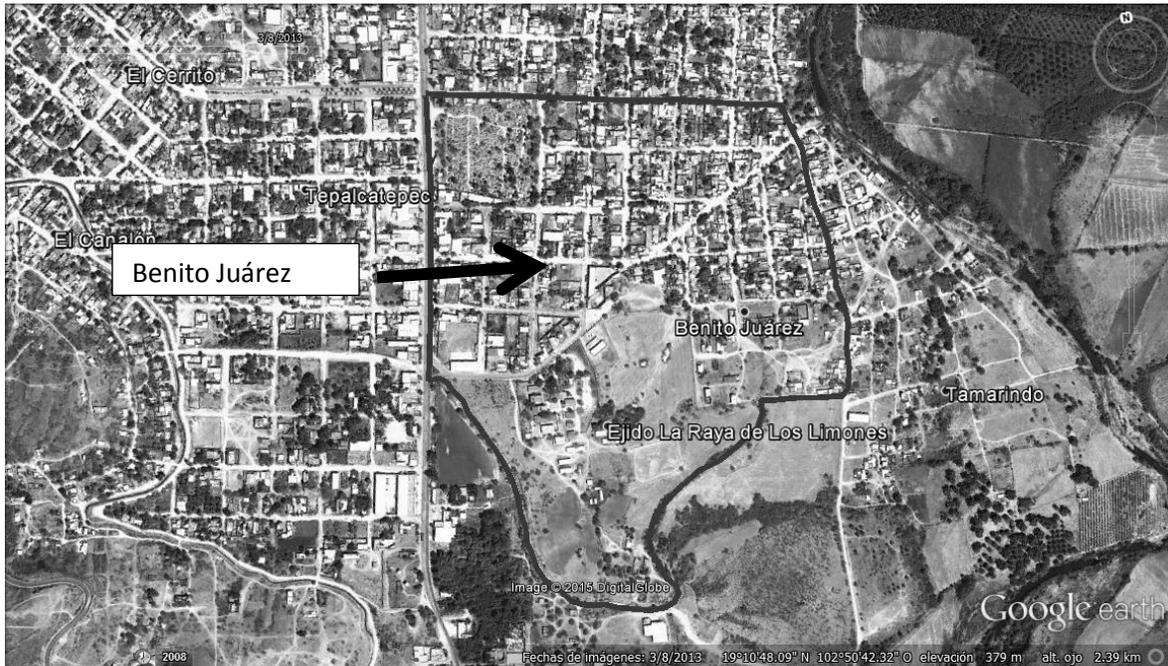


Imagen 3.4.- Ubicación de la colonia dentro de Tepalcatepec, Michoacán.

Fuente: Google Earth.

Tepalcatepec cuenta con una urbanización detallada por lo que la ubicación del proyecto de investigación se encuentra en la colonia que a continuación se tratará de localizar para una mejor ubicación en la zona de Tepalcatepec.



Imagen 3.5.- Planta de anteproyecto de urbanización.

Fuente: Obras públicas Tepalcatepec.

3.6.- Hidrografía y Clima.

Su hidrografía está constituida por los ríos Tepalcatepec, Las Mesas, Pinolapa, Colomotitán y Los Otates.

Su clima es tropical, seco estepario y algunas partes árido y muy árido, dando aspecto desértico. Las temperaturas mínimas van desde 18°C en invierno a 25°C en verano; así como las máximas de 34 °C en invierno rebasando a 41° en verano, en Tepalcatepec se han registrado temperaturas extremas superiores a 50 °C convirtiendo a Tepalcatepec como una de las más cálidas de Michoacán y de México con temperatura promedio de 28.9°. La temperatura máxima registrada fue de 53.3° en el mes de mayo y la mínima de 6° en el mes de enero.

La cuestión de los escurrimientos dentro del proyecto de pavimentación de las vialidades de la colonia, se resolverá considerando pendientes transversales y horizontales, así como bocas de tormenta y rejillas que captarán el agua de lluvia principalmente, encausándolo al drenaje pluvial.

La precipitación es muy irregular teniendo de 300 mm a 1100 mm los valores más bajos se registran de la cabecera municipal hacia los límites con el municipio de Buenavista y los más altos se registran en las zona sur de municipio hacia los límites de Coalcomán. Con frecuencia se presenta la canícula o sequía intraestival a finales de junio o durante el mes de agosto con una duración de 15-25 días y en ocasiones hasta 30 días.

3.7.- Actividades de la región.

Las actividades principales del región son agricultura y comercio, en el municipio de Tepalcatepec el grado de pérdidas de cosechas de cultivos de temporal es alto en promedio, en la mayor parte del municipio es posible el cultivo bajo condiciones de temporal de anualidades de ciclo corto y largo, debido a lo irregular de las precipitaciones y de la presencia de la canícula, éstos año con año están sujetos a distintos grados de siniestros dependiendo de la condición climática.

La población cuenta con mercados ubicados en el centro de la población y con varios supermercados que dan abasto a toda la población y a las rancherías. Y el miércoles se ubica en el centro en AV. Américas el Tianguis.

El pueblo cuenta con muchos comercios donde podrán encontrar Queseras, Compra y Venta de Ganado, Papelerías, Ferreterías, abarrotes, llanteras, funerarias, Autoservicios, Foto Estudios, Materiales para Construcción, Mueblerías, Fabricas de Muebles, taquerías, cenadurías, pastelerías, tortillerías, Vinos y Licores, Tiendas de Ropa, Cibercafés, Salones de Belleza, etc. Y muchos tipos de negocios más.

Cuenta con dos centrales de autobuses, gracias a estos transportes permiten comunicarnos con otras ciudades, destinos como: Buenavista Tomatlán, Apatzingán, Cuatro Caminos, Uruapan, Morelia, Coalcomán, Jilotlán, Tecalitlán, Zamora, y muchos destinos más.

3.8.- Informe fotográfico.

En una de las visitas realizadas para una apreciación más específica se tomaron fotografías de las calles a diseñar de la colonia “Benito Juárez” para ver cuáles son los factores que pudieran causar algún efecto sobre el diseño de pavimento, así como los elementos de la hidrografía, naturaleza, y vehículos que se observan en la colonia.

Es por ello que se presenta un reporte fotográfico describiendo cada una de las imágenes presentadas con el fin de hacer la interpretación de manera que pueda entenderse el estudio y se muestran los sitios de la colonia más conocidos para tener una mayor noción acerca de la colonia donde se elige para desarrollar la investigación y a cualquiera que tenga la inquietud de ubicar geográficamente el proyecto.

En la imagen 3.6, con la que se inicia el reporte fotográfico, se puede observar la calle Parácuaro esquina con calle Carlos Salazar, donde se puede notar una superficie de rodamiento a base de arcilla y grava, hasta el momento el tipo de vehículos que transitan por esta vialidad es de tipo A y en menor grado del tipo C.



Imagen 3.6.- Calle Parácuaro esquina con calle Carlos Salazar.

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente imagen se puede observar la calle que lleva por nombre Narciso Mendoza, el cual se puede observar que la vialidad está conformada por

arcillas, grava y vegetación, así como arboledas en la superficie de rodamiento, la cual se tendrá que evaluar y mejorar para conformar una vialidad funcional y cómoda para los habitantes de dicha colonia.



Imagen 3.7.- Calle Narciso Mendoza.

Fuente: Elaboración propia.

En la imagen 3.8, se puede observar en la fotografía una de las principales vialidades de la colonia ya que al lado izquierdo de la calle se encuentran

ubicadas dos escuelas, una es el Centro de Bachillerato Técnico Agropecuario (CBTA) y la otra es el Centro de Atención Múltiple (CAM), tambien se nota la presencia de árboles y calles de terracería, es la Avenida Ponciano García DE LA A. esquina con calle Playa Azul.



Imagen 3.8.- Avenida Ponciano García DE LA A.

Fuente: Elaboración propia.

En la imagen 3.9, se observa una vista general a la Avenida Ponciano García DE LA A. la cual es de suma importancia su urbanización para mejorar el acceso vial a los estudiantes así como tambien a los estudiantes de capacidades diferentes.



Imagen 3.9.- Avenida Ponciano García DE LA A.

Fuente: Elaboración propia.

En la imagen 3.10, se encuentra ubicada la calle Maruata de la colonia Benito Juárez, de la cual se extrajo material del suelo para hacer las pruebas del laboratorio requeridas para la propuesta de la estructura de pavimento, esta calle cuenta con presencias de árboles y conecta varios puntos específicos de la colonia.



Imagen 3.10.- Calle Maruata.

Fuente: Elaboración propia.

Por último en la imagen 3.11, se puede observar uno de los pozos a cielo abierto realizado durante la exploración geotecnia, este sondeo nos presenta de manera general el tipo de suelo que tenemos como desplante de la estructura de pavimento, el cual es un limo de color café oscuro, el cual presentó una consistencia media a dura.



Imagen 3.11.- Pozo a cielo abierto.

Fuente: Propia.

En el capítulo 4 se muestra la metodología que se siguió para la presente investigación para llegar a resolver la incógnita, cumpliendo todos los objetivos planteados dentro del inicio de la misma. Se demuestra aquí el tipo de investigación que se realiza así como el tipo de enfoque al que se inclina.

Los elementos utilizados en la investigación se requieren plasmar en este apartado para que cualquier persona sepa que elementos debe utilizar en el momento en que se presente una situación similar. Los métodos y teorías utilizados en el diseño de pavimentos además de los software que son de gran ayuda, en esta investigación son mencionados aquí para poder facilitar el capítulo de cálculos requeridos y mostrar cómo se realiza la solución planteada para la incógnita a resolver.

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA, CÁLCULOS, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

Dentro de este capítulo se verán los procedimientos que se emplean para el análisis y la solución de la investigación en proceso, también se mencionará el método aplicado, así como también se presentan las consideraciones, análisis y cálculos realizados para el diseño de pavimento rígido.

4.1.- Método empleado.

De acuerdo con Tamayo (2003), el método epistemológico lleva a plantear los problemas científicos y de investigación, formular hipótesis y mecanismos de verificación; así mismo menciona que el conocimiento científico, es el resultado de la sistematización del conocimiento que resulta de la interacción del hombre con su medio.

Dentro de esta investigación debido a que el resultado final se trata de un diseño de pavimento y específicamente del tipo rígido, en el cual se requiere una serie de cálculos y estudios cuantitativos, el método que más se va emplear para llegar al resultado final es el método matemático.

4.1.1.- Método matemático.

El método matemático es un método cuantitativo, se basa en la utilización de números o cantidades. Para el caso de esta investigación se hace uso de

cálculos numéricos, procedimientos establecidos y estudios cuantitativos, por lo cual este método es la mejor opción de aplicación.

El método matemático es usualmente utilizado en las denominadas ciencias exactas, dentro de las cuales la ingeniería civil puede quedar integrada, ya que para diseñar un pavimento rígido es necesario realizar cálculos y procedimientos adecuados para lograr un resultado apegado a la exactitud.

4.2.- Enfoque de la investigación.

Se sabe que la investigación es la búsqueda de soluciones a objetivos por resolver, así como también puede ser la búsqueda de conocimientos y procedimientos sistemáticos para una determinada área de la ciencia.

La presente investigación pretende diseñar un pavimento rígido, por lo que se trabajará sobre la investigación cuantitativa, ya que con ésta se puede tener un resultado más ampliamente y también se puede tener un control más adecuado sobre los procesos a realizar.

4.2.1.- Alcance de la investigación.

Esta investigación se puede clasificar como de alcance descriptivo, ya que busca describir situaciones, eventos y hechos, es decir, como es y cómo se manifiesta un fenómeno determinado, miden evalúan o recolectan datos sobre diversos aspectos, dimensiones o componentes de un fenómeno a investigar. Entendiéndolo mejor como ejemplo con este alcance descriptivo se puede decir

cómo es el pavimento que se va a diseñar y cuáles son los datos recolectados y utilizados para este fin.

4.3.- Diseño de investigación.

De acuerdo con el autor Hernández y Cols. (1991), existen 2 tipos de diseños para la investigación no experimental, la investigación transeccional o transversal y la investigación longitudinal, en esta investigación se hará uso de la investigación transversal, la cual a su vez se puede dividir en diseños descriptivos y correlacionales/causales, cabe señalar que para la presente investigación se recolectan datos de un sólo momento, en un tiempo único, con el propósito de describir las variables y analizar sus incidencias e interrelación de dicho momento.

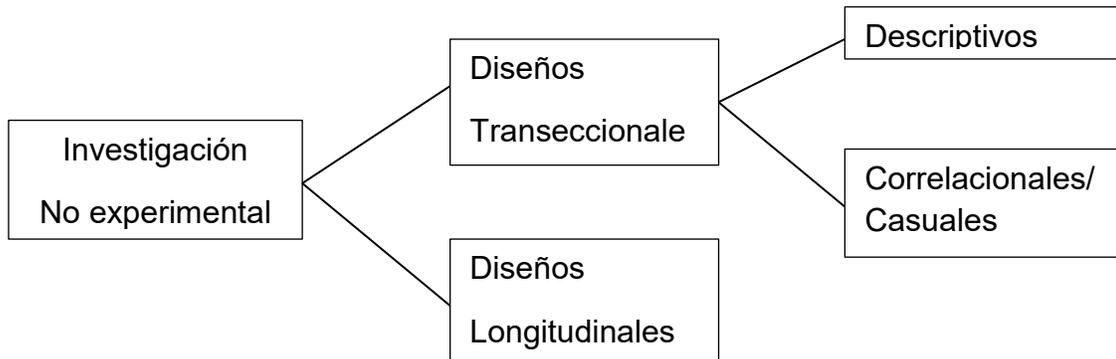


Imagen 4.1.- Investigación no experimental.

Fuente: Elaboración propia (información de Hernández y Cols; 1991; 152).

El propósito de diseño transeccional descriptivo, tiene como punto investigar la incidencia y los valores en los que se presenta una o más variables, así como proporciona la descripción de dichas variables.

Dentro del diseño transeccionales correlacionales/causales, tienen como objetivo describir las relaciones que se presentan en uno, dos o más variables, en un tiempo determinado.

Para la presente tesis se utilizará un diseño transeccional o transversal descriptivo, ya que los datos que se obtienen en esta investigación son tomados en un momento único, descubriendo variables y observando su incidencia en el objetivo final de la investigación.

4.4.- Instrumentos de recopilación de datos.

Dentro de la investigación se han recopilado datos por medio de una observación cuantitativa, es decir, por medio de la proyección del número de lotes y/o viviendas proyectadas, se cuantifico el número de vehículos que estarán transitando por el pavimento de las vialidades motivo de esta investigación, un análisis de las condiciones finales de servicio para dichas vialidades, considerando la clasificación de los vehículos y las consideraciones de carga aplicada al pavimento.

4.5.- Descripción del procedimiento de investigación.

Después de la ubicación del sitio sobre el cual se realiza esta tesis, se hizo uso de cartas topográficas existentes las cuales fueron consultadas en el INEGI y de programas de cómputo sobre ubicaciones geográficas por medio satelital, que proporcionaron la ubicación exacta de predio, se procedió a hacer una visita al lugar de investigación, para conocer las condiciones actuales y mediante el uso de

una cámara fotográfica se hicieron diferentes capturas de imagen que ayudaron a describir dichas condiciones.

Se realizó una consulta a la bibliografía general sobre diseños de pavimentos rígidos, a la normatividad de la Secretaría de Comunicación y Transportes, a manuales de empresas especializadas en este tipo de estructuras, y por último se investigó sobre los programas de cómputo que apoyan a este tipo de diseños.

Una vez que se cuenta con los datos necesarios y los requerimientos normativos, se procedió a hacer el cálculo del diseño de pavimento rígido para lo cual se apoyó en el uso de programas de cómputo como el programa de la paquetería de Microsoft Office denominado Excel como ayuda para la realización de las iteraciones y tanteos requeridos en este método, así como también el empleo de algunos programas más avanzados como es el programa de diseño asistido por computadora AutoCad en su versión 2011 y programas comerciales de empresas especialistas en este tipo de diseños.

4.6.- Análisis e interpretación de resultados.

En relación a los métodos de diseño más utilizados para este tipo de pavimentos, se tiene al método de la América Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO) y de la Portland Cement Association (PCA), el primero se clasifica dentro de los procedimientos basados en ecuaciones de regresión, desarrolladas a partir de la experiencia de resultados de tramos de prueba, utilizando conceptos como los del módulo de resiliencia y elástico de los

materiales; el segundo basado principalmente en el concepto de consumo de resistencia, este método calcula las tensiones que produce el tránsito de cada rango de carga, comparándola con la resistencia de diseño estableciendo el número de repeticiones permitidas en cada rango de carga, que comparado con el número de repeticiones esperadas, permite establecer un porcentaje de consumo de resistencia por cada rango, y cuya suma no debe exceder de un 100% así mismo dentro de este método existe el análisis por erosión el cual limita los efectos de la deflexión del pavimento en los bordes y esquinas de las losas, y con ello controlar la erosión del material de cimentación (subrasante y subbase).

Para el diseño del pavimento rígido de la presente investigación se utilizará el método de diseño de la PCA (Portland Cement Association).

4.6.1.- Aforo vehicular.

Es el conteo de vehículos y tienen por objetivo cuantificar el número de vehículos que pasan por un punto, sección de un camino o a una intersección.

A continuación se mostrarán unas tablas con los resultados de los aforos vehiculares que se obtuvieron en campo. Los conteos fueron en forma manual y los realizaron personas capacitadas para dichos estudios.

Aforo vehicular de la calle Parácuaro, en esta calle se tomaron tres estudios de una hora aproximadamente a diferentes horas del día con una sumatoria total de 13 vehículo /hora.

CALLE PARACUARO					
COLONIA BENITO JUÁREZ					
	LUNES			CANT/HR	%
	10:30-11:30	03:30-04:30	07:30-08:30		
AP1	8	1	10	6.33	48.72
AC2	4	6	5	5.00	38.46
B				0.00	0.00
C2	1			0.33	2.56
C3	1			0.33	2.56
T2-S1				0.00	0.00
T2-S2				0.00	0.00
T3-S2	2		1	1.00	7.69
			Σ=	13.00	100.00

En la calle Arteaga, que es una de las principales vialidades de la colonia se llegó a un resultado de 108 vehículo/hora, en tres horas, tomando en cuenta las horas pico.

CALLE ARTEAGA					
COLONIA BENITO JUÁREZ					
	LUNES			CANT/HR	%
	08:00-09:00	01:30-02:30	08:00-09:00		
AP1	27	54	36	39.00	36.11
AC2	29	93	73	65.00	60.19
B				0.00	0.00
C2		6		2.00	1.85
C3	2	1	1	1.33	1.23
T2-S1	1			0.33	0.31
T2-S2				0.00	0.00
T3-S2	1			0.33	0.31
			Σ=	108.00	100.00

En la calle doctor miguel silva se realizaron los estudios a diferentes horas el día martes y se obtuvo en tres horas un porcentaje total de 8.67 vehículos/hora.

CALLE DOCTOR MIGUEL SILVA					
COLONIA BENITO JUÁREZ					
MARTES					
	09:00-10:00	02:30-03:30	08:30-09:30	CANT/HR	%
AP1	6	4	5	5.00	57.69
AC2		7	1	2.67	30.77
B				0.00	0.00
C2				0.00	0.00
C3			3	1.00	11.54
T2-S1				0.00	0.00
T2-S2				0.00	0.00
T3-S2				0.00	0.00
			Σ=	8.67	100.00

En la calle Carlos Salazar, fue de los aforos con menos tránsito vehicular, se presentó el 4.6 vehículo /hora en su mayoría AC2.

CALLE CARLOS SALAZAR					
COLONIA BENITO JUÁREZ					
MIERCOLES					
	09:00-10:00	02:30-03:30	06:30-07:30	CANT/HR	%
AP1	1	2	3	2.00	42.86
AC2	1	7		2.67	57.14
B				0.00	0.00
C2				0.00	0.00
C3				0.00	0.00
T2-S1				0.00	0.00
T2-S2				0.00	0.00
T3-S2				0.00	0.00
			Σ=	4.67	100.00

En la calle Narciso Mendoza, se presentó un tránsito considerable de 21 vehículos /hora abundando el tipo vehicular AC2.

CALLE NARCISO MENDOZA					
COLONIA BENITO JUÁREZ					
MIERCOLES					
	11:30-12:30	01:30-02:30	07:00-08:00	CANT/HR	%
AP1	13	5	3	7.00	33.33
AC2	24	13		12.33	58.73
B				0.00	0.00
C2	1			0.33	1.59
C3		4		1.33	6.35
T2-S1				0.00	0.00
T2-S2				0.00	0.00
T3-S2				0.00	0.00
			Σ=	21.00	100.00

La calle Ponciano García Arriaga es otra de las principales vías en la colonia ya que comunica a dos escuelas públicas importantes en el municipio cuenta con una cantidad de 21.33 vehículos /hora.

CALLE PONCIANO GARCIA ARRIAGA					
COLONIA BENITO JUÁREZ					
JUEVES					
	08:00-09:00	01:30-02:30	07:00-08:00	CANT/HR	%
AP1	7	6	4	5.67	26.56
AC2	30	16		15.33	71.88
B				0.00	0.00
C2	1			0.33	1.56
C3				0.00	0.00
T2-S1				0.00	0.00
T2-S2				0.00	0.00
T3-S2				0.00	0.00
			Σ=	21.33	100.00

La calle Coahuayana presentó un tránsito considerable ya que en una de las calles que conecta con la colonia centro del municipio de Tepalcatepec presentando una cantidad de 38.67 vehículos /hora.

CALLE COAHUYANA					
COLONIA BENITO JUÁREZ					
	VIERNES			CANT/HR	%
	10:00-11:00	04:00-05:00	05:00-06:00		
AP1	11	10	7	9.33	24.14
AC2	24	26	29	26.33	68.10
B				0.00	0.00
C2				0.00	0.00
C3	4	3	2	3.00	7.76
T2-S1				0.00	0.00
T2-S2				0.00	0.00
T3-S2				0.00	0.00
			Σ=	38.67	100.00

Por último pero no menos importante está la calle Mariano Abasolo en la cual se registraron 29.33 vehículos /hora ya que está cerca de unos negocios importantes que forman parte para el desarrollo del municipio.

CALLE MARIANO ABASOLO					
COLONIA BENITO JUÁREZ					
	VIERNES			CANT/HR	%
	10:30-11:30	02:15-03:15	07:15-08:15		
AP1	14	9	6	9.67	32.95
AC2	22	20	13	18.33	62.50
B				0.00	0.00
C2		1		0.33	1.14
C3			1	0.33	1.14
T2-S1				0.00	0.00
T2-S2				0.00	0.00
T3-S2	1	1		0.67	2.27
			Σ=	29.33	100.00

Con los siguientes estudios se pretende diseñar la estructura de pavimento rígido tomando en cuenta las cargas a la que va ser sometida la estructura rígida y para tener un criterio con las personas que transiten por estas vialidades.

4.6.2.- Aplicación del método de la PCA.

Este método se puede utilizar en el dimensionamiento de diferentes tipos de pavimentos rígidos como son:

Los pavimentos de concreto simple, construidos sin acero de refuerzo y sin varillas de transferencia de carga entre las juntas, ya que se asume que la transferencia de dicha carga se logra a través del esfuerzo de corte que proporcionan los agregados situados en las caras agrietadas intencionalmente en las losas, por ello la restricción de la longitud de dichas losas a ser cortas, en esta

investigación el diseño se realiza con las características generales descritas en este párrafo.

Los pavimentos de concreto simple con varillas de transferencia de carga, que no tienen propiamente acero de refuerzo, tan solo pasajuntas entre las losas de concreto realizadas, las cuales realizan la transferencia de carga entre las losas, en necesario que las losas sean cortas con el objetivo de tener mejor y mayor control sobre los agrietamientos que se puedan producir.

Los pavimentos de concreto armado o reforzado, que tienen propiamente acero de refuerzo así como varillas de transferencia de carga en las juntas de contracción, evitando con el armado de refuerzo las fisuras o grietas transversales que se puedan presentar, lo que permite una mejor transferencia de carga.

Los pavimentos de refuerzo continuo, que se construyen sin juntas de contracción, por tener una continuidad de acero de refuerzo, e igualmente que los pavimentos de concreto armado evitan las fisuras transversales y se tiene un alto grado de eficiencia en la transferencia de carga.

4.6.3.- Elementos básicos, cálculos, factores de diseño y diseño de espesores.

De acuerdo con el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos (2002), en los pavimentos de concreto simple, el espaciamiento entre las juntas de las losas no debe exceder una dimensión de 4.50 m, para que las losas presenten un buen comportamiento, para pavimentos con pasajuntas, no exceder una dimensión de 6.00 m y para pavimentos reforzados una dimensión de 12.0 m,

espaciamientos mayores presentan problemas tanto en la juntas como en grietas transversales.

Para este método se establecen varias condiciones para el desarrollo del procedimiento de diseño:

- La transferencia de carga depende del tipo de pavimento que se establezca.
- El uso de hombros (franja de guarniciones) de concreto, reduce los esfuerzos de flexión y deflexiones, producidos por las cargas de los vehículos en los hombros de las losas.
- Para considerar la reducción de los esfuerzos que se producen por el paso de los vehículos, se debe considerar la utilización de capas de sub-base, ya sean estabilizadas o con materiales controlados, que proporcionen superficies de soporte de mejor calidad y resistencia a la erosión que la propia subrasante.
- Los criterios básicos de diseño son por fatiga y por erosión.
- Los camiones con eje tandem se consideran dentro del diseño, puesto que este tipo de ejes pueden llegar a causar más daño por efecto de erosión que por fatiga, sin embargo en este caso no se consideran por el tipo de vialidad estudiada.

Posteriormente al conocer las condiciones del lugar de proyecto, definir el tipo de pavimento a diseñar, se deberá tomar en cuenta los siguientes factores.

La resistencia a la flexión de concreto o el Módulo de Ruptura (MR), utilizando este factor para el criterio de fatiga que sufren los materiales por el paso de las cargas impuestas por los vehículos, que pueden producir agrietamientos, en este diseño utilizaremos un Módulo de Ruptura mínimo de 40 kg/cm^2 .

La capacidad de soporte de la capa subrasante y de la capa de sub-base, valor mejor conocido como Módulo de Reacción (k), se obtiene del ensaye de placa o se puede estimar a partir del ensaye de Valor Relativo de Soporte (VRS), así mismo la utilización de capas de sub-base son necesarias con el objetivo de incrementar la capacidad de soporte del pavimento, esta capa puede o no, ser estabilizada e incluso conformarse con concreto pobre, así mismo con la utilización de este se puede llegar a reducir el espesor de la losa de concreto, en la imagen 4.2 se puede observar el incremento del valor k con la utilización de una sub-base de tipo granular (material de banco sin estabilizar) dependiendo del espesor de la misma.

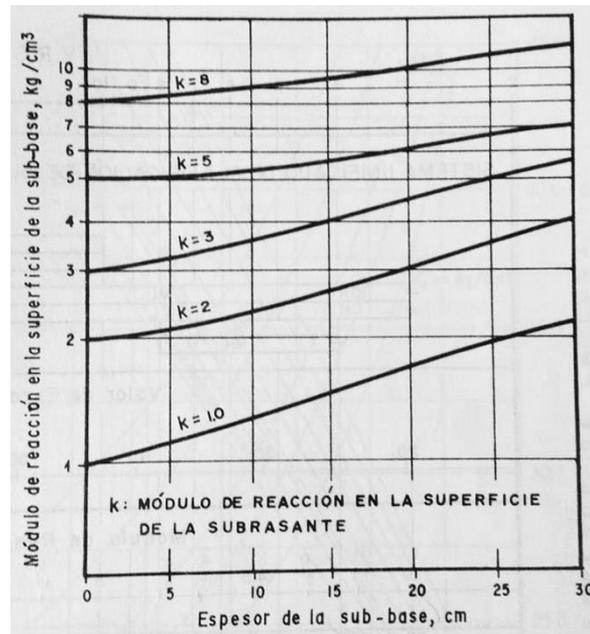


Imagen 4.2.- Gráfica para obtener el valor de K sobre la sub-base conocido el mismo sobre la subrasante.

Fuente: MCDP; 2002; 211.

Para esta investigación, el Módulo de Reacción para la capa de Subrasante se obtiene de la correlación del Valor Relativo de Soporte Obtenido en el estudio de mecánica de suelo que en promedio es de 13.1% y la imagen 2.8, que corresponde a un valor k de $6.75 \text{ kg/cm}^2/\text{cm}$, mientras que para la capa de sub-base tomaremos los requisitos establecidos por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes en su Norma N-CMT-4-02-001-11 para este tipo de capas, señalando un Valor Relativo de Soporte mínimo de 60% correspondiente a un valor k corregido para un espesor propuesto de $10.00 \text{ kg/cm}^2/\text{cm}$, obtenido de la gráfica de la imagen 4.2, para determinar el valor de k corregida por efecto de colocar una capa de sub-base de tipo granular, proponiendo un espesor de la

capa de sub-base de 30.00 cm y revisando la gráfica de los valores de k de subrasante de 6.75 kg/cm², correspondiendo con el espesor propuesto de 30.00 cm obtenemos el K de la sub-base de 10.00 kg/cm².

Otro factor a considerar es la distribución del tránsito proyectado o aforado y el periodo de diseño del pavimento, el cual es seleccionado en función del tipo de vía, nivel de tránsito y un análisis económico y de servicio, generalmente para pavimento rígidos es de 20 años, y es el mismo valor el cual se utilizará para este diseño, una tasa de crecimiento anual del 1.20 % y un tránsito de proyecto diario anual (TPDA) estimando en los vehículos promedio por colonia se obtuvieron unos resultados de:

$$A_p = 36.20\%$$

$$A_c = 61.85\%$$

$$B_2 = 1.00\%$$

$$C_2 = 0.50\%$$

$$C_3 = 0.50\%$$

$$T_2-S_1 = 0.13\%$$

$$T_3-S_2 = 0.82\%$$

En la imagen 4.3 se puede observar el factor de crecimiento propuesto por este método.

Tasas de crecimiento anual de tránsito, %	Factores de proyección	
	20 años	40 años
1	1.1	1.2
1 1/2	1.2	1.3
2	1.2	1.5
2 1/2	1.3	1.6
3	1.3	1.8
3 1/2	1.4	2.0
4	1.5	2.2
4 1/2	1.6	2.4
5	1.6	2.7
5 1/2	1.7	2.9
6	1.8	3.2

Imagen 4.3.- Tasa anual de crecimiento con sus factores de proyección.

Fuente: MCDP; 2002; 211.

El factor de seguridad de carga, el cual estará determinado por el tipo de vía a diseñar, el MCDP menciona que, para vías que presentan múltiples carriles en las cuales se espera un alto tránsito de vehículos pesados, el factor recomendado es $F_{sc}=1.2$, para carreteras y vías urbanas en las que el tránsito esperado es moderado, el factor será de $F_{sc}=1.1$, mientras que para calles residenciales y de tránsito bajo el factor será de $F_{sc}=1.0$.

Así mismo se puede calcular el volumen total de vehículos esperados en la vida de proyecto mediante la siguiente fórmula:

$$vt = \frac{TDPA(FP)}{N} \left(\frac{Tcp}{100} \right) \left(\frac{CCP}{100} \right) (365)(Pd)$$

Calculando este valor:

TPDA 1 = 500 vehículos

FP = 1.27 (factor de proyección) usando la fórmula

$$(1 + \text{tasa crecimiento})^{\text{Periodo de Diseño}}$$

N = 2.0, número de carriles.

r = 1.20%, tasa de crecimiento.

Tcp = 2%, porcentaje de vehículos pesados.

CCP = 1, Factor de corrección de tránsito en el carril de diseño

Así, para esta investigación se tiene un valor de vehículos total de 44,272.48; este valor se usara para el cálculo de las repeticiones esperadas.

Con el uso de una hoja de cálculo previamente realizada analizaremos tres opciones de espesores de estructura de pavimento, proponiendo la primera con un espesor de losa de concreto de 15.00 cm y una capa de sub-base de material granular con espesor de 20.00 cm, como segunda opción una estructura a base una losa de concreto hidráulico de 15.00 cm y una capa de sub-base de material granular de 25.00 cm, y como tercer opción una estructura a base de 15 cm de losa de concreto y 30.00 cm de capa de sub-base.

El método de diseño seleccionado, establece que en base a la distribución de los tipos de vehículos esperados en la vialidad de proyecto, se determine el número de ejes equivalente tanto sencillos como tándem y al peso que tiene cada

uno de ellos en la estructura, determinarán el total de ejes por cada 1000 vehículos y por ende las repeticiones de carga esperadas para cada tipo y peso de los ejes, con las repeticiones esperada se procede a comparar con las repeticiones admisibles por fatiga, estas repeticiones las determinamos en base a los valores de esfuerzos equivalentes, obtenido de la imagen 4.4 e imagen 4.5, en la cual entramos con el espesor de losa propuesta de 15.00 cm y se obtiene el valor de la k para diseño de 10.00 kg/cm², obteniendo los valores de esfuerzo equivalente para eje sencillo de 19 y para tándem de 24.5; en siguiente valor requerido es la relación de esfuerzos, la cual obtenemos de dividir el esfuerzo equivalente entre el módulo de ruptura, para lo cual obtenemos valor de relación de esfuerzo para eje sencillo de 0.55 y para eje tándem de 0.70.

Con los valores ya calculados, y con el uso de las imágenes 4.4 e imagen 4.5, se puede determinar la relación de esfuerzos resistentes (MR), para ello se entró a las gráficas utilizando el peso de los ejes sencillos y de los ejes tándem, con los cuales se traza una línea hasta intersectar con el valor K de la sub-base, posteriormente esa línea se intersecta con el espesor propuesto de la sub-base el cual nos sirve de pivote para localizar la relación de esfuerzos resistentes.

Con esto se determina la estructura más adecuada, en base a los resultados obtenidos y los espesores constructivamente más convenientes.

En páginas posteriores se presentan las hojas de cálculo utilizadas para las opciones propuestas en la cual se puede notar la variación de resultados finales con el cambio de espesores de la capa de sub-base.

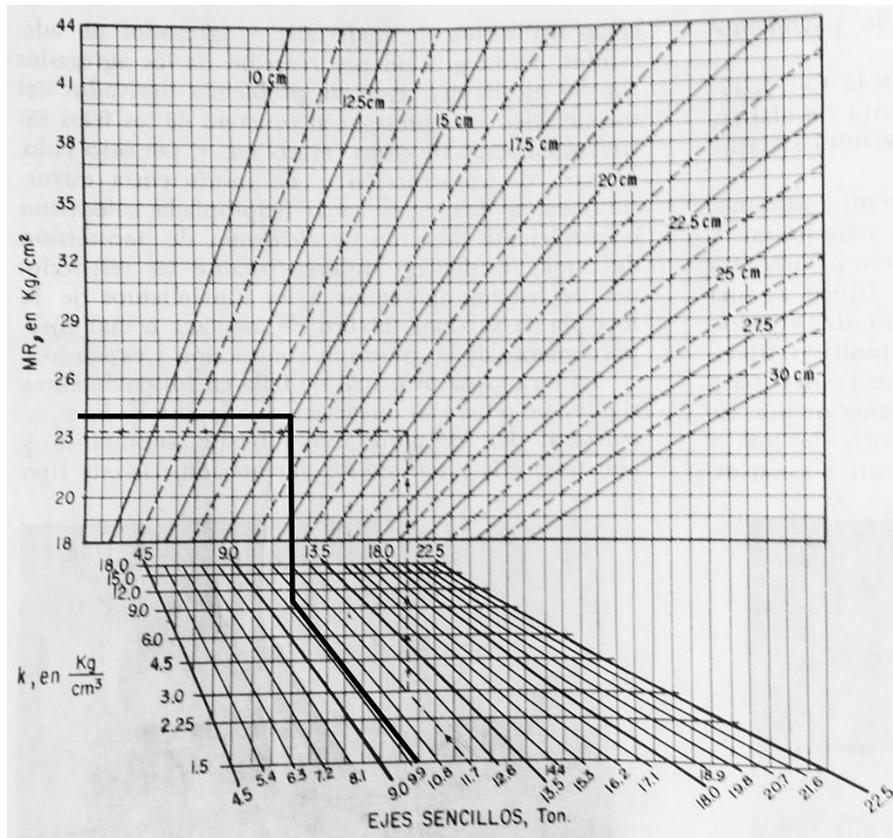


Imagen 4.4.- Gráfica de diseño para cargas en ejes sencillos.

Fuente: MCDP; 2002; 222.

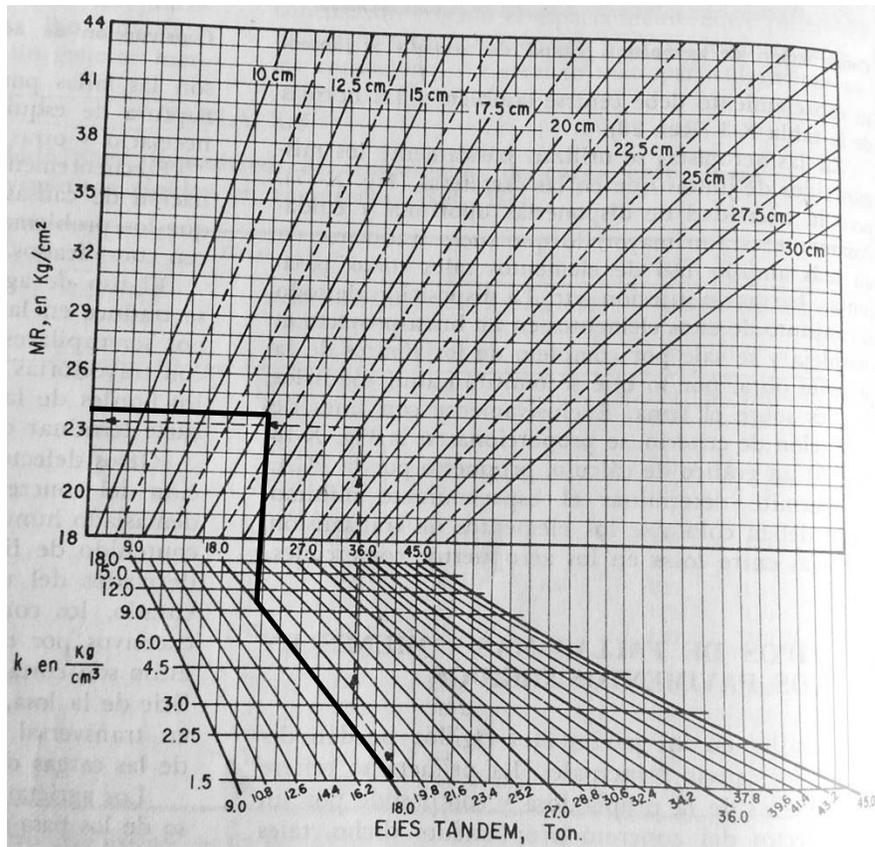


Imagen 4.5.- Gráfica de diseño, para carga en tandem.

Fuente: MCDP; 2002; 222.

A continuación se muestran unas tablas con tres opciones después de tener en cuenta los parámetros para el diseño del pavimento conforme al PCA arrojan los siguientes resultados teniendo en cuenta los siguientes formatos:

Cálculo de opción uno, 15.00 cm losa de concreto y 30.00 cm capa de sub-base

METODO PORTLAND CEMENT ASOCIATION.												
ANÁLISIS DE TRANSITO.												
CLASIFICACIÓN DEL TRANSITO EN PORCENTAJE:					DATOS GENERALES:							
Ap =	36.20%	Ac =	61.85%	B2, B3 =	0.00%	TPDA =	245.0					
C2 =	0.50%	C3 =	0.50%	T2 - S1 =	0.13%	TASA CRECIMIENTO ANUAL	1.20%					
T2 - S2 =	0.00%	T3 - S2 =	0.82%	T3 - S3 =	0.00%	PERIODO DE DISEÑO AÑOS	20.0					
Suma Porcentaje =	100.00%											
CÁLCULO DEL VOLUMEN TOTAL DE VEHICULOS EN LA VIDA DE PROYECTO.												
TPDA	245.0	Tránsito promedio diario anual.	n =	20.0	P. de diseño (años).							
FP =	1.27	Factor de Proyección.										
N =	1.0	Numero de carriles en un sentido.										
r =	1.20%	Tasa de crecimiebt anual.										
Top =	2%	Porcentaje de vehiculos pesados.										
CCP =	1.0	Factor corrección de tránsito en el carril de diseño.										
									vt = 44,272.48			
EJES SENCILLOS												
Tipo de Vehículo.	Peso Total (Ton)	Composición de Tránsito	Número de Vehículos	Número de Ejes del Vehículo		TOTALES	Peso de los Ejes. (Ton)		Clasificación de Ejes	Total Ejes C/1000 Vehic	Reparaciones Esperadas	
				Delanteros	Traseros		Delanteros	Traseros				Peso Eje
A2	2.0	98.1%	240	240	240	480	1.0	1.0	1	480	1959.18	86.737.91
B2	15.5	0.0%	0	0	0	0	5.5	10.0	5.5	4	16.33	722.82
C2	15.5	0.5%	1	1	---	1	5.5	---	10	0	0.00	0.00
C3	23.0	0.5%	1	1	---	1	5.5	---	---	---	---	---
T2-S1	24.5	0.1%	0	0	---	0	5.5	---	---	---	---	---
T2-S2	31.5	0.0%	0	0	---	0	5.5	---	---	---	---	---
T3-S2	39.0	0.8%	2	2	---	2	5.5	---	---	---	---	---
T3-S3	43.0	0.0%	0	0	---	0	5.5	---	---	---	---	---
EJES TANDEM												
C2	15.5	0.5%	1	---	1	1	---	18.0	18.0	4	16.33	722.82
C3	23.0	0.5%	1	---	1	1	---	18.0	18.0	2	8.16	361.41
T2-S1	24.5	0.1%	0	0	0	0	18.0	18.0	---	---	---	---
T2-S2	31.5	0.0%	0	0	0	0	18.0	18.0	---	---	---	---
T3-S2	39.0	0.8%	2	2	2	4	18.0	22.5	---	---	---	---
T3-S3	43.0	0.0%	0	0	0	0	18.0	22.5	---	---	---	---

CALCULO DE ESPESORES:

Resistencia de proyecto; Concreto $f'c$ kg/cm² = 333.33 Modulo de Ruptura kg/cm² = 40.00 MR=0.12f_c

Determinación de la capacidad portante de la capa de apoyo.

%VRS SR: 13.1

Obtención del Módulo de reacción de la capa de apoyo "K", utilizando una subbase de buena calidad (VRS min. 60%).

K SR: 6.75 kg/cm²
 Espesor prop. SB: 30.00 cm
 Kc para Diseño: **10.00** kg/cm² de graficas.

Tomando en cuenta los datos del tránsito y las propiedades mecánicas del concreto y la capa de apoyo, determinaremos la fatiga consumida, haciendo uso de la tabla de cálculo siguiente:

SUPONIENDO UN ESPESOR DE LOSA DE 15.00 CM.					
Peso por Eje	Esfuerzo actuante	Relación de Esfuerzos	Repeticiones		% de Fatiga consumida
			Permisibles	Esperadas	
EJES SENCILLOS					
1.0	< 18	0.50	INFINITAS	86,737.91	0.0%
5.5	< 18	0.50	INFINITAS	722.82	0.0%
10.0	24.0	0.60	32,000.00	0.00	0.0%
EJES TANDEM					
18.0	23.5	0.59	42,000.00	722.82	1.7%
22.5	30.0	0.75	490.00	361.41	73.8%
SUMA =					75%
MENOR AL 100% OK					

Finalmente concluimos con que el espesor del pavimento de concreto en este caso es de 15 cm, con concreto hidraulico de MR min = 40.00, en cual se asentara sobre una capa de subbase hidraulica con espesor de 30 cm, La sección transversal a usar se muestra a continuación.

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PROYECTADA

LOSA DE CONCRETO HIDRAULICO.	15 CM	MR min =40.0
SUBBASE DE BUENA CALIDAD.	30 CM	Subbase de buena calidad, VRS min.=60% TMA 1", NORMA N-CMT-4-02-001/11
TERRENO NATURAL, ARCILLA ARENOSA.		Terreno natural compacto.

Cálculo de opción dos, 15.00 cm losa de concreto y 25.00 cm capa de sub-base

METODO PORTLAND CEMENT ASSOCIATION.												
ANALISIS DE TRANSITO.												
CLASIFICACIÓN DEL TRANSITO EN PORCENTAJE:					DATOS GENERALES:							
Ap =	36.20%	Ac =	61.85%	B2, B3 =	0.00%	TPDA =	245.0					
C2 =	0.50%	C3 =	0.50%	T2 - S1 =	0.13%	TASA CRECIMIENTO ANUAL	1.20%					
T2 - S2 =	0.00%	T3 - S2 =	0.82%	T3 - S3 =	0.00%	PERIODO DE DISEÑO AÑOS	20.0					
Suma Porcentaje =	100.00%											
CALCULO DEL VOLUMEN TOTAL DE VEHICULOS EN LA VIDA DE PROYECTO.												
TPDA	245.0	Tránsito promedio diario anual.	n =	20.0	P. de diseño (años).							
FP =	1.27	Factor de Proyección.										
N =	1.0	Numero de carriles en un sentido.										
r =	1.20%	Tasa de crecimiento anual.										
Tcp =	2%	Porcentaje de vehículos pesados.										
CCP =	1.0	Factor corrección de tránsito en el carril de diseño.							vt = 44,272.48			
EJES SENCILLOS												
Tipo de Vehículo.	Peso Total (Ton)	Composición de Tránsito	Número de Vehículos	Número de Ejes del Vehículo		TOTALES	Peso de los Ejes. (Ton)		Clasificación de Ejes	Total Ejes C/1000 Vehic	Reparaciones Esperadas	
				Delanteros	Traseros		Traseros	Delanteros				Peso Eje
A2	2.0	98.1%	240	240	240	480	1.0	1.0	1	480	1959.18	86,737.91
B2	15.5	0.0%	0	0	0	0	5.5	10.0	5.5	4	16.33	722.82
C2	15.5	0.5%	1	1	---	1	5.5	---	10	0	0.00	0.00
C3	23.0	0.5%	1	1	---	1	5.5	---	---	---	---	---
T2-S1	24.5	0.1%	0	0	---	0	5.5	---	---	---	---	---
T2-S2	31.5	0.0%	0	0	---	0	5.5	---	---	---	---	---
T3-S2	39.0	0.8%	2	2	---	2	5.5	---	---	---	---	---
T3-S3	43.0	0.0%	0	0	---	0	5.5	---	---	---	---	---
EJES TANDEM												
C2	15.5	0.5%	1	---	1	1	---	18.0	18	4	16.33	722.82
C3	23.0	0.5%	1	---	1	1	---	18.0	22.5	2	8.16	361.41
T2-S1	24.5	0.1%	0	0	0	0	18.0	18.0	---	---	---	---
T2-S2	31.5	0.0%	0	0	0	0	18.0	18.0	---	---	---	---
T3-S2	39.0	0.8%	2	2	2	4	18.0	22.5	---	---	---	---
T3-S3	43.0	0.0%	0	0	0	0	18.0	22.5	---	---	---	---

CALCULO DE ESPESORES:

Resistencia de proyecto; Concreto f_c kg/cm ² =	333.33	Modulo de Ruptura kg/cm ² =	40.00	MR=0.12f _c
--	--------	--	-------	-----------------------

Determinación de la capacidad portante de la capa de apoyo.

%VRS SR: 13.1

Obtención del Módulo de reacción de la capa de apoyo "K", utilizando una subbase de buena calidad (VRS min. 60%).

K SR:	6.75	kg/cm ²	
Espesor prop. SB:	25.00	cm	
Kc para Diseño:	9.50	kg/cm ²	de graficas.

Tomando en cuenta los datos del tránsito y las propiedades mecánicas del concreto y la capa de apoyo, determinaremos la fatiga consumida, haciendo uso de la tabla de cálculo siguiente:

SUPONIENDO UN ESPESOR DE LOSA DE 15.00 CM.					
Peso por Eje	Esfuerzo actuante	Relación de Esfuerzos	Repeticiones		% de Fatiga consumida
			Permisibles	Esperadas	
EJES SENCILLOS					
1.0	< 18	0.50	INFINITAS	86,737.91	0.0%
5.5	< 18	0.50	INFINITAS	722.82	0.0%
10.0	23.0	0.58	32,000.00	0.00	0.0%
EJES TANDEM					
18.0	22.0	0.55	130,000.00	722.82	0.6%
22.5	28.0	0.70	2,000.00	361.41	18.1%
SUMA =					19%
MENOR AL 100% OK					

Finalmente concluimos con que el espesor del pavimento de concreto en este caso es de 15 cm, con concreto hidraulico de MR min = 40.00, en cual se asentara sobre una capa de subbase hidraulica con espesor de 25 cm, La sección transversal a usar se muestra a continuación.

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PROYECTADA		
LOSA DE CONCRETO HIDRAULICO.	15 CM	MR min =40.0
SUBBASE DE BUENA CALIDAD.	25 CM	Subbase de buena calidad, VRS min.=60% TMA 1", NORMA N-CMT-4-02-001/11
TERRENO NATURAL, ARCILLA ARENOSA.		Terreno natural compacto.

Cálculo de opción tres, 15.00 cm losa de concreto y 20.00 cm capa de sub-base

METODO PORTLAND CEMENT ASSOCIATION.												
ANÁLISIS DE TRANSITO.												
CLASIFICACIÓN DEL TRÁNSITO EN PORCENTAJE:					DATOS GENERALES:							
Ap =	36.20%	Ac =	61.85%	B2, B3 =	0.00%	TPDA =	245.0					
C2 =	0.50%	C3 =	0.50%	T2 - S1 =	0.13%	TASA CRECIMIENTO ANUAL	1.20%					
T2 - S2 =	0.00%	T3 - S2 =	0.82%	T3 - S3 =	0.00%	PERIODO DE DISEÑO AÑOS	20.0					
Suma Porcentaje =	100.00%											
CALCULO DEL VOLUMEN TOTAL DE VEHICULOS EN LA VIDA DE PROYECTO.												
TPDA	245.0	Tránsito promedio diario anual.	n =	20.0	P. de diseño (años).							
FP =	1.27	Factor de Proyección.										
N =	1.0	Numero de carriles en un sentido.										
r =	1.20%	Tasa de crecimiento anual.										
Tcp =	2%	Porcentaje de vehículos pesados.										
CCP =	1.0	Factor corrección de tránsito en el carril de diseño.							vt = 44,272.48			
EJES SENCILLOS												
Tipo de Vehículo.	Peso Total (Ton)	Composición de Tránsito	Número de Vehículos	Número de Ejes del Vehículo		Peso de los Ejes. (Ton)		Clasificación de Ejes		Total Ejes C/1000 Vehic	Reparaciones Esperadas	
				Delanteros	Traseros	TOTALES	Traseros	Peso Eje	Total Ejes			
A2	2.0	98.1%	240	240	240	480	1.0	1.0	1	480	1959.18	86,737.91
B2	15.5	0.0%	0	0	0	0	5.5	10.0	5.5	4	16.33	722.82
C2	15.5	0.5%	1	1	---	1	5.5	---	10	0	0.00	0.00
C3	23.0	0.5%	1	1	---	1	5.5	---	---	---	---	---
T2-S1	24.5	0.1%	0	0	---	0	5.5	---	---	---	---	---
T2-S2	31.5	0.0%	0	0	---	0	5.5	---	---	---	---	---
T3-S2	39.0	0.8%	2	2	---	2	5.5	---	---	---	---	---
T3-S3	43.0	0.0%	0	0	---	0	5.5	---	---	---	---	---
EJES TANDEM												
C2	15.5	0.5%	1	---	1	1	---	18.0	18	4	16.33	722.82
C3	23.0	0.5%	1	---	1	1	---	18.0	22.5	2	8.16	361.41
T2-S1	24.5	0.1%	0	0	0	0	18.0	18.0	---	---	---	---
T2-S2	31.5	0.0%	0	0	0	0	18.0	18.0	---	---	---	---
T3-S2	39.0	0.8%	2	2	2	4	18.0	22.5	---	---	---	---
T3-S3	43.0	0.0%	0	0	0	0	18.0	22.5	---	---	---	---

CALCULO DE ESPESORES:

Resistencia de proyecto; Concreto $f'c$ kg/cm² = 333.33 Modulo de Ruptura kg/cm² = 40.00 MR=0.12f'c

Determinación de la capacidad portante de la capa de apoyo.

%VRS SR: 13.1

Obtención del Módulo de reacción de la capa de apoyo "K", utilizando una subbase de buena calidad (VRS min. 60%).

K SR: 6.75 kg/cm²
 Espesor prop. SB: 20.00 cm
 Kc para Diseño: 9.00 kg/cm² de graficas.

Tomando en cuenta los datos del tránsito y las propiedades mecánicas del concreto y la capa de apoyo, determinaremos la fatiga consumida, haciendo uso de la tabla de cálculo siguiente:

SUPONIENDO UN ESPESOR DE LOSA DE 15.00 CM.					
Peso por Eje	Esfuerzo actuante	Relación de Esfuerzos	Repeticiones		% de Fatiga consumida
			Permisibles	Esperadas	
EJES SENCILLOS					
1.0	< 18	0.50	INFINITAS	86,737.91	0.0%
5.5	< 18	0.50	INFINITAS	722.82	0.0%
10.0	21.5	0.54	180,000.00	0.00	0.0%
EJES TANDEM					
18.0	20.0	0.50	400,000.00	722.82	0.2%
22.5	26.0	0.65	8,000.00	361.41	4.5%
SUMA =					5%
MENOR AL 100% OK					

Finalmente concluimos con que el espesor del pavimento de concreto en este caso es de 15 cm, con concreto hidraulico de MR min = 40.00, en cual se asentara sobre una capa de subbase hidraulica con espesor de 20 cm, La sección transversal a usar se muestra a continuación.

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PROYECTADA		
LOSA DE CONCRETO HIDRAULICO.	15 CM	MR min =40.0
SUBBASE DE BUENA CALIDAD.	20 CM	Subbase de buena calidad, VRS min.=60% TMA 1", NORMA N-CMT-4-02-001/11
TERRENO NATURAL, ARCILLA ARENOSA.		Terreno natural compacto.

En base al cálculo anterior para la capa de concreto hidráulico y la calidad del material de sub-rasante se opta por elegir la primera opción que consta de

colocar una sub-base que lleve un espesor mínimo de 30 centímetros de material triturado para obtener un VRS del 90% ya que la sección transversal nos pide como mínimo un VRS del 60% y una compactación del 100% de la prueba ASSTHO en la capa adyacente, a la de concreto según las normas técnicas de la SCT.

Una vez recabada la información de todo el análisis se hace un recuento de los datos usados y obtenidos. La colonia "Benito Juárez" se propone en base a una estructura de pavimento rígido con una resistencia $f'c = 333 \text{ kg/cm}^2$ el cual está considerado sin ningún refuerzo de acero cumpliendo con los requerimientos en cuanto a la guarnición y el patín el cual se determina en base al ancho de las losas de concreto.

En el cálculo de la primera opción se aprecia la estructura real del pavimento teniendo en su totalidad un espesor de 45 centímetros, a partir de la sub rasante, de la cual la base hidráulica consta de un espesor de 30 centímetros y la capa de concreto hidráulico requerirá un espesor de 15 centímetros.

Todo el presente análisis corresponde al diseño del pavimento de concreto hidráulico en la colonia "Benito Juárez" para su adecuado funcionamiento. Todo esto se logró gracias a los estudios de mecánica de suelos que proporcionan datos que son de suma importancia para la determinación de los cálculos antes realizados.

4.6.4.- Dibujo de la estructura de pavimento.

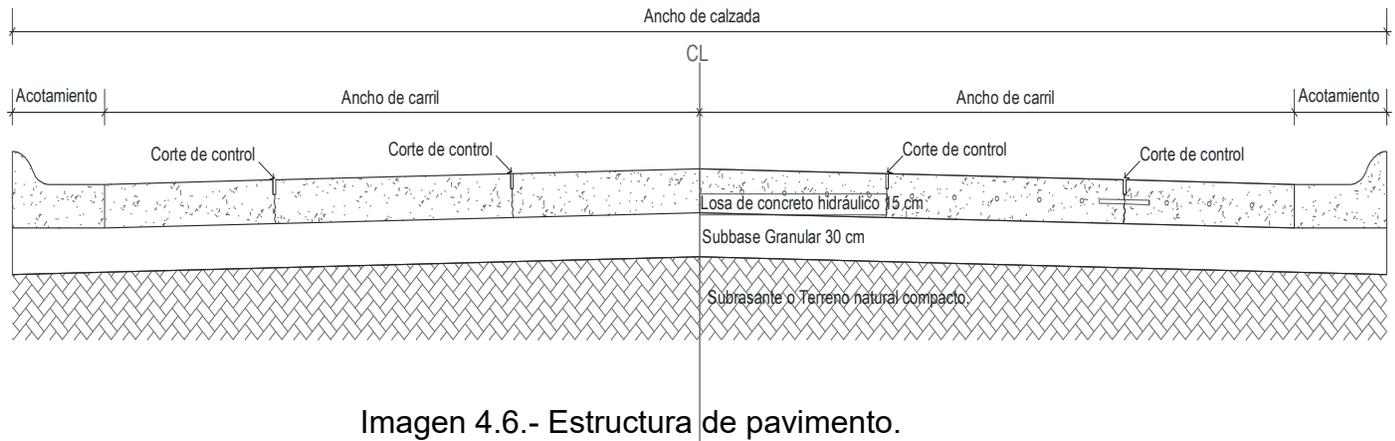


Imagen 4.6.- Estructura de pavimento.

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo como resultado una losa de concreto hidráulico con un espesor de 15 cm, realizada con concreto hidráulico de un Módulo de ruptura no menor de 32 kg/cm^2 , un tamaño máximo de agregado grueso de 38.10 mm ($1 \frac{1}{2}$ "), revenimiento del concreto de 10 ± 2 cm y una relación de agua cemento cercana al 0.5, en la construcción de las losas no se utilizarán pasajuntas y se controlarán las grietas con un corte de control posterior al colado realizado a cada 3.60 m, con una profundidad de 5.0 cm y un espesor de 0.50 cm, realizando el sellado posteriormente con productos elastoméricos, así como se contemplan las guarniciones de concreto hidráulico, conformados con las mismas características del concreto utilizado en las losas principales.

Por debajo de las losas de concreto hidráulico, se conformará una capa de sub-base con espesor de 30 cm compactos, dicha sub-base deberá de cumplir con las especificaciones de la normativa SCT y en específico de la norma N-CMT-4-02-001-11.

CONCLUSIÓN.

Dentro de la presente tesis se ha diseñado la estructura de pavimento rígido de la colonia "Benito Juárez en el municipio de Tepalcatepec Michoacán, mediante el uso y compresión de uno de los métodos más utilizados en la actualidad para este tipo de estructuras, analizando tres opciones en cuestión de espesores propuestos y obteniendo la estructuración más adecuada en cuestión de análisis teórico y constructivo, siendo esta la opción uno, con un espesor de 30 cm de sub-base de buena calidad con un VRS mínimo del 60% y 15 cm de losa de concreto hidráulico.

Teniendo como incógnita en el proyecto cómo poder desviar el tránsito vehicular que se genera en algunas calles de la colonia y diseñar una estructura de pavimento adecuada para la circulación de los vehículos que por ahí transitan, se tiene como propuesta el pavimentar accesos importantes a la colonia para que el tránsito no se concentre solo en unas cuantas calles, ya que el aforo vehicular que se presenta en dichas calles son excedentes para sus capacidades.

Con los resultados obtenidos del diseño de pavimento realizado se concluye que el objetivo principal de esta investigación ha sido satisfactoriamente realizado.

De igual manera, dentro de la investigación realizada, se dio respuesta a los demás objetivos de la presente tesis como el de establecer qué es un pavimento, explicando que un pavimento es una estructura que recibe de forma directa las cargas de tránsito y las transmite hacia las capas inferiores de la estructura, y que

la parte superior de dicha estructura es conocida como superficie de rodamiento la cual debe de ser funcional, uniforme y resistente a las condiciones aplicadas.

Así también se mencionó que los pavimentos están conformados por diferentes capas de material seleccionado y el cual va aumentando de calidad y control del mismo con forme se acerca a la capa de rodamiento, que existen normas de calidad para cada tipo de capa a proponer o construir, las cuales permiten la uniformidad de las características en los diferentes materiales utilizados para una denominada capa específica de la estructura de un pavimento.

Se mencionaron los principales métodos de diseño para los pavimentos rígidos, siendo estos los de la American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO) y al de la Portland Cement Association (PCA), los cuales se basan principalmente en procedimientos regresivos obtenidos de la experiencia y resultados de pruebas realizadas, utilizando en esta investigación el segundo método.

Y, por último, se definió la estructura de pavimento más adecuada para nuestra investigación de la cual ya se mencionó en párrafos anteriores.

Así mismo, dentro de la investigación se mencionan las características de los materiales que intervienen en la realización del concreto hidráulico, los aditivos más comunes utilizados, los tipos y principales características de los pavimentos de concreto hidráulico o pavimentos rígidos.

En el capítulo de mecánica de suelos, se mencionan, entre otras cosas, las principales pruebas o ensayos que se realizan a los materiales para su clasificación y verificación de la calidad de los mismos.

BIBLIOGRAFÍA.

Coronado Iturbide, Jorge. (2002).

Manual Centroamericano para diseño de pavimentos.

Secretaría de Integración Económica Centroamericana. Guatemala.

Crespo Villalaz, Carlos (2004).

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

Ed. Limusa. México.

Crespo Villalaz, Carlos (2004).

Mecánica de suelos y cimentaciones.

Ed. Limusa. México.

Hernández Sampieri, Roberto y Cols (1991).

Metodología de la investigación.

Ed. McGRAW-HILL. México.

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C. (2002).

Pavimentos de concreto para carreteras.

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C. México.

Juárez Badillo Eulalio. (2004).

Mecánica de Suelos tomo 1.

Ed. Limusa. México.

Juárez Badillo Eulalio. (2004).

Mecánica de Suelos tomo 2.

Ed. Limusa. México.

Mier Suárez, José Alfonso. (1987).

Introducción a la Ingeniería de Caminos.

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.

Rico Rodríguez, Alfonso. (2005)

La ingeniería de suelos en las vías terrestres: Carreteras, ferrocarriles y aeropistas

Volumen 1

Ed. Limusa. México.

Rico Rodríguez, Alfonso. (2005).

La ingeniería de suelos en las vías terrestres: Carreteras, ferrocarriles y aeropistas

Volumen 2

Ed. Limusa. México.

Tamayo y Tamayo, Mario. (2003).

El proceso de la investigación científica.

Ed. Limusa. México.

Zárate Aquino, Manuel. (2007).

Diseño de pavimentos flexibles, primera parte.

Asociación Mexicana del Asfalto A.C. México.

OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN.

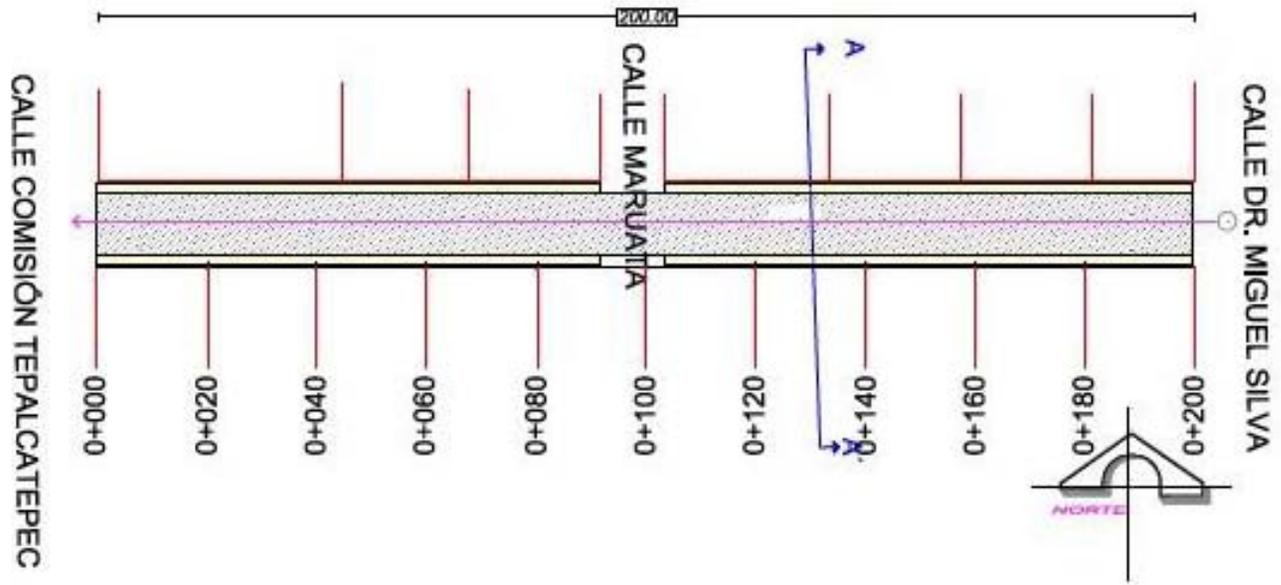
<http://www.normas.imt.mx/carr.htm>.

http://www.cemexmexico.com/pavimentos/Login_Captura.asp?metodo=aashto

<http://www.imcyc.com>.

<http://www.wikipedia.com>

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



MICRO LOCALIZACION



MACRO LOCALIZACION



ESPECIFICACIONES

% VRS SR: 13.1
 K SR: 6,75 kg/cm2
 VRS minimo = 60%
 Kc para diseño: 10,00 kg/cm2
 Modulo de Ruptura kg/cm2 = 40.00



UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO: PROYECTO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PARA LAS CALLES DE LA COLONIA "BENITO JUAREZ" EN EL MUNICIPIO DE TEPALCATEPEC, MEXICANA.

UBICACION: EN LA LOCALIDAD DE TEPALCATEPEC, MEXICANA.

PLANTA

ESCALA: 1:1000

PROYECTADO POR: [Blank]

PROYECTADO POR: [Blank]

PROYECTADO POR: [Blank]