

UNIVERSIDAD DON VASCO, A.C.

Incorporación No. 8727 – 15

a la Universidad Nacional Autónoma de México.

Escuela de Ingeniería Civil

PROPUESTA DE PAVIMENTO RÍGIDO PARA LAS VIALIDADES DEL FRACCIONAMIENTO CAMPESTRE ZUMPIMITO 2DA. ETAPA, EN LA CIUDAD DE URUAPAN, MICHOACÁN.

Tesis

que para obtener el título de

Ingeniero Civil

Presenta:

Joaquín Galván Sierra

Asesor:

Ing. Anastacio Blanco Simiano

Uruapan, Michoacán, 20 de agosto del 2012.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE.

Introducción.	
Antecedentes.	6
Planteamiento del problema.	9
Objetivo general.	10
Pregunta de investigación.	10
Justificación.	11
Capitulo 1.- Estructura de pavimento.	
1.1.- Definición de pavimento.	12
1.2.- Tipos de pavimentos.	14
1.3.- Pavimentos rígidos.	14
1.3.1.- Concreto hidráulico.	16
1.3.1.1.- Cemento Portland.	16
1.3.1.2.- Agua.	17
1.3.1.3.- Agregado grueso.	17
1.3.1.4.- Agregado fino.	18
1.3.1.5.- Aditivos.	19

1.3.1.5.1.- Inclusores de aire.	20
1.3.1.5.2.- Reductores de agua.	20
1.3.1.5.3.- Retardantes de fraguado.	20
1.3.1.5.4.- Acelerantes de fraguado.	21
1.3.1.5.5.- Reductores de agua de alto rango.	21
1.3.1.5.6.- Aditivos Puzolánicos.	21
1.3.1.6.- Aire incluido.	22
1.3.1.7.- Contenido de cemento.	22
1.3.1.8.- Relación de agua/cemento.	23
1.3.1.9.- Revenimiento.	23
1.3.1.10.- Resistencia del concreto hidráulico.	24
1.3.2.- Elementos que constituyen los pavimentos rígidos.	25
1.3.2.1.- Capa de subrasante.	25
1.3.2.2.- Capa de subbase.	26
1.3.2.3.- Losas de concreto hidráulico.	26
1.3.3.- Tipos y características de los pavimentos de concreto hidráulico.	27
1.3.3.1.- Losas de concreto vibrado.	28

1.3.3.2.- Losas de concreto reforzado.	29
1.3.3.3.- Losas de concreto compactado con rodillo.	29
1.4.- Pavimentos flexibles.	30
1.4.1.- Resistencia estructural.	32
1.4.2.- Deformabilidad.	34
1.4.3.- Durabilidad.	35
1.4.4.- Costo.	36
1.4.5.-Conservacion.	36
1.4.6.- Comodidad.	36
Capitulo 2.- Mecánica de suelos.	
2.1.- Concepto de suelo.	37
2.1.1.- Agentes generadores.	38
2.1.2.- Suelos transportados y residuales.	39
2.1.3.- Fases del suelo.	40
2.2.- Clasificación de los suelos.	43
2.2.1.- Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).	45
2.2.1.1.- Suelos gruesos.	45

2.2.1.2.- Suelos finos.	47
2.3.- Pruebas de laboratorio enfocadas a vías terrestres.	50
2.3.1.- Muestreo de materiales.	50
2.3.2.- Composición granulométrica.	52
2.3.3.- Límites de consistencia.	54
2.3.4.- Valor Relativo de Soporte (VRS).	56
2.3.5.- Prueba de placa.	58
2.3.6.- Prueba AASHTO.	59
Capítulo 3.- Resumen de macro y micro localización.	
3.1.- Generalidades.	61
3.2.- Objetivo.	63
3.3.- Resumen ejecutivo.	63
3.4.- Entorno geográfico.	63
3.5.- Macro y micro localización.	65
3.6.- Hidrografía y clima.	67
3.7.- Actividades de la región.	67
3.8.- Informe fotográfico.	68

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

4.1.- Método empleado.	72
4.1.1.- Método matemático.	72
4.2.- Enfoque de la investigación.	73
4.2.1.- Alcance de la investigación.	73
4.3.- Diseño de investigación.	74
4.4.- Instrumentos de recopilación de datos.	75
4.5.- Descripción del procedimiento de investigación.	75
4.6.- Análisis e interpretación de resultados.	76
4.6.1.- Aplicación del método de la PCA.	77
4.6.2.- Elementos básicos, factores de diseño y diseño de espesores.	78
4.6.3.- Diseño de juntas.	95
Conclusión.	99
Bibliografía.	102

ANEXOS

INTRODUCCIÓN.

Antecedentes.

La construcción de los caminos ha sido de uno de los signos del avance de las civilizaciones, con el aumento de tamaño y densidad de las poblaciones, la comunicación con otras ciudades se volvió fundamental en la búsqueda de alimentos los cuales se requerían hacer llegar a los consumidores.

Entre los primeros pueblos que se reconocen como constructores de caminos, se puede hablar de los mesopotámicos, los chinos y los Incas en Sudamérica.

Con el uso de la rueda en el transporte, se necesitó el mejoramiento de los caminos, ya que ese transporte requería vías más cómodas y rápidas.

De los caminos que aún existen, los más antiguos fueron construidos por los romanos, los cuales constaban de capas de roca argamasadas, así los pobladores tenían la encomienda de mantener en buenas condiciones, nociones factibles del mejoramiento requerido para dichas vías.

En México, antes de la conquista española, los señoríos indígenas contaban con una red de caminos adecuados a sus necesidades, no se conocían las bestias de carga ni la rueda, pero transitaban sus mercancías por senderos y veredas, con trazos definidos y efectuando limpieza constante, conformación de mejoramiento en zonas con problemas naturales de inestabilidad y inundaciones.

Para proporcionar la base del desarrollo económico y social, se requiere realizar grandes inversiones en los sectores básicos y de infraestructura, puesto que el uso óptimo de los recursos implica que para lograr los objetivos, sean requeridos cambios físicos, Como sabemos las vías terrestres son la infraestructura fundamental y primordial para el desarrollo del país, en su mayoría administradas y construidas por organismos gubernamentales.

Por 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.

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 lo factores ambientales, el pavimento permite que los vehículos transiten con comodidad, seguridad y mantener un buen rendimiento económico.

Los pavimentos pueden estar conformados por una o varias capas de materiales, con diferentes calidades, las cuales varían de menor a mayor conforme de acercan a la capa de rodamiento específica del pavimento, los materiales utilizadas son naturales que pueden o no estar sometidos a procesos previos para su uso, como son el cribado, el triturado, lavado, entre otros.

De una manera general se pueden considerar dos tipos de pavimentos los rígidos y los flexibles, para poder definir y diferenciar los pavimentos, se tendrá en cuenta los materiales que lo constituyen y de cómo distribuyen los esfuerzos y deformaciones producidos por el tránsito de los vehículos a las capas inferiores, sin embargo, una forma sencilla de clasificar al pavimento es mediante la superficie de rodamiento que se tenga, es decir los pavimentos con superficie de rodamiento a base de una carpeta asfáltica se denominan flexibles, mientras tanto, los pavimentos con superficie de rodamiento a base de losas de concreto hidráulico se denominan rígidos.

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.

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

Mientras que las capas más comunes para un pavimento rígido es la capa subrasante, sub base y el concreto hidráulico.

Planteamiento del problema.

Un camino o vía de comunicación en malas condiciones, aún cuando se pueda transitar por él, conlleva problemas tanto para el vehículo en el cual se transita, en la seguridad del usuario, los tiempos de traslado y en la comodidad del mismo, para esto es necesario contar con un pavimento que nos garantice la seguridad, la confianza, y la certeza de un traslado rápido y cómodo, así como de un pavimento durable y servicial.

Para el tránsito interno de una ciudad, la necesidad primordial de la conformación de buenos pavimentos, que sean durables al tránsito inducido, es decir, vialidades que conllevan un tránsito fluido, seguro y cómodo, para ello se deberán de realizar los estudios y diseño adecuados de este tipo de estructuras, en este caso, para la proyección de las vialidades de un nuevo fraccionamiento se realiza esta investigación con la finalidad de proporcionar un pavimento que sea adecuado, que mantenga un correcto funcionamiento, que agilice el tráfico de los vehículos, y que brinde una mayor comodidad al usuario cuando éste transite en él, y que sobre todo mantenga dichas condiciones a lo largo de su vida útil.

Objetivo general:

Diseñar de la estructura de pavimento rígido para las vialidades internas del fraccionamiento denominado Campestre Zumpimito Segunda Etapa, el cual se proyecta en la zona Sur de la ciudad de Uruapan Michoacán, basados en los principales métodos de diseño para este tipo de estructuras.

Objetivos específicos:

- a) Establecer el concepto de pavimento.
- b) Determinar cuáles son y como están conformados los tipos de pavimentos.
- c) Señalar los métodos de diseño de pavimentos principales.
- d) Determinar el pavimento adecuado para el presente caso de estudio.

Pregunta de investigación.

¿Qué estructura de pavimento rígido, es la adecuada para las para las vialidades del fraccionamiento Campestre Zumpimito Segunda Etapa?

Justificación.

Por medio de esta investigación se diseñará una estructura de pavimento rígido, adecuada para dichas vialidades, los usuarios beneficiados serán los habitantes del fraccionamiento, los prestadores de servicio y en general a todos aquellos que de una u otra forma transiten por las vialidades del fraccionamiento, permitiendo un tránsito uniforme, seguro, cómodo y sobre todo una vialidad que mantenga las condiciones iniciales durante toda su vida útil.

En un futuro, y con el crecimiento urbano en esta zona de la ciudad las vialidades del fraccionamiento quedaran integradas dentro del tránsito general, y crecerá la población que se beneficiará con la calidad del pavimento diseñado, así mismo quedará como referencia para los futuros proyectos de vialidades en estas zona, tanto del ámbito privado como público, puesto que las condiciones geotécnicas que la zona presenta se podrían generalizar como homogéneas.

CAPÍTULO 1

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

Dentro de este capítulo se estudia el pavimento, su clasificación y descripción de cada uno de ellos, los elementos que los integran, las ventajas y desventajas que presentan en una comparativa general, y se enfocará un contenido mayor a los pavimentos de tipo rígidos debido a que esta investigación es un diseño analítico de este tipo de elemento.

1.1.- Definición de pavimento.

Como se sabe, un pavimento es una estructura que recibe de forma directa las cargas producidas por un tránsito específico, las cuales son transmitidas hacia las capas inferiores de la estructura que lo conforma hasta llegar al suelo o terreno natural, la parte superior de esta estructura se denomina superficie de rodadura, la cual debe de ser uniforme y resistente a la acción del tránsito, intemperismo y agentes externos que puedan afectarla.

La estructura y/o disposición de los elementos que constituyen a un pavimento, así como las características de los materiales utilizados para su conformación, ofrecen una amplia variedad de estructuraciones, de tal manera que pueden estar formados por una sola capa o por varias de ellas, las capas a su vez, pueden ser construidas por materiales naturales seleccionados, sometidos o no a tratamientos previos, como la selección mediante el cribado, la trituración total o parcial y el mezclado para conformar un material seleccionado que cumpla con

características específicas, la calidad de los materiales va en decremento en sentido superior a inferior, hasta llegar al terreno de desplante de dicha estructura, la superficie de rodamiento puede ser de concreto hidráulico, con o sin refuerzo de acero, carpeta asfáltica e incluso únicamente el material seleccionado compacto (terracerías).

Los pavimentos deben prever en su diseño, el incremento de tránsito que pasará por ellos, con este incremento se deberán de considerar adicionalmente, que deberán ser estables ante los agentes de intemperismo, ser resistentes a las cargas y sobrecargar del tránsito, mantener una textura de rodamiento adecuada, ser durables, y mantener buenas características hidrológicas y sobre todo ser económicas.

La estructuración de capas en un pavimento se debe en gran medida a las condicionantes económicas, y por ello se busca una resistencia y distribución de carga adecuada a las condiciones específicas, buscando los espesores mínimos posibles de cada capa, otro elemento importante económicamente es el procedimiento constructivo que depende del tipo de pavimento, y de los materiales utilizados en la construcción de este.

Las carpetas asfálticas resultan 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 proporciones previamente especificadas.

1.2.- Tipos de pavimentos.

Como ya se menciona en 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 una capa de material seleccionado o directamente sobre una capa subrasante, los concretos más usados son de resistencia a la compresión de entre 210 kg/cm^2 y 350 kg/cm^2 , 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/cm^2 a 50 kg/cm^2 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, denominadas base y subbase, las cuales la calidad de cada una de ellas va en descenso conforme van alejándose de la superficie de rodamiento, la tendencia de uso dependiendo del tipo de pavimento es, para carreteras, pavimentos de tipo flexibles, mientras que para zonas urbanas y aeropistas, pavimentos rígidos; en esta investigación no se abordará a detalle el pavimento flexibles ya que la presente se enfoca a pavimento rígidos.

1.3.- Pavimento rígido.

El pavimento se puede definir como una estructura vial que hace posible el tránsito de vehículos con las consideraciones de seguridad, comodidad y economía, dentro de la clasificación general de los pavimentos encontramos a los pavimentos de tipo rígidos, el cual está constituido por una losa de concreto hidráulico

relativamente delgada, apoyada sobre una subbase y/o en ocasiones sobre la capa subrasante directamente, esto dependerá de las condiciones del tránsito y del suelo de cimentación, 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 en su mayoría depende de la losa de concreto hidráulico, mismas que deben resistir adicionalmente a los esfuerzos producidos por el tránsito, los cambios de temperatura y humedad del ambiente, así como los cambios volumétricos del material que le sirve de apoyo; las características estructurales de las losas de concreto hidráulico, depende de la calidad del concreto utilizado en su conformación y del espesor de las mismas.

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

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

- Resistencia al derrapamiento.
- Regularidad superficial tanto longitudinal como transversal.
- Eliminación rápida del agua en la superficie del pavimento.
- Bajo nivel de desgaste de las llantas de los vehículos.
- Condiciones de durabilidad.
- Resistencia a los efectos de derrames de combustibles y aceites.

- Propiedades adecuadas de reflexión luminosa.
- Condiciones adecuadas para el señalamiento horizontal.
- Buena apariencia general de la capa de rodamiento.

1.3.1- Concreto hidráulico.

Conociendo la definición de un pavimento rígido, y que su principal característica es la de una superficie de rodamiento a base de losas de concreto hidráulico, es necesario conocer más a fondo el concepto de “concreto hidráulico”, 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 lo 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 del 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 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, encontramos los del tipo III (Rápida resistencia), Tipo IV (Bajo calor de Hidratación), tipo V (resistentes a los sulfuros, así como los cementos portland puzolanicos y con escoria de alto horno. (IMCYC; 2002, I-33).

1.3.1.2- Agua.

El agua requerida para la elaboración de una buena mezcla de concreto hidráulico, no debe contener impurezas que puedan interferir en la hidratación del cemento portland, produciendo retardar el fraguado y reduciendo la resistencia del concreto hidráulico.

Para este punto se puede tomar una frase popular que dice; “si el agua se puede beber, el agua se puede utilizar”.

1.3.1.3- Agregado Grueso.

Los agregados pétreos representan cerca del 75% del volumen de la mezcla de concreto, por lo que la calidad de estos elementos influye en gran cantidad en sus características, principalmente en la trabajabilidad, resistencia, durabilidad y economía.

El agregado grueso de la mezcla o mejor definido por la “Grava”, corresponde a la fracción de las partículas que son mayores de 4.76 mm (malla No. 4), hasta un tamaño de 63.50 mm (2 ½”), en concretos vibrados.

Los agregados deben tener como característica principal, ser agregados duros, sanos, resistentes al intemperismo e inertes a la reacción química con los álcalis del cemento. Mientras que los agregados con características blandas, disgregables o laminares son inapropiados para la elaboración de un concreto hidráulico.

De acuerdo con el IMCYC (2002), el tamaño máximo recomendado para la grava, es de 5,08 mm (2") o no se debe de exceder la cuarta parte del espesor de la losa en la que se pretenda utilizar, esto con el objeto de obtener concretos hidráulicos de alta calidad, facilitar la construcción, evitar riesgos de segregación y lograr un mejor acabado superficial; a mayor tamaño de agregado se requiere menor cantidad de pasta de cemento, y por ende, menor consumo de cemento portland, para lo cual se tendrá que vigilar que la composición granulométrica de los agregados sea la adecuada.

Otra consideración importante, es la forma de las partícula que presentan los agregados, las formas planas y alargadas o de forma angulosa, requieren mayor cantidad de agregado fino y mayor consumo de cemento para crear una mezcla trabajable, que para las partículas con forma redondeadas o equidimensionales, formas que pueden ser los casos de agregados obtenidos de un proceso de cribado, mientras que las partículas producto de un proceso de trituración, pueden reunir características adecuadas cuando la forma de sus partículas se acerca a la forma cúbica.

1.3.1.4- Agregado fino.

El agregado fino o la "Arena", constituye cerca del 50% del volumen total de los agregados utilizados en la mezcla del concreto hidráulico, y está conformado por particular menores de 4.76 mm (malla No.4), este agregado tiene influencia en la dosificación de la mezcla, la aspereza, la propensión al sangrado y el costo del concreto hidráulico.

De acuerdo con el IMCYC (2002), los aspectos más importantes que se debe de cuidar de un agregado fino, son; controlar su composición granulométrica, su módulo de finura, el contenido de sustancias perjudiciales, su resistencia al intemperismo y su contenido de materiales que reacciones perjudicialmente con los álcalis del cemento.

Las arenas naturales presentan por lo general formas de partículas de tipo redondeadas, mientras que las arenas producto de un proceso de trituración, resultan ser más angulosas, en contraparte con el agregado grueso, las mezclas de concreto hidráulico realizadas con arenas naturales requieren menor cantidad de cemento que las realizadas con arenas producto de trituración.

De acuerdo con el IMCYC (2002), la composición granulométrica de las partículas de los agregados es importante debido a su efecto en el costo, trabajabilidad, segregación, densidad, contracción y durabilidad del concreto hidráulico; Cuando los agregados presentan una composición adecuada en el tamaño de sus partículas, se obtienen los mejores resultados. Las arenas muy finas resultan ser antieconómicas mientras que las arenas gruesas producen mezclas de concreto hidráulico ásperas y poco trabajables.

1.3.1.5- Aditivos.

La utilización de aditivos para una mezcla de concreto hidráulico, dependerá de la necesidad de modificar o mejorar una o más características del concreto en estado plástico o endurecido, dicha utilización dependerá de una previa dosificación

y verificación de eficiencia, ya que si son utilizados de forma inadecuada pueden afectar de manera notable la calidad del concreto hidráulico.

De acuerdo con el IMCYC (2002), entre los aditivos más frecuentemente utilizados son los siguientes:

1.3.1.5.1- Incluidores de aire.

Los incluidosores de aire son aditivos que introduce microburbujas de aire en la mezcla de concreto hidráulico, estas microburbujas mejoran la trabajabilidad de la mezcla así como su durabilidad, la eficiencia de este aditivo puede verse afectado por factores como; concentración del aditivo, adición de algún otro aditivo, tiempo y velocidad de mezclado, contenido de agua, composición granulométrica de los agregados, temperatura y contenido de cemento y de finos en la mezcla.

1.3.1.5.2- Reductores de agua.

Estos aditivos tienen la finalidad de minimizar las cargas eléctricas entre las partículas de cemento, disgregado y dispersando dichas partículas en la mezcla, reduciendo en consecuencia la cantidad de agua requerida y mejorando la eficiencia del cemento, todo esto sin afectar la trabajabilidad e incrementando la resistencia del concreto hidráulico.

1.3.1.5.3- Retardantes de fraguado.

Aditivos que pueden retardar el tiempo de fraguado del concreto hidráulico y se emplean por lo regular en trabajos realizados en climas cálidos o cuando se

coloca el concreto en varias capas y se debe de evitar la creación de juntas frías entre ellas.

1.3.1.5.4- Acelerantes de fraguado.

Este aditivo se utiliza principalmente cuando se desea un fraguado inicial rápido y/o una alta resistencia, utilizados generalmente en climas fríos minimizando el tiempo de fraguado y por el tiempo de protección contra el congelamiento.

1.3.1.5.5- Reductores de agua de alto rango.

Aditivos conocidos como superfluidificantes, los cuales se emplean en trabajos de pavimentación en los que se utilicen métodos manuales o se requiera concretos autonivelantes, funcionan mejorando notablemente la trabajabilidad del concreto hidráulico.

1.3.1.5.6- Aditivos Puzolánicos.

De acuerdo con el IMCYC (2002), el aditivo más frecuentemente utilizado de este tipo es la ceniza volante, que reacciona químicamente para formar un compuesto cementante y se emplea en combinación con el cemento, reemplazando una determinada cantidad del mismo, disminuyendo el costo general de la mezcla de concreto hidráulico, ayuda a la trabajabilidad de la mezcla cuando existe deficiencia de agregado fino, aumenta la resistencia y reduce el calor de hidratación así como minimiza la reacción álcalis del cemento, sin embargo, puede causar efectos desfavorables como reducir la efectividad de inclusores de aire, extender los tiempos de fraguado y retardar la resistencia.

1.3.1.6- Aire incluido.

Es conveniente la presencia del aire incluido dentro de las mezclas de concreto utilizadas para los pavimentos rígidos, ya que este factor aumenta la trabajabilidad del mismo, cuando se encuentra en estado fresco, así como también aumenta la resistencia a los factores ambientales, según el IMCYC (2002), la proporción de aire incluido en un concreto hidráulico no debe ser mayor del 6 por ciento, aunque este valor también dependerá del tamaño máximo del agregado utilizado en el concreto hidráulico realizado.

1.3.1.7- Contenido de cemento.

De acuerdo con el IMCYC (2002), para obtener concretos hidráulicos de gran durabilidad, resistentes a los factores ambientales y al tránsito de vehículos, es recomendable que el contenido de cemento por metro cúbico de concreto hidráulico sea de 300 kg.

Contenido del 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.

1.3.1.8- Relación de agua / cemento.

Con el objetivo de controlar el contenido de agua en la mezcla de concreto hidráulico, se delimita la relación de agua / cemento, debiendo tener en cuenta, que en general, la relación adoptada se localiza en un rango de entre 0.46 y 0.54, esto con la finalidad de alcanzar la resistencia y durabilidad esperada.

1.3.1.9- Revenimiento.

De acuerdo con el IMCYC (2002), el concreto utilizado para la conformación de los pavimentos rígidos, deben de evitar tener un exceso de agua en la mezcla de elaboración, la cual produzca sangrado durante su colocación, y grietas de contracción al endurecer, 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 valor máximo de 10 cm.

Con la finalidad de mejorar en ciertas ocasiones la trabajabilidad de estos concretos hidráulicos, se emplean aditivos tales como inclusores de aire, fluidificantes y en ocasiones retardantes los cuales aumentan el periodo de tiempo para el fraguado del concreto hidráulico.

Los factores principales que afectan al revenimiento son, entre otros; el contenido de agua, la composición granulométrica del material pétreo, así como la relación entre agregado grueso y agregado fino, la forma y textura de las partículas de los agregados, el uso de aditivos y la temperatura ambiental.

1.3.1.10- Resistencia del concreto hidráulico.

La resistencia del concreto hidráulico, constituye el más importante factor a considerar en el diseño de un pavimento rígido, ya que las losas de concreto hidráulico que conformaran la superficie de rodamiento de este tipo de pavimentos, al momento de imponerles las cargas por el tránsito de vehículos, se flexionaran, produciendo en ellas esfuerzos de tensión y compresión, siendo las primeras las más delicadas puesto que la resistencia a tensión en concretos hidráulicos sin refuerzo es apenas del orden del 10% de la resistencia a compresión, esto según el IMCYC, por esta situación los diseño 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/cm^2 a 50 kg/cm^2 , mientras que para pavimentos de autopistas y carreteras de transito pesado se recomienda utilizar valores de MR mayores de 40 kg/cm^2 .

En algunas ocasiones y sobre todo en obras pequeñas, se puede controlar la resistencia del concreto mediante pruebas convencionales 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 de entre 0.10 y 0.17 de la resistencia a 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 material, calidad y espesor, el IMCYC (2002), menciona una estructura típica de este tipo de pavimento, obviamente, a reserva del diseño específico para cada caso; entre los elementos que se pueden mencionar que integran una estructura de pavimento rígido, esta la capa subrasante, la capa de subbase, la losas de concreto hidráulico.

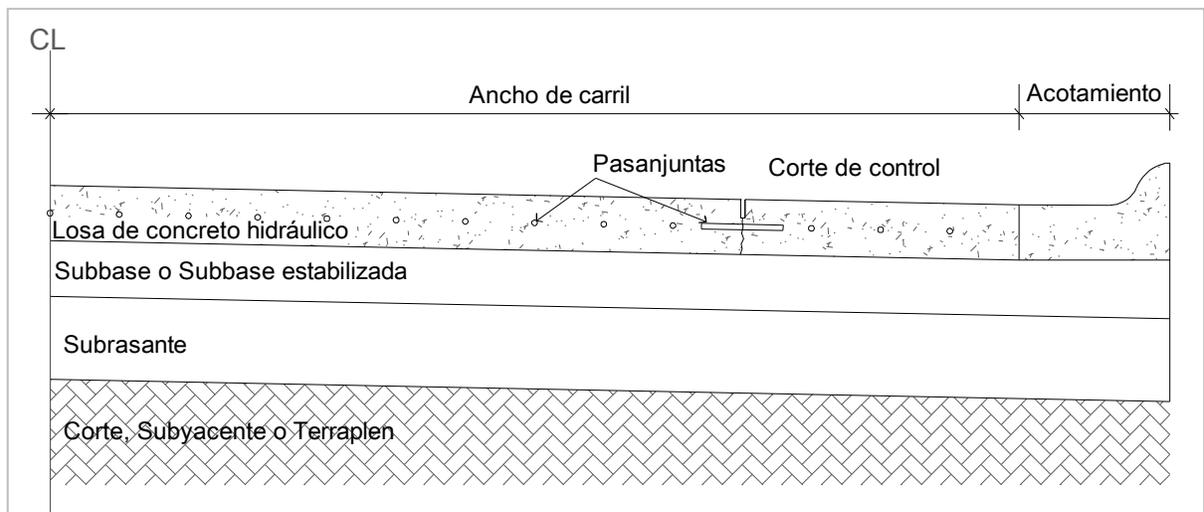


Imagen 1.2.- Estructura de pavimento rígido típica.

Fuente: realización propia.

1.3.2.1- Capa de subrasante.

Esta capa, constituye la capa superior de una terracería, por encima de los cortes, la capa subyacente 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 transmita este aun en condiciones de humedad excesiva.

1.3.2.2- Capa de subbase.

Esta capa, tiene como función principal la de controlar los cambios volumétricos de la capa subrasante 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 una uniformidad del soporte de las losas de concreto hidráulico, los materiales utilizados en la conformación de esta capa por lo general, son materiales granulares no cementados, 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 subrasante, otra de las funciones de la capa de subbase, es evitar la pérdida de material fino a través de las juntas y grietas.

En ocasiones, a esta capa se le denomina capa de base, por estar inmediatamente debajo de la capa de rodamiento, sin embargo, la calidad del material utilizado para la conformación de esta capa no llega a ser tan estricto como la 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 de rodamiento de este tipo de pavimento, dichos elementos deben están diseñados para resistir los

esfuerzos producidos por el tránsito de proyecto, las inclemencias 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 principales características de los pavimentos de 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 desde 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/cm^2 , aunque generalmente se utilizan de 40 kg/cm^2 .

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.

Este tipo de pavimentos son los más comunes, están realizados por concreto hidráulico vibrado en masa, en los cuales las losas de concreto se dividen mediante juntas longitudinales y transversales, de forman generalmente cuadrada con relaciones largo/ancho de entre 1.00 y 1.25, en superficies de anchos irregulares se las formas de las losa 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 transferencia de cargas entre las ellas, las juntas se construyen en forma machiembrada 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 el efecto de la fricción y trabazón mecánica entre sus caras. Para mantener unidas las losas contiguas 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 se conforman subbase 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 cuentan con un refuerzo de acero, ya sea a base de malla Electrosoldada o armados de varillas corrugadas, dicho armado se coloca de preferencia en el tercio superior del espesor de la losa, dicho acero se coloca con la finalidad de mantener unidas las fisuras transversales que irremediablemente aparecen en el caso de las losas largas, con este procedimiento disminuyen las juntas reduciendo su número y las complicaciones que estas puedan traer, el IMCYC (2002), menciona que “La cantidad de acero de refuerzo es proporcional a la longitud de la losa, siendo en general de 2 a 3 kg/m² para 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 tienen 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 conservación mínima o nula. La desaparición de las juntas transversales 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 asfáltico o en la actualidad 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 formado por materiales controlados que va desde la subrasante 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 e intemperismo, así como un color y una textura apropiada para el tránsito de los vehículos, esta superficie debe ser cómoda, económica y dar seguridad al usuario.

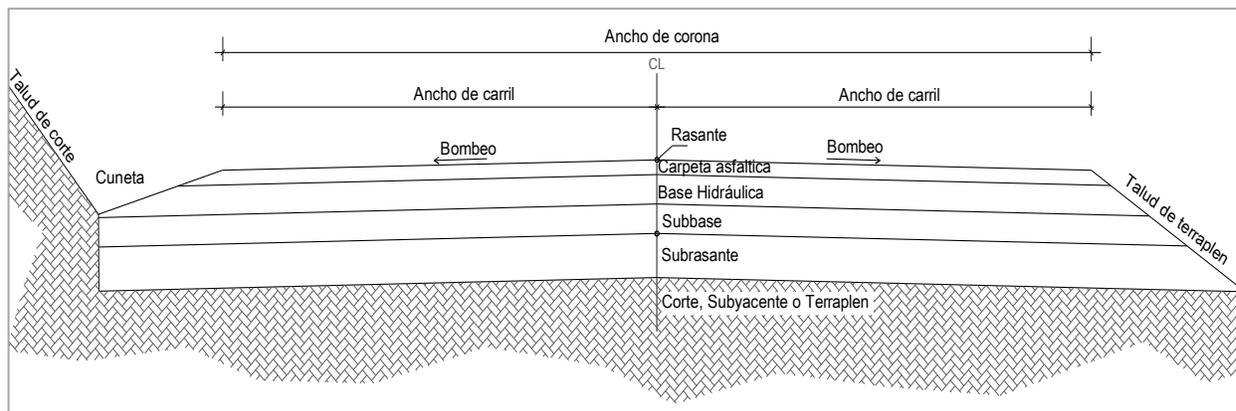


Imagen 1.3.- Sección típica de un pavimento flexible.

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 constituyen pueden ser tanto de materiales tal como se tienen en los bancos de explotación o previamente sometido a procesos de selección.

Al igual de los pavimentos rígidos, este tipo de pavimentos deben contar con las condiciones adecuadas de estabilidad, resistencia, comodidad, economía y conservación, con el entendido que al tener una superficie de rodamiento flexible, se requerirán capas de mejor 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 de presentar un pavimento flexible, considerando este 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 es 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 en todo punto de la estructura” (Rico, 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 de 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 en los niveles superiores de la estructura.

La resistencia de este tipo de pavimentos se planea principalmente en relación con la estructura que los materiales que la integran, aun cuando los materiales de la capa de terracería o desplante de dicha estructuras 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.

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

El tipo de carga que es 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 diseño como en las pruebas de laboratorio previas a estos.

El hecho de que las cargas aplicadas sean repetitivas a la larga afecta a la relativa rigidez de las capas 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 ruptura 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 la capacidad 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 constituye 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 puede mencionar que la calidad de los materiales y su espesor definirán 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 un espesor mayor, en los diseño 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 uno de 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 relación a la deformación y a la naturaleza de los materiales que forman la estructura de pavimento, la deformabilidad tiende a producirse hacia niveles inferiores y 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 dos puntos de vista, porque las deformaciones excesivas están asociadas a fallas estructurales, y a que un pavimento deformado deja de cumplir con sus funciones primordiales, independiente 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 deformadora.

Las deformaciones elásticas repetidas tienen sus principales efectos en los materiales susceptibles a la fatiga, colocados en las capas superiores del pavimento.

La deformación plástica tiende a ser acumulativa y puede llegar a alcanzar valores 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 un pavimento fallado puede ser más resistente que el pavimento inicial.

1.4.3- Durabilidad.

Rico y Del Castillo (1996), mencionan que esta característica es la que genera una mayor incertidumbre, puesto que no existe una definición fiel del concepto, aun que 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 un camino más durable, por el contrario para una vía de alto tránsito e importancia económica, se requerirán 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 pavimento, 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 de drenaje y subdrenaje, así como la degradación estructural de los materiales, sin olvidar la falta de una conservación sistemática que conlleva vidas más cortas de los pavimento.

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 del usuario, seguida por la estética que influye en las reacciones psicológicas del conductor. Todo esto para permitir que el usuario pueda transitar a la velocidad segura y constante, que asemeje a la velocidad de proyecto.

CAPÍTULO 2

MECÁNICA DE SUELOS

Dentro de este capítulo se explica qué es un suelo, cómo está compuesto, qué fases lo componen; también se abordarán los temas como la clasificación de suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS); se hará mención de las pruebas requeridas para un diseño de pavimento rígido, principalmente para la capa de desplante de la estructura, su descripción y proceso de realización, así como de descripción de la calidad de los materiales que integran una estructura de pavimento rígido.

2.1.- Concepto de suelo.

De acuerdo con los autores Badillo y Rico (1965), es común la creencia que el suelo es un agregado de partículas orgánicas e inorgánicas, no sujetas a ninguna organización, pero en realidad el suelo, en un conjunto con organización definida y con propiedades que varían en diferentes direcciones, de tal manera que se pueden dar diferentes definiciones las cuales dependerán del profesional y la situación en que se expresen, desde considerar al suelo como la parte superficial de la corteza terrestre y en la cual se sustenta la vida vegetal, para un ingeniero agrónomo, como de considerar que el suelo, es todo material intemperizado y que contiene la materia orgánica cerca de la superficie terrestre, para un geólogo, para la ingeniería el suelo queda representado por todo tipo de material terroso, desde los rellenos realizados por el hombre, hasta las areniscas cementadas o lutitas suaves, quedando fuera las definiciones de rocas sanas, ígneas o metamórficas y los depósitos sedimentarios

altamente cementados, que no se puedan desintegrar con facilidad o por acciones de intemperismo, ya que el agua juega un papel importante dentro de las condiciones y características del comportamiento de suelo, esta deberá quedar íntegra dentro del mismo.

2.1.1- Agentes generados.

La corteza terrestre se ve afectada por múltiples factores que tienen como producto final el suelo como se le conoce, siendo los dos principales el aire y el agua, los cuales pueden accionar en un rango muy variado, sin embargo, todos los mecanismos de afectación, pueden ser clasificados en dos grupos; la desintegración mecánica y la descomposición química.

La desintegración mecánica se refiere al intemperismo que sufren las rocas por efectos de agentes físicos, los cuales pueden ser cambios periódicos de temperatura, la acción de congelación, los efectos producidos por organismos y plantas etc., por este tipo de efectos las rocas llegan a formar gravas, arenas, y por muchos, limos aun que en casos especiales se han producido arcillas.

La descomposición química se refiere a la acción de agentes que descomponen las rocas a base de modificar su composición mineralógica o química, en lo cual el agua es el principal agente, teniendo a la oxidación, la hidratación y la carbonatación como principales mecanismos de ataque, adicionalmente a estos, los cambios de temperatura producen ciclos de tensión y compresión en la roca, por elevación y descenso de la misma lo cual determina el producto final de esta desintegración, generando en zonas húmedas y cálidas, principalmente suelos

arcillosos, en zonas frías, suelos arenosos y limoso, mientras que en zonas cálidas como desiertos, principalmente arenas.

Señalan Badillo y Rico (1996) que “No debe creerse, sin embargo, que las reglas anteriores sean inmutables; la naturaleza suelo actuar con una complejidad que desafía cualquier regulación, Por ejemplo, en países fríos y secos pueden existir formaciones arcillosas de importancia, cuando el aporte de corrientes de agua quede en condiciones favorables para constituir un depósito”.

Los suelos presentan una gran variedad de causas respecto a su origen y una inmensa diversidad de tipos, los cuales se han formado a través de las eras geológicas tal como sigue ocurriendo, por cual no se puede presentar una detallada descripción de este fenómeno, simplemente, al hombre hoy en día le toca manejar al suelo como se presenta en la naturaleza.

2.1.2- Suelos transportados y residuales.

Como ya se citó, el producto de la intemperización de la roca son los suelos, los cuales pueden quedar en el lugar donde se originaron por encima de la roca de la cual se formaron, a este tipo de suelos se les denomina como suelos residuales, o pueden ser removidos del lugar donde se originaron, por los mismo agentes físicos o geológicos, depositándose en lugares diferentes, a este tipo de suelos se el denomina transportados.

La transportación de los suelos puede ocurrir por una combinación de agentes transportadores, entre los cuales tenemos; los vientos, las corrientes de agua superficial, los mares, las fuerzas de gravedad, entre muchos más.

La distancia de transporte y las condiciones en las que finalmente se depositan los suelos transportados, varía dependiendo de su agente transportador y las condiciones o características del mismo, por ejemplo; los escurrimientos de las laderas de montes y colinas así como la gravedad misma, llegan a formar los depósitos de piemonte en las faldas de estos elementos topográficos los cuales se conforman principalmente por materiales gruesos y sueltos, llevando los suelos más finos a las planicies, otro ejemplo, ahora analizando el agente transportador del viento, el cual puede transportar partículas finas e incluso arenas, las cuales se van depositando conforme van encontrado obstáculos o la velocidad de viento va disminuyendo, llegando a formar los suelos denominadas loess (depósito de arenas cuarzosas y limos) y medanos (aglomerados de arena suelta).

2.1.3- Fases del suelo.

De acuerdo con los autores Badillo y Del castillo (1965), en un suelo se puede distinguir tres fases principales; la fase sólida, la fase líquida y la fase gaseosa.

La fase sólida queda integrada por las partículas minerales del suelo, la fase líquida compuesta por el agua u otros líquidos que pueda contener el suelo y la fase gaseosa compuesta principalmente por el aire y vapores presentes en menor cantidad tales como vapores sulfurosos, anhídridos carbónicos etc.

El volumen de vacíos comprende a las fases líquida y gaseosa, mientras que el volumen de sólido, como su nombre lo indica, a la fase sólida.

Un suelo totalmente saturado, es aquel que todos sus vacíos se encuentran ocupados por agua o por líquido, como ejemplo común, se tiene los suelos que se localizan por debajo del nivel de aguas freáticas.

Algunos de los suelos existentes, presentan cierta cantidad de materia orgánica, como por ejemplo las turbas, la cual aun cuando es muy importante en las propiedades mecánicas de los suelos, para este contexto de pesos y volúmenes dentro de las fases, no es preciso considerarlo.

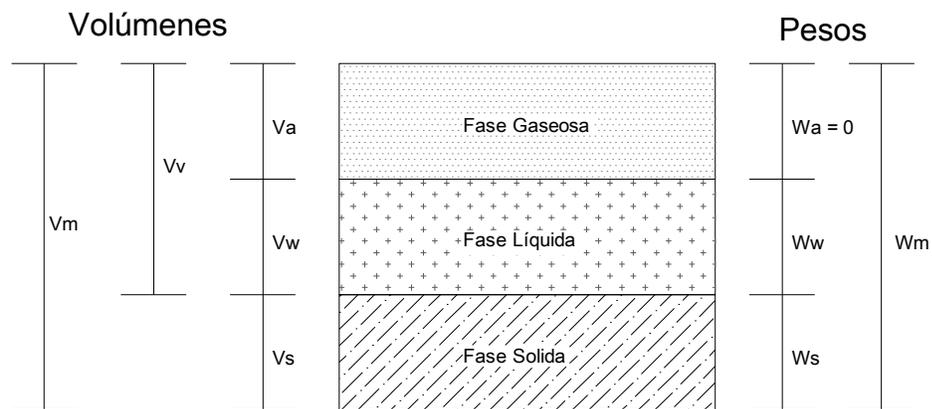


Imagen 2.1.- Esquema de fases en una muestra de suelo.

Fuente: realización propia.

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 gráfico que comprende las fases generales del suelo, podemos definir o correlacionar algunas de las más importantes relaciones fundamentales para las propiedades mecánicas de mismo suelo; estas relaciones son:

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

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

Los autores Badillo y Del castillos, comentan que, “la relación puede variar teóricamente de 0 (cero) a ∞ (infinito), en la práctica no suelen hallarse valores menores de 0.25 (arenas muy compactas con finos) ni mayores de 15, en casos de algunas arcillas altamente compresibles.” (Badillo; 1965: 22).

Porosidad; Se denomina a la relación entre el volumen de vacios y el volúmenes de la masa del suelo, generalmente se expresa como porcentaje.

Esta relación puede variar generalmente entre los valores de 0 (en suelos con únicamente fases sólida) a 100 (en espacio vacío), aunque generalmente varían entre 20% a 95%, esto según los autores Badillo y Del castillo.

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

Grado de saturación; se denomina a la relación que guarda un suelo entre el volumen de agua y el volumen de los vacíos, expresa generalmente en porcentaje, este valor varia generalmente entre 0 (suelos secos) y 100 (suelos totalmente saturado).

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

Contenido de agua; se conoce como humedad del suelo, y es la relación entre el peso del agua contenida y peso de la fase sólida, resultado expresado en porcentaje.

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

Este valor puede variar teóricamente entre 0 e ∞ . Los autores Badillo y Del Castillo, comentan que “En México existen valores de 1000% en arcillas procedentes de la región sureste del país, en el valle de México son normales humedades de 500% a 600%”.(Badillo; 1965: 22).

2.2.- Clasificación de los suelos.

Debido a la variedad con la que los suelos se presentaban en la naturaleza, se vio la necesidad de crear una clasificación para esto, así en 1942, se presenta una

de las primeras clasificaciones, realizada por el Dr. A. Casagrande la cual se denomino como Sistema de Clasificación de Aeropuertos; Este sistema reconoce las propiedades mecánicas e hidráulicas de los suelos con partículas menores de la malla No. 200 (0.074mm), las cuales puede deducir cualitativamente a partir de las características de plasticidad de dicha porción, dicha malla funciona igualmente como frontera a los suelos grueso de los cuales su clasificación es en función de su composición granulométrica.

Algunos de los fundamentos que consideraba dicho sistema son:

- La división de los suelos en dos fracciones principales; la fracción gruesa, delimitada por las partículas menor de 7.62mm (3") y la malla No. 200 (0.074mm), y a su vez las gravas y arenas las cuales se delimitaban dentro de la fracción gruesa por la malla No. 4 (4.76 mm), y la fracción fina formada por las partículas que pasan la malla No. 200 (0.074mm).
- La fracción gruesa se subdivide en grupos, tomando en cuenta principalmente la plasticidad que presenta, las partículas finas de origen que no sea volcánico, presentan limites líquidos menores de 100%, esto sirvió para dividir los suelos en dos grupos, los de baja compresibilidad y los de alta compresibilidad, tomando como límite entre estos dos grupos un valor de 50%, posteriormente y gracias a los estudio realizados por el Dr. A. Casagrande, se define las zonas presentadas posteriormente en la carta de plasticidad, las cuales definen a los grupos de arcillas de baja compresibilidad (CL), arcillas de alta compresibilidad (CH), limos de baja compresibilidad (ML) y limos de alta compresibilidad (MH), donde se puede clasificar a un suelo fino

dependiendo de su límite líquido (LL) e Índice plástico (Ip), utilizando estos valores como un sistema de coordenadas.

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 en 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.

2.2.1.1- Suelos gruesos.

Los suelos gruesos se clasifican como gravas cuando más del 50% de las partículas de la fracción gruesa se retiene en la malla de 4.75 mm (malla No.4) y como arena cuando más del 50% de la fracción gruesa pasa dicha malla, calificando 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 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 cumplan con lo especificado en el párrafo anterior, se clasifican 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 más 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 trate de una grava bien graduada, se recurrirá a los denominados 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 la arena son mal graduadas y contienen entre 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 GP-GM o SP-SM, según el caso.

Grava o arena bien graduada arcillosa (GW-GC o SW-SC).

Si la grava o la arena son bien graduadas y contienen entre el 5% y el 12% de finos y estos son arcillas, se denominaran grava bien graduada arcillosa o arena bien graduada arcillosa, identificándolas con los símbolos GW-GC o SW-SC, según el caso.

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

Si la grava o la arena son mal graduadas y contienen entre el 5% y el 12% de finos y estos son arcillas, se denominaran 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 denominado límites de consistencia el cual se describirá más adelante, estos suelos se dividen en dos grupos los limos y las arcillas, que a su vez se subdividen en alta y baja compresibilidad.

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 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	
				Turba, fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa.	Pt	
ALTAMENTE ORGÁNICOS						

Imagen 2.2.- Clasificación SUCS.

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

Limos (M)

El suelo se clasifica en limo cuando su límite líquido (LL) y su índice plástico (Ip), definen un punto ubicado en las zonas I y III de la carta de plasticidad, se identifica con el símbolo M, y dependiendo de la zona se clasificará 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 índice 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 de 50% y se identifica con el símbolo OL, o como límite orgánico de alta compresibilidad si su límite líquido es mayor a 50%, identificándolo con el símbolo OH.

Arcillas (C)

El suelo se clasifica como arcilla cuando su límite líquido (LL) y su índice plástico (Ip), definen 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 altamente orgánicos (Pt)

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

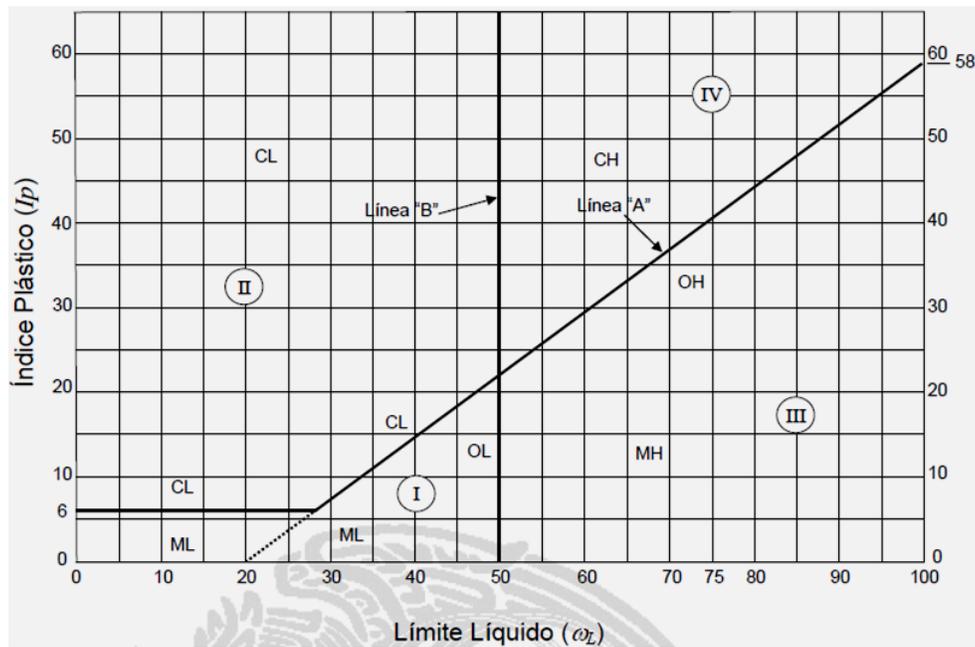


Imagen 2.3.- Carta de Plasticidad.

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 mismo, 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 Secretaria de Comunicaciones y Transportes SCT, en una de las más importantes y comunes a las 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 en específicamente a 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 muestro podemos 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 envasadas en bolsas de plástico u otros elementos impermeables.

Por otra parte, las muestras integrales, están constituidas por el material disgregado o fragmentado de diversos estratos o de uno sólo, 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, nos 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.-Composicion granulométrica.

En la normativa de la SCT y específicamente la norma M-MMP-1-06/03, se considera que este ensaye, nos permite determinar la composición de los tamaños de las partículas que integran una muestra de material utilizado en la conformación de las capas de 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 estas mallas, obteniendo la masa que se retiene en 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.
	Designación	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 podemos clasificar los suelos gruesos que contengan un porcentaje de finos menor al 5%, ya que mediante 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.

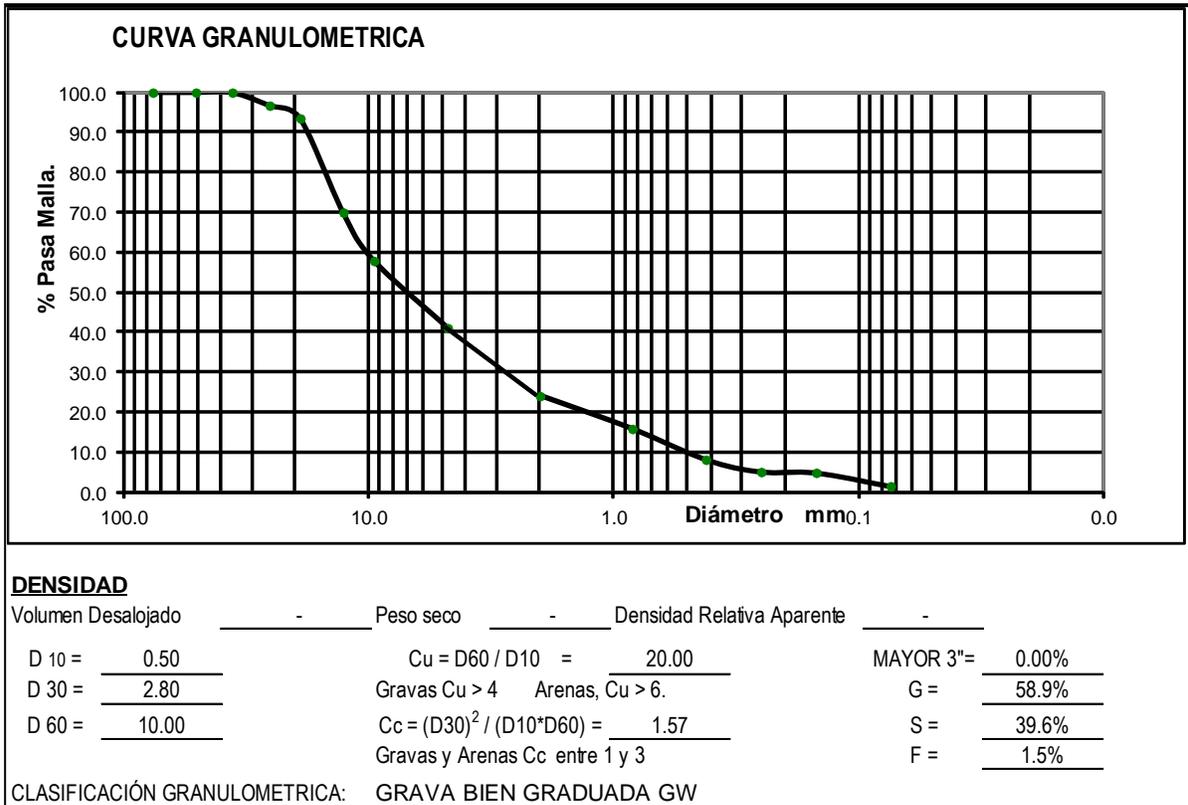


Imagen 2.5.- Curva granulométrica de una GW.

Fuente: Elaboración propia.

2.3.3.- Límites de consistencia.

Este ensaye nos permite conocer las características de plasticidad de la porción que pasa la malla No. 4 (0.425mm), 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.

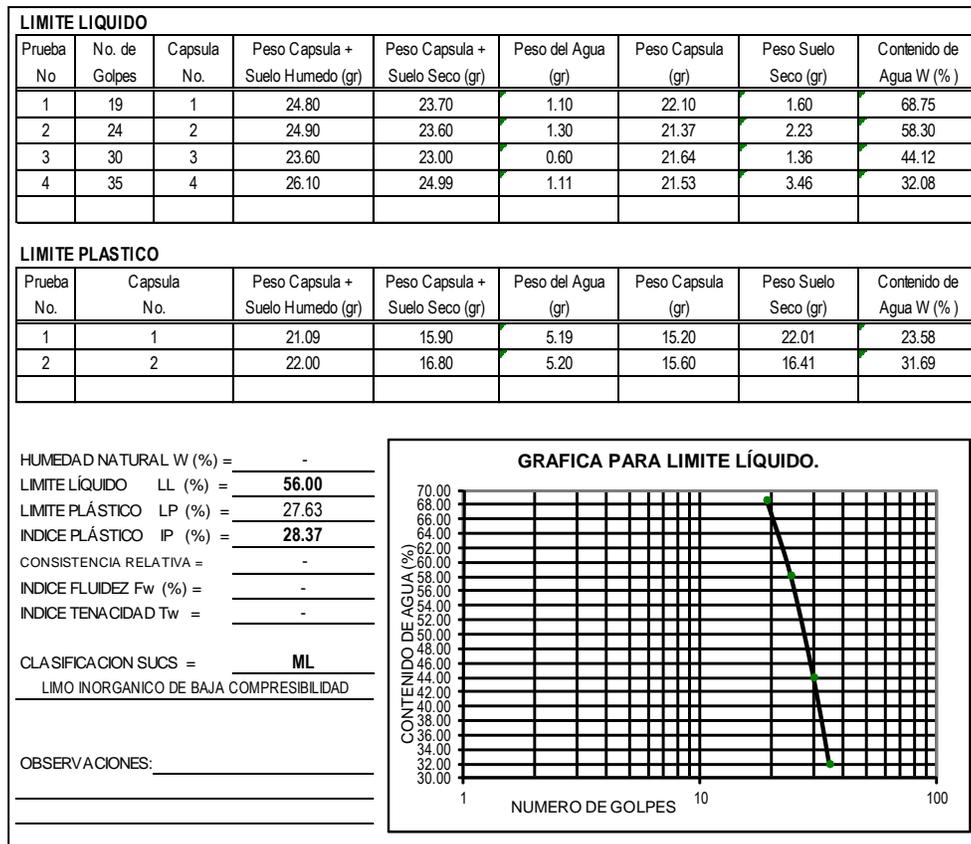


Imagen 2.6.- Registro y cálculo de ensaye de límite de consistencia.

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 el ensaye, está confinado en un molde de acero de 15.2 cm (6") de diámetro, y una altura de 20.30 cm (8"), el suelo se prepara cribando el material seco por la malla de 2.54 cm (1"), agregándole el agua necesaria para obtener la humedad óptima 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 prensa que le aplicará una carga de 140 kg/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 óptima de compactación obtenidas en los ensayos previos, y posteriormente aplicar la penetración que nos determinará el VRS del material estudiado.

Los factores que pueden afectar los resultados de VRS de un suelos 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.

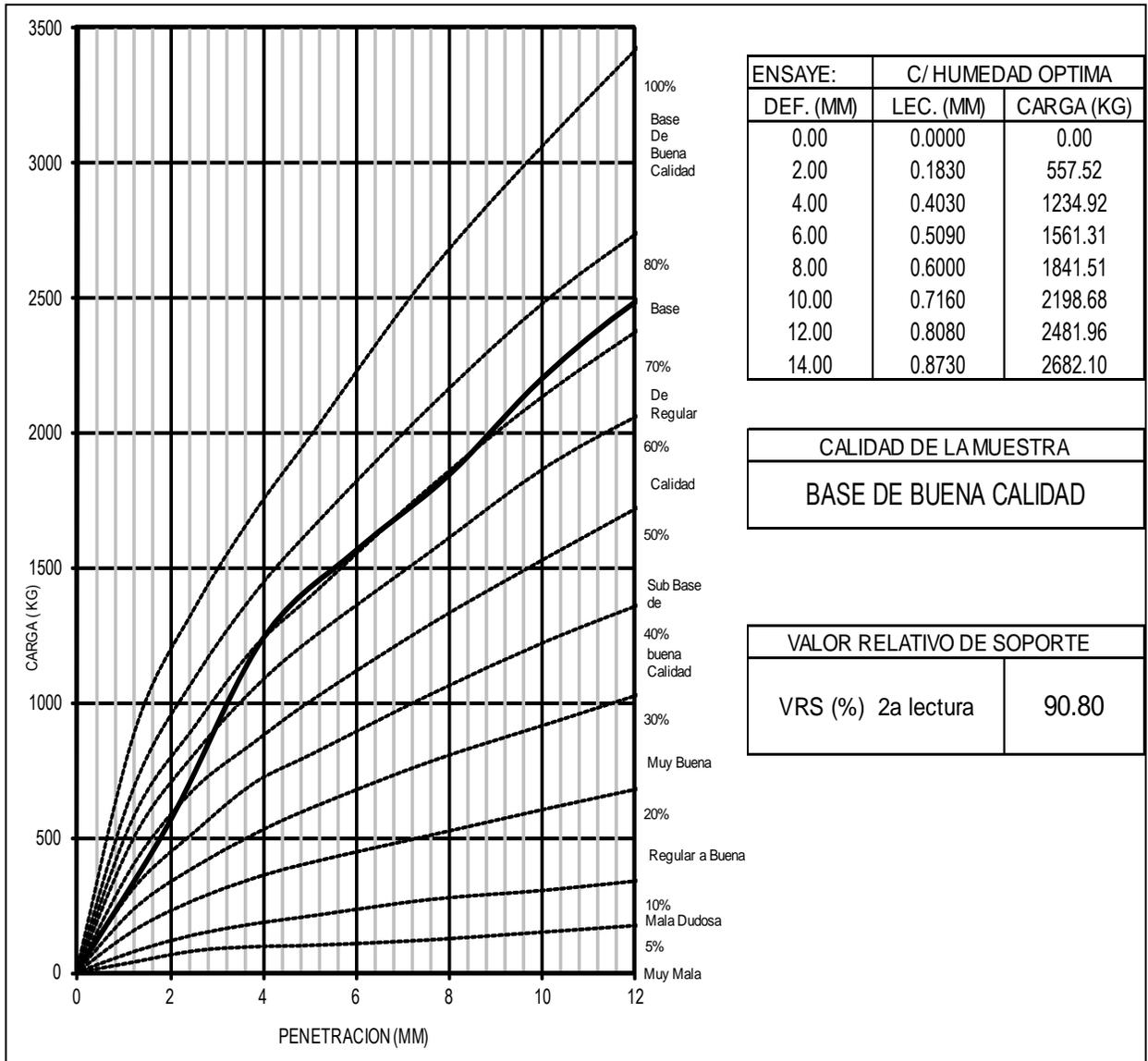


Imagen 2.7.- Registro y gráfica de ensaye de VRS.

Fuente: Elaboración propia.

2.3.5.- Prueba de Placa.

Este ensaye nos ayuda a determinar la capacidad de portante de las capas subrasante, subbase y en ocasiones de los pavimentos completos, el ensaye consisten en cargar una placa circular en contacto con 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 ensayes de placa en la capa subrasante y ajustar los resultados para tener en cuenta el efecto de la subbase, así como de las condiciones de compactación y humedad, ya que los ensayes de placa realizados sobre las capas de subbase, pueden arrojar resultados no representativos, ya que la profundidad de la influencia de este ensaye no es tan grande como la de la profundidad de presenta una losa de concreto cargada con un vehículo.

El IMCYC nos recomienda, “no exceder en ningún caso el valor “k” de la subrasante de 137 MPa/m (500 lb/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 subrasante.

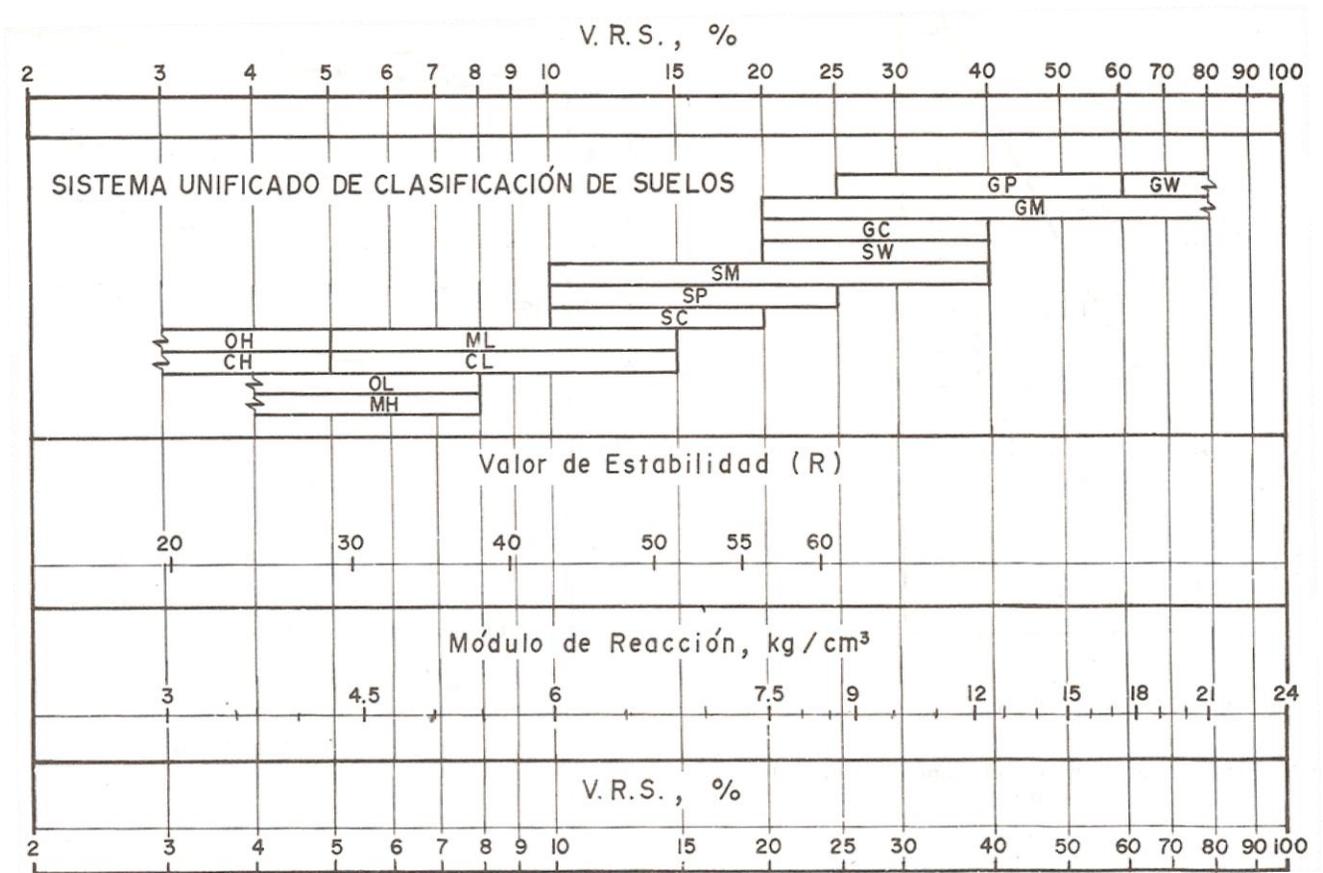


Imagen 2.8.- Comparación entre varios índices de resistencia.

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 optimo para la compactación del suelo en estudio.

Este ensaye consiste en determinar la masa volumétrica seca de un material compactándolo 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 subrasante podemos definir la prueba AASHTO Estándar y para las capas de subbase y base hidráulica se utiliza la prueba AASHTO Modificado.

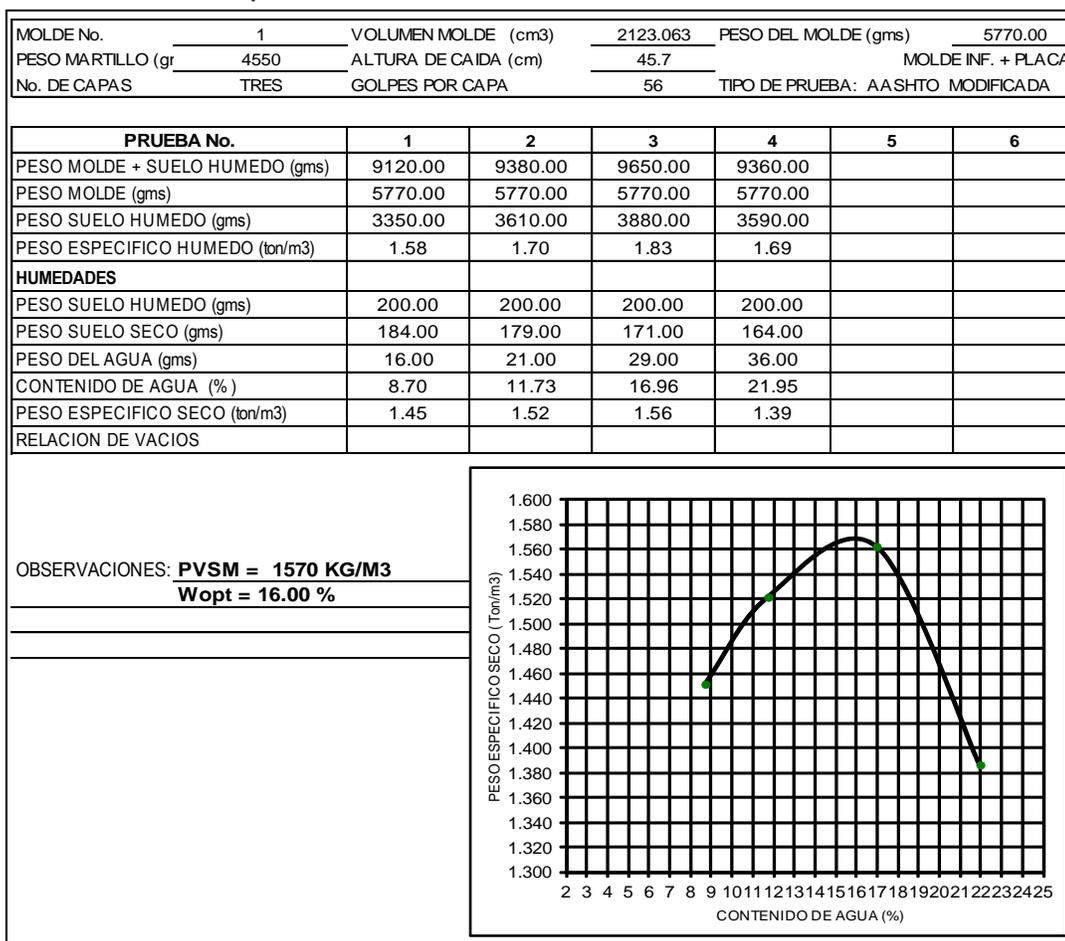


Imagen 2.9.- Registro y cálculo de ensaye AASHTO Modificado.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 3

RESUMEN DE MACRO Y MICRO LOCALIZACIÓN

Dentro de este capítulo se presentará la ubicación del predio general que se analiza en la presente investigación, así como también las características físicas y condiciones en las que se encuentra.

3.1.- Generalidades.

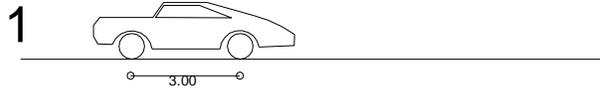
La presente investigación se realiza para la integración de un diseño de pavimento rígido destinado a la vialidades del fraccionamiento denominado “Campestres Zumpimito Segunda Etapa”, diseño que tome encuenta todos los aspectos teóricos y normativas referidas a este tipo de estructuras.

Una de las bases que se deberá de tomar en cuenta para el diseño es el estudio de 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 seis 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 en anexo 1.

Otra variante importante dentro del diseño es el tránsito y distribución del mismo, el cual proporciona un número de vehículos que se proyectan estarán transitando por las vialidades del fraccionamiento, así como el total de ejes

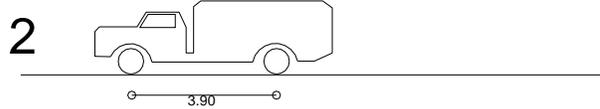
equivalentes que estarán afectado al pavimento en el transcurso de su vida útil o de servicio.

Ap



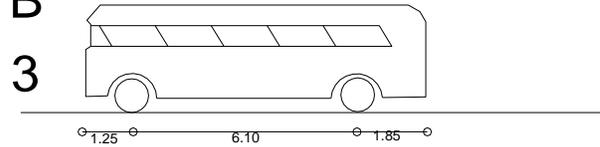
Ac

Carga =2.5 ton



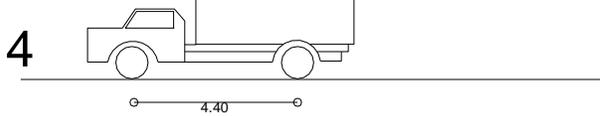
B

25 pasajeros



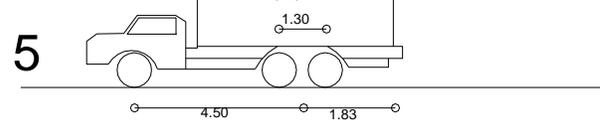
C2

Carga =5.1 ton



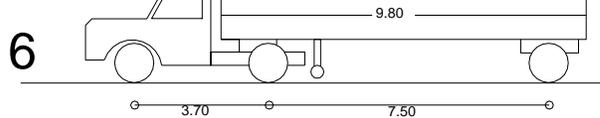
C3

Carga =9.7 ton



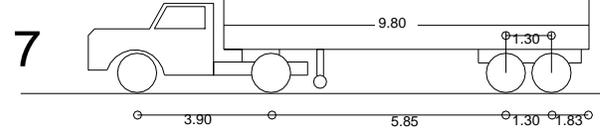
T2-S1

Carga =9.7 ton



T2-S2

Carga =13.3 ton



T3-S2

Carga =16.0 ton

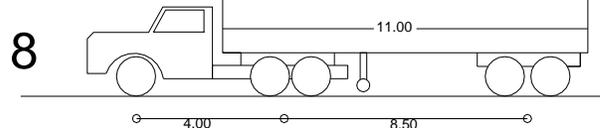


Imagen 3.1.- Vehículos de proyecto SCT.

Fuente: Crespo; 2004; 55.

3.2.- Objetivo.

El objetivo principal de la presente tesis es el diseño de un 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 considere todos los factores teóricos que puedan influenciar a la estructura que formara el pavimento.

3.3.- Resumen ejecutivo.

El predio sujeto de estudio de esta investigación se encuentra en la zona Sur de la ciudad de Uruapan, Michoacán, Así mismo en esta investigación se lograron obtener los planos preliminares de la disposición de las vialidades dentro del fraccionamiento, el total de lotes y/o viviendas proyectas lo cual que nos ayudaran 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 tomaran en cuenta para cada una de las capas que conformaran 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>.

La ciudad de Uruapan se localiza al Oeste del estado de Michoacán de Ocampo, en las coordenadas 19°25' de latitud Norte y 102°03' de longitud Oeste, a una altura de 1,620 metros sobre el nivel del mar. Limita al Norte con los municipios de Charapan, Paracho y Nahuatzen, al Este con Tingambato, Ziracuaretiro y Taretan,

al Sur con Gabriel Zamora, y al Oeste con Nuevo Parangaricutiro, Periban y Los Reyes. Su distancia a la capital del Estado es de 120 km.



Imagen 3.3.- Ubicación de la ciudad de Uruapan Michoacán.

Fuente: Carta topográfica E13B39, INEGI.

3.5.- Macro y Micro localización.

La ubicación geográfica del predio en cuestión queda comprendida en las coordenadas 19°22'07.22" de latitud Norte y 102° 03'40.01" de longitud Oeste, a una altura de 1,570 metros sobre el nivel del mar. Limita al Norte con el Fraccionamiento Campestre Zumpimito primer etapa, al Este con el Camino Viejo a Gabriel Zamora, al Sur con propiedad privada y al Oeste con el Camino a la Hidroeléctrica Zumpimito. El predio destinado a la urbanización de dicho fraccionamiento cuenta con 122,466 m², destinado 12,234 m² para vialidades, y un estimado de viviendas y/o lotes de 250.

3.6.- Hidrografía y Clima.

El municipio se encuentra dentro de la región hidrológica del río Balsas, dentro de la cuenca del río Tepalcatepec – Infiernillo, sus principales afluentes son La presa de Caltzontzint, Salto escondido, la Tzaráracua y el Río Cupatitzio, con una precipitación pluvial media de 1 760 mm, según el INEGI.

El clima, de acuerdo con el INEGI, se considera templado y tropical con lluvias en verano y templado subhumano con lluvias en verano, con temperaturas de van desde 12° C a 24°C.

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

Otro factor importante en el drenaje es el tipo de terreno natural que se presenta en la zona, al tratarse de un material fino de tipo limoso, este permite una filtración del agua pluvial buena permitiendo la no saturación de los materiales que conforman la estructura de pavimento.

3.7.- Actividades de la región.

Las actividades principales del región son agricultura y comercio, principalmente del fruto del aguacate, aquí podemos mencionar que el uso actual del predio donde se proyecta la construcción del fraccionamiento es de producción de este fruto, sin embargo las necesidades la de la población, primordialmente de

vivienda, se ha visto el aprovechamiento de este espacio para su proyección, quedando integrado dentro de la mancha urbana de la ciudad.

3.8.- Informe fotográfico.

En la imagen 3.6, se puede observar la vialidad principal de acceso a la zona donde se ubicara el fraccionamiento, podemos notar una superficie de rodamiento a base de empedrado en este tramo especialmente, hasta el momento el tipo de vehículos que transitan por esta vialidad de de tipo A, y en menor grado del tipo C y T-S, estos últimos con destino a la hidroeléctrica Zumpimito.



Imagen 3.6.- Vialidad de acceso al fraccionamiento.

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente imagen se puede observar la parte frontal del predio, así como el camino de acceso, el cual podemos mencionar consta una vialidad conformada por tramos con diferente superficie de rodamiento, carpeta asfáltica, empedrado y en el frente del predio, terracería, el cual se tendrá que evaluar y mejorar para conformar una vialidad funcional y cómoda para los residentes del fraccionamiento.



Imagen 3.7.- Acceso a predio, parte frontal.

Fuente: Elaboración propia.

En la imagen 3.8, se puede observar parte de interior del predio en cuestión, donde notamos la presencia de arboles de aguacate, un camino interior de uso agrícola y parte de la infraestructura existente de energía eléctrica, obviamente esta última se modificara de acuerdo al proyecto de urbanización que se pretende.



Imagen 3.8.- interior del predio.

Fuente: Elaboración propia.



Imagen 3.9.- interior del predio.

Fuente: Elaboración propia.

En la imagen 3.9, se observa otra vista del interior del predio, donde podemos observar los arboles que se encuentran presentes mismo que serán retirados para poder realizar una urbanización organizada y definida según el proyecto.



Imagen 3.10.- Pozo a cielo abierto (PCA).

Fuente: Propia.

Por último en la imagen 3.10, se puede observar uno de los pozos a cielo abierto realizado durante la exploración geotecnia, este sondeo nos presente de manera general el tipo de suelo que tenemos como desplante de la estructura de pavimento, el cual es un limo de color café rojizo, el cual presento una consistencia media a dura.

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Dentro de este capítulo se menciona el método y procedimientos que se emplean para el análisis y la solución de la investigación en proceso, así como también se presentan las consideraciones, análisis y cálculos realizados para el diseño del 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 de la organización 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 de tipo rígido, en el cual se requieren una serie de cálculos y estudios cuantitativos, el método que más se va a emplear para llegar al resultado final es el método matemático.

4.1.1.- Método matemático.

El método matemático es un método cuantitativo, que 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 requerido realizar cálculos y procedimientos adecuados para lograr un objetivo apegado a la exactitud.

4.2.- Enfoque de la investigación.

Se sabe que una investigación es la búsqueda de soluciones a objetivos establecidos 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 trabajaremos sobre la investigación cuantitativa, ya que con esta se pueden obtener resultados 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 podemos decir como 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 dos tipos de diseños para la investigación no experimental, la investigación transeccional o transversal y la investigación longitudinal, en esta investigación haremos 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 solo momento, en un tiempo único, con el propósito de describir las variables y analizar su incidencia e interrelación en dicho momento.

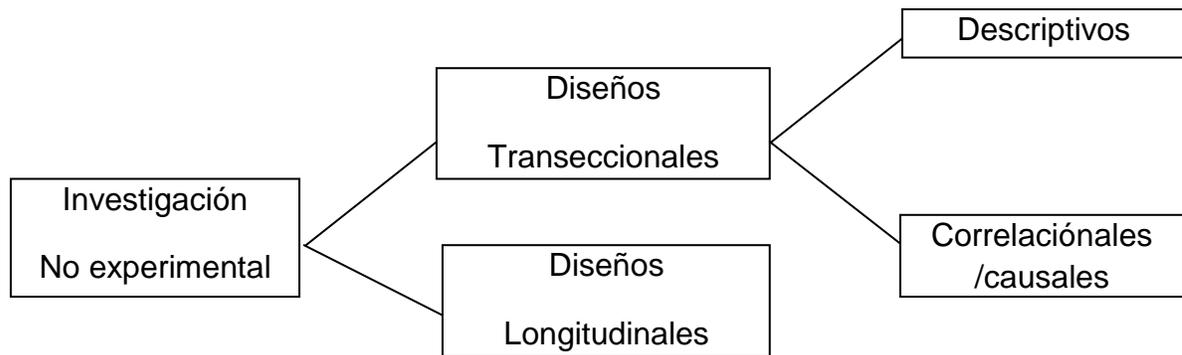


Imagen 4.1.- Investigación no experimental.

Fuente: Elaboración propia (información de Hernández y Sampieri; 1991; 247).

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

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

Para la presente tesis se tomara un diseño transeccional o transversal descriptivo, ya que los datos que se obtienen en esta investigación son tomados en un momento único, describiendo 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 numero 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 de transito durante los procesos de construcción de las viviendas y 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 imágenes que ayudaron a describir dichas condiciones.

Se realizó una consulta a la bibliografía general sobre diseños de pavimentos rígidos, a la normativa de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, a manuales de empresas especializadas en este tipo de estructuras, y por último se investigo 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 apoyo en el uso de programas de cómputo como el programa de la paquetería de Microsoft Office denominado Excel y Word, elaborando una hoja de cálculo dentro del paquete de 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 American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO) y al 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 elásticos de los materiales; el segundo basado principalmente en el concepto de consumo de resistencia, este método calcula las tensiones que produce el tránsito en cada rango

de carga, comparándolas 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 utilizaremos el método de diseño de la PCA (Portland Cement Association).

4.6.1.- 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.

4.6.2.- Elementos básicos, factores de diseño y diseño de espesores.

De acuerdo con el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos; en los pavimentos de concreto simple, el espaciamientos entre las juntas de las losas no debe de 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 de 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 subbase 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 tridem 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 a conocer las condiciones del lugar de proyecto, definir el tipo de pavimento a diseñar, se deberá de 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 32 kg/cm^2 , equivalente a 3.1379 Mpa.

La capacidad de soporte de la capa subrasante y de la capa de subbase, este valor mejor conocido como Módulo de Reacción (k), lo obtenemos del ensaye de

placa o podemos estimarlo a partir del ensaye de Valor Relativo de Soporte (VRS), así mismo la utilización de capas de subbase 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 podemos observar el incremento del valor k con la utilización de una subbase de tipo granular (material de banco sin estabilizar) dependiendo del espesor de la misma.

Valor de k para subrasante		Valor de k para subbase							
		100 mm		150 mm		225 mm		300 mm	
Mpa/m	Lb/pulg ³	Mpa/m	Lb/pulg ³	Mpa/m	Lb/pulg ³	Mpa/m	Lb/pulg ³	Mpa/m	Lb/pulg ³
20	73	23	85	26	96	35	117	38	140
40	147	45	165	49	180	57	210	66	245
60	220	64	235	66	245	76	280	90	330
80	295	87	320	90	330	100	370	117	430

Imagen 4.2.- Efecto de la Subbase sobre el valor k.

Fuente: MCDP; 2002; 210.

Para esta investigación, el Módulo de Reacción para la capa de Subrasante lo obtendremos de la correlación del Valor Relativo de Soporte Obtenido en el estudio de mecánica de suelo que en promedio es de 15.53% y la imagen 2.8, que corresponde a un valor k de 6.50 kg/cm²/cm (63.74 Mpa/m), mientras que para la capa de subbase 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 de 17.80 kg/cm²/cm (174.54 Mpa/m), correlacionando en la tabla de la

imagen 4.2, para determinar el valor de k corregida por efecto de colocar una capa de subbase de tipo granular, proponiendo un espesor de la capa de subbase de 250 mm (25.00 cm) y realizando una doble interpolación entre los valores de k de subrasante de 60 Mpa/m y 80 Mpa/m, y los valores para los espesores de 300 mm (30.00 cm) y 225 mm (22.50 cm), obtenemos un valor de k corregido para un valor de k de subrasante de 63.74 Mpa/m de 85.34 Mpa/m.

K SR	ESP SB	K SB	
Mpa/m	225 mm	Mpa/m	
60.00		76.00	
63.74		X=	80.49
80.00		100.00	
K SR	ESP SB	K SB	
Mpa/m	300 mm	Mpa/m	
60.00		90.00	
63.74		X=	95.05
80.00		117.00	
ESP SB		K SB (63.74Mpa/m)	
225		80.49	
250		X=	85.34
300		95.05	

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 dos vehículos promedio por lote y/o vivienda, de 500 vehículos y utilizando una distribución de tránsito conforme a :

Ap = 72.00 %, Ac = 23.00%, B2 = 1.00%, C2 = 1.50%, C3 = 1.50% y un T3-S2 = 1.00%

En la imagen 4.3 podemos obtener 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 formula

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

N = 2.0, número de carriles.

r = 1.20%, tasa de crecimiento.

Tcp = 3%, porcentaje de vehículos pesados.

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

Así para esta investigación se tiene un valor de vehículos total de 69,501.53; 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 subbase de material granular con espesor de 25.00 cm, como segunda opción una estructura a base una losa de concreto hidráulico de 15.00 cm y una capa de subbase de material granular de 30.00 cm, y como tercer opción una estructura a base de 15 cm de losa de concreto y 22.50 cm de capa de subbase, los espesores de la capa de subbase tomados de la tabla para la corrección de k de subrasante como referencia, imagen

4.2, en los siguientes párrafos describiremos la obtención de los valores para la primer opción en general.

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, nos determinaran 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 y por erosión, 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 propuesto de 15.00 cm e interpolamos en valor de la k en el conjunto de subrasante y subbase obtenido anteriormente de 85.34 Mpa/m, obteniendo los valores de esfuerzo equivalente para eje sencillo de 1.88 y para tándem de 1.58; 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 0.599 y para eje tándem de 0.504, por último se determinan los factor de erosión para cada tipo de eje, estos valores los determinamos de las imágenes 4.6 e imagen 4.7, entrando con el espesor propuesto de losa y con el valor k del conjunto subrasante y base, interpolando entre los valores de 80 y 140 respectivamente, obteniendo los factores de 2.90 para ejes sencillos y 2.87 para ejes tándem.

ESPESOR DE LOSA PROPUESTO:	15.00	cm
ESPESOR DE CAPA SUBRASANTE:	25.00	cm
K DEL CONJUNTO DE LA SUBRASANTE-SUBBASE:	85.34	Mpa/m
EJES SENCILLOS	ESFUERZO EQUIVALENTE	1.880
	RELACION DE ESFUERZOS	0.599
	FACTOR DE EROSION	2.900
EJES TANDEM	ESFUERZO EQUIVALENTE	1.580
	RELACION DE ESFUERZOS	0.504
	FACTOR DE EROSION	2.870

Con los valores ya calculados, y con el uso de las imágenes 4.8 e imagen 4.9, podemos determinar el valor de repeticiones admisibles por fatiga y por erosión en la estructura propuesta, en la imagen 4.8 determinamos en análisis por fatiga entrando con la carga de ejes sencillos y tándem, así como el valor de la relación de esfuerzos donde ubicados estos dos valores, se unen con una línea recta la cual se proyecta hasta el eje de las repeticiones admisibles por fatiga; de igual manera en la imagen 4.9 se determinan la ubicación de los pesos de los ejes sencillos y tándem en la primer línea y la ubicación del factor de erosión para cada tipo de eje, uniendo con una línea recta estos valores y proyectándola hasta el eje de la repeticiones admisibles por erosión, con la determinación de estos valores se realiza el comparativo de repeticiones esperadas y admitidas expresando dicho comparativo en porcentaje, el cual no deberá de exceder en un 100% para cada caso, para estos gráficos nos piden la carga del eje simple y tándem en kN (kiloneuton) por lo cual pasamos de toneladas para cada eje a las unidades solicitadas es decir en ejes simples; 1 ton = 9.81 kN, 5.5 ton = 53.95 kN, y 10 ton = 98.1 kN, mientras que para ejes tándem; 18 ton = 176.58 kN y 22.5 ton = 220.7 kN.

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 utilizada para las opciones propuestas en la cual podemos notar la variación de resultados finales con el cambio de espesores de la capa de subbase.

En el anexo 2 a esta investigación, se integran las tablas de valores para los factores de esfuerzo equivalente y factor de erosión para los diferentes casos de losas de pavimento.

Esfuerzo equivalente pavimento con hombros de concreto hidráulico (eje sencillo)						
Eje sencillo						
Espesor de losa (mm)	k del conjunto subrasante / subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	4.18	3.65	3.37	3.19	2.85	2.72
110	3.68	3.23	2.99	2.83	2.55	2.43
120	3.28	2.88	2.67	2.54	2.29	2.19
130	2.95	2.60	2.41	2.29	2.07	1.99
140	2.68	2.36	2.19	2.08	1.89	1.81
150	2.44	2.15	2.00	1.90	1.73	1.66
160	2.24	1.97	1.84	1.75	1.59	1.53
170	2.06	1.82	1.70	1.62	1.48	1.42
180	1.91	1.69	1.57	1.50	1.37	1.32
190	1.77	1.57	1.46	1.40	1.28	1.23
200	1.65	1.46	1.37	1.30	1.19	1.15
210	1.55	1.37	1.28	1.22	1.12	1.08
220	1.45	1.29	1.20	1.15	1.05	1.01
230	1.37	1.21	1.13	1.08	0.99	0.96
240	1.29	1.15	1.07	1.02	0.94	0.90
250	1.22	1.08	1.01	0.97	0.89	0.86
260	1.16	1.03	0.96	0.92	0.84	0.81
270	1.10	0.98	0.91	0.87	0.80	0.77
280	1.05	0.93	0.87	0.83	0.76	0.74
290	1.00	0.89	0.83	0.79	0.73	0.70

Imagen 4.4.- Esfuerzos equivalentes, pavimento con hombros de concreto hidráulico, eje sencillo

Fuente: MCDP; 2002; 82.

Esfuerzo equivalente pavimento con hombros de concreto hidráulico (eje tándem)						
Eje tándem						
Espesor de losa (mm)	k del conjunto subrasante / subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	3.48	3.10	2.94	2.85	2.74	2.72
110	3.07	2.71	2.56	2.47	2.35	2.32
120	2.75	2.41	2.26	2.17	2.05	2.02
130	2.49	2.17	2.02	1.94	1.82	1.78
140	2.27	1.97	1.83	1.75	1.63	1.59
150	2.08	1.80	1.67	1.59	1.48	1.44
160	1.93	1.66	1.53	1.46	1.35	1.31
170	1.79	1.54	1.42	1.35	1.24	1.20
180	1.67	1.43	1.32	1.25	1.15	1.11
190	1.57	1.34	1.23	1.17	1.07	1.03
200	1.48	1.26	1.16	1.10	1.00	0.96
210	1.40	1.19	1.09	1.03	0.93	0.90
220	1.32	1.12	1.03	0.97	0.88	0.85
230	1.26	1.07	0.98	0.92	0.83	0.80
240	1.20	1.01	0.93	0.87	0.79	0.76
250	1.14	0.97	0.88	0.83	0.75	0.72
260	1.09	0.92	0.84	0.79	0.71	0.68
270	1.04	0.88	0.81	0.76	0.68	0.65
280	1.00	0.85	0.77	0.73	0.65	0.62
290	0.96	0.81	0.74	0.70	0.62	0.60

Imagen 4.5.- Esfuerzos equivalentes, pavimento con hombros de concreto hidráulico, eje tándem.

Fuente: MCDP; 2002; 83.

Factor de erosión para ejes sencillos. Pavimentos de concreto hidráulico sin dovelas y con hombros de concreto hidráulico						
Espesor de losa (mm)	Eje sencillo					
	k del conjunto subrasante / subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	3.45	3.41	3.39	3.38	3.34	3.31
110	3.34	3.30	3.28	3.27	3.23	3.20
120	3.24	3.20	3.18	3.16	3.13	3.11
130	3.15	3.11	3.08	3.07	3.04	3.02
140	3.07	3.02	3.00	2.98	2.95	2.93
150	2.99	2.94	2.92	2.90	2.87	2.85
160	2.91	2.87	2.84	2.83	2.80	2.78
170	2.85	2.80	2.77	2.76	2.73	2.71
180	2.78	2.73	2.71	2.69	2.66	2.64
190	2.73	2.67	2.64	2.63	2.60	2.58
200	2.67	2.61	2.59	2.57	2.54	2.52
210	2.62	2.56	2.53	2.51	2.48	2.47
220	2.57	2.51	2.48	2.46	2.43	2.41
230	2.52	2.46	2.43	2.41	2.38	2.36
240	2.47	2.41	2.38	2.36	2.33	2.31
250	2.43	2.37	2.34	2.32	2.28	2.27
260	2.39	2.33	2.29	2.27	2.24	2.22
270	2.35	2.28	2.25	2.23	2.20	2.18
280	2.31	2.25	2.21	2.19	2.16	2.14
290	2.28	2.21	2.17	2.15	2.12	2.10
300	2.24	2.17	2.14	2.12	2.08	2.06
310	2.21	2.14	2.10	2.08	2.04	2.02
320	2.18	2.11	2.07	2.05	2.01	1.99
330	2.15	2.07	2.04	2.01	1.97	1.95
340	2.12	2.04	2.01	1.98	1.94	1.92
350	2.09	2.01	1.97	1.95	1.91	1.89

Imagen 4.6.- Factores por erosión, pavimento sin pasajuntas y con hombros de concreto hidráulico, eje sencillo.

Fuente: MCDP; 2002; 93.

Factor de erosión para ejes tándem. Pavimentos de concreto hidráulico sin dovelas y con hombros de concreto Hidráulico						
Espesor de losa (mm)	Eje tándem					
	k del conjunto subrasante / subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	3.45	3.36	3.33	3.31	3.28	3.27
110	3.36	3.27	3.22	3.20	3.16	3.15
120	3.28	3.18	3.13	3.11	3.06	3.04
130	3.21	3.11	3.05	3.02	2.97	2.95
140	3.15	3.01	2.98	2.95	2.89	2.86
150	3.09	2.98	2.92	2.88	2.82	2.79
160	3.04	2.92	2.86	2.82	2.75	2.72
170	2.99	2.87	2.81	2.77	2.69	2.66
180	2.94	2.82	2.76	2.71	2.64	2.61
190	2.90	2.77	2.71	2.67	2.59	2.55
200	2.86	2.73	2.67	2.62	2.54	2.51
210	2.82	2.69	2.63	2.58	2.50	2.46
220	2.78	2.66	2.59	2.54	2.46	2.42
230	2.75	2.62	2.55	2.50	2.42	2.38
240	2.72	2.59	2.52	2.47	2.38	2.34
250	2.69	2.55	2.48	2.43	2.35	2.31
260	2.66	2.52	2.45	2.40	2.31	2.27
270	2.63	2.49	2.42	2.37	2.28	2.24
280	2.60	2.47	2.39	2.34	2.25	2.21
290	2.58	2.44	2.37	2.32	2.22	2.18
300	2.55	2.41	2.34	2.29	2.19	2.15
310	2.53	2.39	2.31	2.26	2.17	2.13
320	2.50	2.36	2.29	2.24	2.14	2.10
330	2.48	2.34	2.27	2.21	2.12	2.07
340	2.46	2.32	2.24	2.19	2.09	2.05
350	2.44	2.30	2.22	2.17	2.07	2.03

Imagen 4.7.- Factores por erosión, pavimento sin pasajuntas y con hombros de concreto hidráulico, eje tándem.

Fuente: MCDP; 2002; 94.

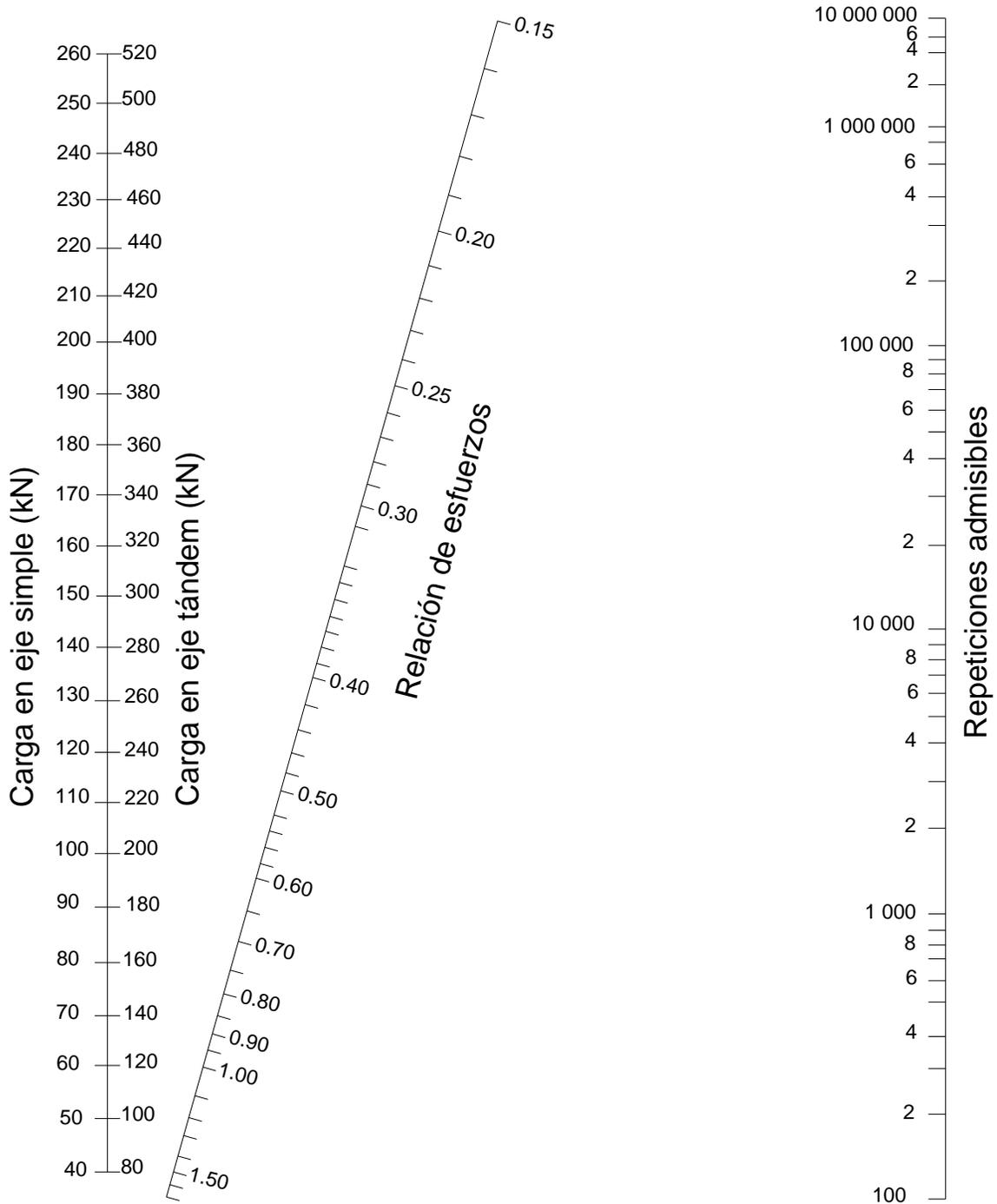


Imagen 4.8.- Análisis por fatiga, repeticiones admisibles en función de la relación de esfuerzos en pavimentos con y sin hombros de concreto.

Fuente: MCDP; 2002; 79.

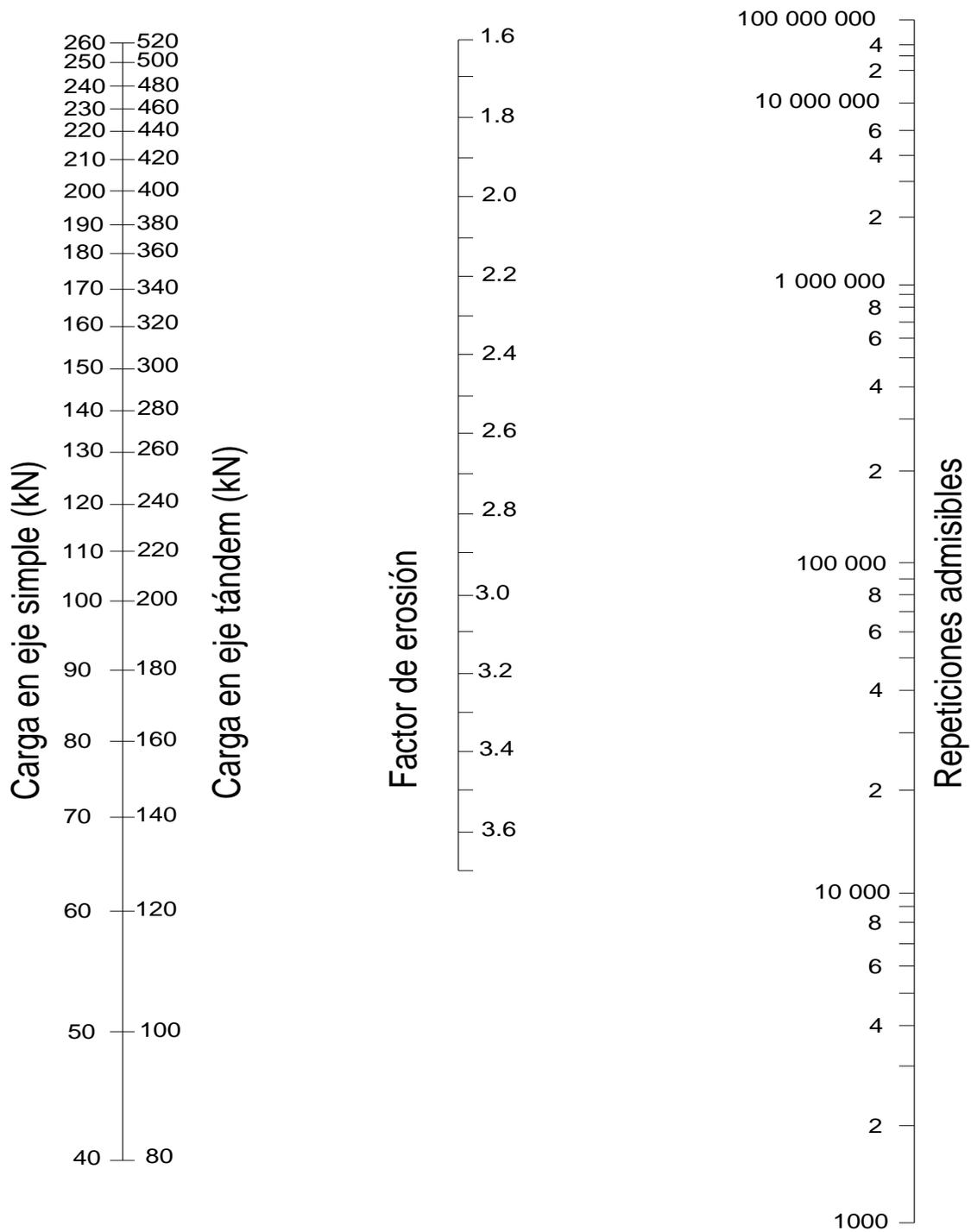


Imagen 4.9.- Análisis por erosión, repeticiones admisibles en función de la relación de esfuerzos en pavimentos con hombros de concreto.

Fuente: MCDP; 2002; 90.

Cálculo de opción uno, 15.00 cm de losa de concreto y 25.00 cm de capa de subbase.

DATOS GENERALES										
PROYECTO:	DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO PARA EL FRACCIONAMIENTO CAMPESTRE ZUMPITO SEGUNDA ETAPA.						FECHA:	JUNIO 2012		
ESPELOR PROPUESTO:	LOSA DE CONC;	15.00	SUBBASE GRAN:	25.00	cm	CON USO DE PASAJUNTAS				
K DE LA SUBRASANTE:	(VRS: 15.53%)	6.50	Kg/cm2/cm	63.74	Mpa/m	SI	NO X			
K DEL CONJUNTO DE LA SUBRASANTE-SUBBASE:			Kg/cm2/cm	85.34	Mpa/m	CON ACOTAMIENTO				
MODULOS DE RUPTURA:	32.00	Kg/ cm2	3.1379	Mpa	SI	NO X				
FACTOR DE SEGURIDAD (Fsc)	1.20	(Adimensional)				NO				
TRANSITO DE PROYECTO EN PORCENTAJE DE VEHICULOS										
Ap =	72.00%	Ac =	23.00%	B2, B3 =	1.00%	TPDA 1 =	500.0			
C2 =	1.50%	C3 =	1.50%	T2 - S1 =	0.00%	TASA CRECIMIENTO ANUAL	1.20%			
T2 - S2 =	0.00%	T3 - S2 =	1.00%	T3 - S3 =	0.00%	PERIODO DE DISEÑO AÑOS	20.0			
SUMA DE TRANSITO=	100.00%									
CALCULO DEL VOLUMEN TOTAL DE VEHICULOS EN LA VIDA DE PROYECTO.										
TPDA1	500.0	TRANSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL		$V_T = \frac{TPDA (FP)}{N} \left(\frac{T_{cp}}{100} \right) \left(\frac{CCP}{100} \right) (365) (Pd)$						
FP =	1.27	FACTOR DE PROYECCION								
N =	2	NUMERO DE CARRILES								
r =	1.20%	TASA DE CRECIMIENTO								
Tcp =	3%	PORCENTAJE DE VEHICULOS PESADOS								
CCP =	1	FACTOR DE CORRECCION DE TRANSITO EN EL CARRIL DE DISEÑO		Vt =	69,501.53					
TIPO DE VEHICULO	PESO TOTAL (Ton)	COMPOSICION DE TRANSITO	NUMERO DE VEHICULOS	NUMERO DE EJES POR VEHICULO		PESO DE LOS EJES (Ton)				
				DELANTEROS	TRASEROS	TOTALES	DELANTEROS	TRASEROS		
EJES SENCILLOS										
A2	2.0	95.0%	475.00	475.00	475.00	950.00	1.0	1.0		
B2	15.5	1.0%	5.00	5.00	5.00	10.00	5.5	10.0		
C2	15.5	1.5%	7.50	7.50	—	7.50	5.5	—		
C3	23.0	1.5%	7.50	7.50	—	7.50	5.5	—		
T2-S1	24.5	0.0%	0.00	0.00	—	0.00	5.5	—		
T2-S2	31.5	0.0%	0.00	0.00	—	0.00	5.5	—		
T3-S2	39.0	1.0%	5.00	5.00	—	5.00	5.5	—		
T3-S3	43.0	0.0%	0.00	0.00	—	0.00	5.5	—		
		100.0%	500.00							
EJES TANDEM										
C2	15.5	1.5%	7.50	—	7.50	7.50	—	18.0		
C3	23.0	1.5%	7.50	—	7.50	7.50	—	18.0		
T2-S1	24.5	0.0%	0.00	0.00	0.00	0.00	18.0	18.0		
T2-S2	31.5	0.0%	0.00	0.00	0.00	0.00	18.0	18.0		
T3-S2	39.0	1.0%	5.00	5.00	5.00	10.00	18.0	22.5		
T3-S3	43.0	0.0%	0.00	0.00	0.00	0.00	18.0	22.5		
ANALISIS POR FATIGA										
TIPO DE VEHICULO	CLASIFICACION DE EJES		TOTAL DE EJES	REPETICIONES ESPERADAS	REPETICIONES ADMISIBLES	PORCENTAJE DE FATIGA	REPETICIONES ADMISIBLES	PORCENTAJE DE DAÑO		
	PESO DEL EJE	TOTAL DE EJES	C/1000 VEHICULOS							
RESUMEN EJES SENCILLOS										
A2	1.00	950.00	1900.00	132,052.91	1000000.00	1.32%	10000000.00	0.13%		
B2	5.50	25.00	50.00	3,475.08	1000000.00	0.03%	10000000.00	0.00%		
C2	10.00	5.00	10.00	695.02	1000.00	69.50%	190000.00	0.37%		
C3			0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%		
T2-S1			0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%		
T2-S2			0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%		
T3-S2			0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%		
T3-S3			0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%		
RESUMEN EJES TANDEM										
C2	18.00	20.00	40.00	2,780.06	150000.00	1.85%	700000.00	0.40%		
C3	22.50	5.00	10.00	695.02	3000.00	23.17%	140000.00	0.50%		
T2-S1			0.00	0.00		0.00%		0.00%		
T2-S2			0.00	0.00		0.00%		0.00%		
T3-S2			0.00	0.00		0.00%		0.00%		
T3-S3			0.00	0.00		0.00%		0.00%		
						95.88%		1.39%		
ESPELOR DE LOSA PROPUESTO:	15.00		cm							
ESPELOR DE CAPA SUBRASANTE:	25.00		cm							
K DEL CONJUNTO DE LA SUBRASANTE-SUBBASE:	85.34		Mpa/m							
EJES SENCILLOS	ESFUERZO EQUIVALENTE		1.880							
	RELACION DE ESFUERZOS		0.599							
	FACTOR DE EROSION		2.900							
EJES TANDEM	ESFUERZO EQUIVALENTE		1.580							
	RELACION DE ESFUERZOS		0.504							
	FACTOR DE EROSION		2.870							

Cálculo de opción dos, 15.00 cm de losa de concreto y 30.00 cm de capa de subbase.

DATOS GENERALES										
PROYECTO:	DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO PARA EL FRACCIONAMIENTO CAMPESTRE ZUMPITO SEGUNDA ETAPA						FECHA:	JUNIO 2012		
ESPEJOR PROPUESTO:	LOSA DE CONC;	15.00	SUBBASE GRAN:	30.00	cm	CON USO DE PASAJUNTAS				
K DE LA SUBRASANTE:	(VRS : 15.53%)	6.50	Kg/cm2/cm	63.74	Mpa/m	SI	NO X			
K DEL CONJUNTO DE LA SUBRASANTE-SUBBASE:			Kg/cm2/cm	95.05	Mpa/m	CON ACOTAMIENTO				
MODULOS DE RUPTURA:	32.00	Kg/ cm2	3.1379	Mpa	SI X					
FACTOR DE SEGURIDAD (Fsc)	1.20	(Adimensional)				NO				
TRANSITO DE PROYECTO EN PORCENTAJE DE VEHICULOS										
Ap =	72.00%	Ac =	23.00%	B2, B3 =	1.00%	TPDA 1 =	500.0			
C2 =	1.50%	C3 =	1.50%	T2 - S1 =	0.00%	TASA CRECIMIENTO ANUAL		1.20%		
T2 - S2 =	0.00%	T3 - S2 =	1.00%	T3 - S3 =	0.00%	PERIODO DE DISEÑO AÑOS	20.0			
SUMA DE TRANSITO=	100.00%									
CALCULO DEL VOLUMEN TOTAL DE VEHICULOS EN LA VIDA DE PROYECTO.										
TPDA1	500.0	TRANSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL								
FP =	1.27	FACTOR DE PROYECCION								
N =	2	NUMERO DE CARRILES		$vt = \frac{TPDA (FP)}{N} \left(\frac{Tcp}{100} \right) \left(\frac{CCP}{100} \right) (365) (Pd)$						
r =	1.20%	TASA DE CRECIMIENTO								
Tcp =	3%	PORCENTAJE DE VEHICULOS PESADOS								
CCP =	1	FACTOR DE CORRECCION DE TRANSITO EN EL CARRIL DE DISEÑO								
				vt =		69,501.53				
ANÁLISIS DE CARGA Y PESOS										
TIPO DE VEHICULO	PESO TOTAL (Ton)	COMPOSICION DE TRANSITO	NUMERO DE VEHICULOS	NUMERO DE EJES POR VEHICULO		PESO DE LOS EJES (Ton)				
				DELANTEROS	TRASEROS	TOTALES	DELANTEROS	TRASEROS		
EJES SENCILLOS										
A2	2.0	95.0%	475.00	475.00	475.00	950.00	1.0	1.0		
B2	15.5	1.0%	5.00	5.00	5.00	10.00	5.5	10.0		
C2	15.5	1.5%	7.50	7.50	—	7.50	5.5	—		
C3	23.0	1.5%	7.50	7.50	—	7.50	5.5	—		
T2-S1	24.5	0.0%	0.00	0.00	—	0.00	5.5	—		
T2-S2	31.5	0.0%	0.00	0.00	—	0.00	5.5	—		
T3-S2	39.0	1.0%	5.00	5.00	—	5.00	5.5	—		
T3-S3	43.0	0.0%	0.00	0.00	—	0.00	5.5	—		
			100.0%	500.00	EJES TANDEM					
C2	15.5	1.5%	7.50	—	7.50	7.50	—	18.0		
C3	23.0	1.5%	7.50	—	7.50	7.50	—	18.0		
T2-S1	24.5	0.0%	0.00	0.00	0.00	0.00	18.0	18.0		
T2-S2	31.5	0.0%	0.00	0.00	0.00	0.00	18.0	18.0		
T3-S2	39.0	1.0%	5.00	5.00	5.00	10.00	18.0	22.5		
T3-S3	43.0	0.0%	0.00	0.00	0.00	0.00	18.0	22.5		
ANÁLISIS POR FATIGA Y EROSION										
TIPO DE VEHICULO	CLASIFICACION DE EJES		TOTAL DE EJES	REPETICIONES	ANÁLISIS POR FATIGA		ANÁLISIS POR EROSION			
	PESO DEL EJE	TOTAL DE EJES	C/1000 VEHICULOS	ESPERADAS	REPETICIONES ADMISIBLES	PORCENTAJE DE FATIGA	REPETICIONES ADMISIBLES	PORCENTAJE DE DAÑO		
RESUMEN EJES SENCILLOS										
A2	1.00	950.00	1900.00	132,052.91	1000000.00	1.32%	10000000.00	0.13%		
B2	5.50	25.00	50.00	3,475.08	1000000.00	0.03%	10000000.00	0.00%		
C2	10.00	5.00	10.00	695.02	1700.00	40.88%	150000.00	0.46%		
C3			0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%		
T2-S1			0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%		
T2-S2			0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%		
T3-S2			0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%		
T3-S3			0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%		
RESUMEN EJES TANDEM										
C2	18.00	20.00	40.00	2,780.06	360000.00	0.77%	420000.00	0.66%		
C3	22.50	5.00	10.00	695.02	6000.00	11.58%	95000.00	0.73%		
T2-S1			0.00	0.00		0.00%		0.00%		
T2-S2			0.00	0.00		0.00%		0.00%		
T3-S2			0.00	0.00		0.00%		0.00%		
T3-S3			0.00	0.00		0.00%		0.00%		
						54.59%	1.99%			
ESPEJOS DE LOSA PROPUESTO:										
		15.00	cm							
ESPEJOS DE CAPA SUBRASANTE:		30.00	cm							
K DEL CONJUNTO DE LA SUBRASANTE-SUBBASE:		95.05	Mpa/m							
ANÁLISIS DE ESFUERZOS										
EJES SENCILLOS		ESFUERZO EQUIVALENTE		1.860						
		RELACION DE ESFUERZOS		0.593						
		FACTOR DE EROSION		2.890						
EJES TANDEM		ESFUERZO EQUIVALENTE		1.560						
		RELACION DE ESFUERZOS		0.497						
		FACTOR DE EROSION		2.860						

Cálculo de opción tres, 15.00 cm de losa de concreto y 22.50 cm de capa de subbase.

DATOS GENERALES									
PROYECTO:	DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO PARA EL FRACCIONAMIENTO CAMPESTRE ZUMPITO SEGUNDA ETAPA							FECHA: JUNIO 2012	
ESPESOR PROPUESTO:	LOSA DE CONC;	15.00	SUBBASE GRAN:	22.50	cm	CON USO DE PASAJUNTAS			
K DE LA SUBRASANTE:	(VRS : 15.53%)	6.50	Kg/cm2/cm	63.74	Mpa/m	SI			
K DEL CONJUNTO DE LA SUBRASANTE-SUBBASE:			Kg/cm2/cm	80.49	Mpa/m	NO X			
MODULOS DE RUPTURA:	32.00	Kg/ cm2	3.1379	Mpa	CON ACOTAMIENTO				
FACTOR DE SEGURIDAD (Fsc)	1.20	(Adimensional)			SI X				
					NO				
TRANSITO DE PROYECTO EN PORCENTAJE DE VEHICULOS									
Ap =	72.00%	Ac =	23.00%	B2, B3 =	1.00%	TPDA1 =	500.0		
C2 =	1.50%	C3 =	1.50%	T2 - S1 =	0.00%	TASA CRECIMIENTO ANUAL		1.20%	
T2 - S2 =	0.00%	T3 - S2 =	1.00%	T3 - S3 =	0.00%	PERIODO DE DISEÑO AÑOS		20.0	
SUMA DE TRANSITO=	100.00%								
CALCULO DEL VOLUMEN TOTAL DE VEHICULOS EN LA VIDA DE PROYECTO.									
TPDA1	500.0	TRANSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL							
FP =	1.27	FACTOR DE PROYECCION							
N =	2	NUMERO DE CARRILES							
r =	1.20%	TASA DE CRECIMIENTO							
Tcp =	3%	PORCENTAJE DE VEHICULOS PESADOS							
CCP =	1	FACTOR DE CORRECCION DE TRANSITO EN EL CARRIL DE DISEÑO							
					$vt = \frac{TPDA (FP)}{N} \left(\frac{Tcp}{100} \right) \left(\frac{CCP}{100} \right) (365) (Pd)$				
					vt = 69,501.53				
TIPO DE VEHICULO	PESO TOTAL (Ton)	COMPOSICION DE TRANSITO	NUMERO DE VEHICULOS	NUMERO DE EJES POR VEHICULO DELANTEROS	TRASEROS	PESO DE LOS EJES (Ton)			
						TOTALES	DELANTEROS	TRASEROS	
EJES SENCILLOS									
A2	2.0	95.0%	475.00	475.00	475.00	950.00	1.0	1.0	
B2	15.5	1.0%	5.00	5.00	5.00	10.00	5.5	10.0	
C2	15.5	1.5%	7.50	7.50	—	7.50	5.5	—	
C3	23.0	1.5%	7.50	7.50	—	7.50	5.5	—	
T2-S1	24.5	0.0%	0.00	0.00	—	0.00	5.5	—	
T2-S2	31.5	0.0%	0.00	0.00	—	0.00	5.5	—	
T3-S2	39.0	1.0%	5.00	5.00	—	5.00	5.5	—	
T3-S3	43.0	0.0%	0.00	0.00	—	0.00	5.5	—	
		100.0%	500.00						
EJES TANDEM									
C2	15.5	1.5%	7.50	—	7.50	7.50	—	18.0	
C3	23.0	1.5%	7.50	—	7.50	7.50	—	18.0	
T2-S1	24.5	0.0%	0.00	0.00	0.00	0.00	18.0	18.0	
T2-S2	31.5	0.0%	0.00	0.00	0.00	0.00	18.0	18.0	
T3-S2	39.0	1.0%	5.00	5.00	5.00	10.00	18.0	22.5	
T3-S3	43.0	0.0%	0.00	0.00	0.00	0.00	18.0	22.5	
ANALISIS POR FATIGA									
ANALISIS POR EROSION									
TIPO DE VEHICULO	CLASIFICACION DE EJES	TOTAL DE EJES	REPETICIONES	REPETICIONES	PORCENTAJE	REPETICIONES	PORCENTAJE	REPETICIONES	PORCENTAJE
	PESO DEL EJE	TOTAL DE EJES	C/1000 VEHICULOS	ESPERADAS	ADMISIBLES	DE FATIGA	ADMISIBLES	DE DAÑO	
RESUMEN EJES SENCILLOS									
A2	1.00	950.00	1900.00	132,052.91	1000000.00	1.32%	10000000.00	0.13%	
B2	5.50	25.00	50.00	3,475.08	1000000.00	0.03%	10000000.00	0.00%	
C2	10.00	5.00	10.00	695.02	850.00	81.77%	230000.00	0.30%	
C3			0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	
T2-S1			0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	
T2-S2			0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	
T3-S2			0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	
T3-S3			0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	
RESUMEN EJES TANDEM									
C2	18.00	20.00	40.00	2,780.06	120000.00	2.32%	310000.00	0.90%	
C3	22.50	5.00	10.00	695.02	2000.00	34.75%	130000.00	0.53%	
T2-S1			0.00	0.00		0.00%		0.00%	
T2-S2			0.00	0.00		0.00%		0.00%	
T3-S2			0.00	0.00		0.00%		0.00%	
T3-S3			0.00	0.00		0.00%		0.00%	
						120.19%		1.87%	
ESPESOR DE LOSA PROPUESTO:		15.00	cm						
ESPESOR DE CAPA SUBRASANTE:		22.50	cm						
K DEL CONJUNTO DE LA SUBRASANTE-SUBBASE:		80.49	Mpa/m						
EJES SENCILLOS	ESFUERZO EQUIVALENTE	1.900							
	RELACION DE ESFUERZOS	0.605							
	FACTOR DE EROSION	2.900							
EJES TANDEM	ESFUERZO EQUIVALENTE	1.590							
	RELACION DE ESFUERZOS	0.507							
	FACTOR DE EROSION	2.880							

4.6.3.- Diseño de juntas.

Determinado el espesor de losa de concreto que se utilizará para el proyecto, se realiza en diseño de las juntas que se deberán de realizar, primero, las juntas tienen el objetivo de controlar la fisuración y el agrietamiento natural que sufre un concreto, durante su construcción y uso, adicionalmente tiene las funciones de dividir el pavimento en secciones adecuadas para el proceso constructivo, permite el movimiento y el fenómeno de alabeo en las losas, y permite la transferencia de carga entre losas.

Las juntas se diseñan, tomando en cuenta consideraciones ambientales, espesor de la losa, el sistema de transferencia utilizado, el tránsito, el tipo de subbase entre otras.

Los tipos más comunes de juntas son;

Las transversales de construcción.

Las transversales de expansión.

Las transversales de contracción.

Las longitudinales de contracción.

Y las longitudinales de construcción.

Las juntas transversales de construcción, son las juntas que definen la terminación de una losa de concreto, esta junta deberá de prever la continuación de

una nueva losa de concreto por cual se deben de dejar ya sea ahogadas o a la vista, pasajuntas que permitan la trabazón entre una losa vieja y la losa nueva.

Las juntas transversales de expansión, pueden ser de dos tipos con pasajuntas o sin ellas, en el caso de tener pasajunta esta deberá de integrar una cápsula que permita la absorción de la expansión de las losas de concreto.

La junta transversal de contracción, es la que se genera al final de día de colado, éstas se deberán de ubicar preferentemente coincidiendo con las juntas de construcción, si no es posible, esta junta se recomienda colocarla en el tercio medio de la placa de concreto.

Las juntas longitudinales de contracción, estas juntas se construyen cuando se trata de losas que abarcan dos o más carriles, se deberán de cortar de manera similar a las juntas de contracción.

Las juntas longitudinales de construcción, son las juntas que delimitan las placas de concreto en su construcción, dentro de este concepto de encuentran barras de anclaje las cuales como su nombre lo indica funcionan como anclas de las losas de concreto.

En la imagen 4.10 e imagen 4.11, se presentan las tablas que especifican la colocación de las juntas en las losas de concreto, para nuestro caso específico, utilizaremos la tabla de la imagen 4.10, ya que en nuestro diseño no consideramos pasajuntas, entramos a dicha tabla con el espesor de la losa que es de 15 cm, y obtenemos en espaciamiento entre las juntas de 360 cm (3.60 m), realizando los cortes para las juntas con una profundidad de 5.00 cm, y un ancho de 0.50 cm.

Espesor de losa (cm)	1	2	3	4
	Espaciamiento entre juntas (cm)	Profundidad de corte de juntas (cm)	Profundidad del material de sellado (cm)	Ancho del corte para la junta (cm)
15	360	5.00	1.00	0.50
16	384	5.33	1.07	0.53
17	408	5.67	1.13	0.57
18	432	6.00	1.20	0.60
19	456	6.33	1.27	0.63
20	480	6.67	1.33	0.67
21	504	7.00	1.40	0.70
22	528	7.33	1.47	0.73
23	552	7.67	1.53	0.77
24	576	8.00	1.60	0.80
25	600	8.33	1.67	0.83
26	624	8.67	1.73	0.87
27	648	9.00	1.80	0.90
28	672	9.33	1.87	0.93
29	696	9.67	1.93	0.97
30	720	10.00	2.00	1.00
31	744	10.33	2.07	1.03
32	768	10.67	2.13	1.07
33	792	11.00	2.20	1.10
34	816	11.33	2.27	1.13
35	840	11.67	2.33	1.17

Imagen 4.10.- Resumen de especificaciones para colocación de juntas.

Fuente: MCDP; 2002; 99.

Espesor de losa (cm)	1	2	3	4	5
	Diámetro de Dovelas cm (plg)	Largo de Dovelas (cm)	Diámetro comercial de dovela (plg)	Profundidad de dovelas (cm)	Separación entre dovelas (cm)
15	1.88 (0.74)	28	3/4	7.50	30.00
16	2.01 (0.79)	29	3/4	8.00	30.00
17	2.13 (0.84)	31	7/8	8.50	30.00
18	2.26 (0.89)	32	7/8	9.00	30.00
19	2.39 (0.94)	34	1	9.50	30.00
20	2.49 (0.98)	35	1	10.00	30.00
21	2.62 (1.03)	37	1	10.50	30.00
22	2.74(1.08)	38	1 1/8	11.00	30.00
23	2.87 (1.13)	40	1 1/8	11.50	30.00
24	3.00 (1.18)	41	1 1/8	12.00	30.00
25	3.12 (1.23)	43	1 1/4	12.50	30.00
26	3.25 (1.28)	44	1 1/4	13.00	30.00
27	3.38 (1.33)	46	1 3/8	13.50	30.00
28	3.51(1.38)	47	1 3/8	14.00	30.00
29	3.63 (1.43)	49	1 3/8	14.50	30.00
30	3.76 (1.48)	50	1 1/2	15.00	30.00
31	3.89 (1.53)	52	1 1/2	15.50	30.00
32	3.99 (1.57)	53	1 1/2	16.00	30.00
33	4.11 (1.62)	55	1 5/8	16.50	30.00
34	4.24 (1.67)	56	1 5/8	17.00	30.00
35	4.37 (1.72)	58	1 3/4	17.50	30.00

Imagen 4.11.- Resumen de especificaciones para colocación de pasajuntas.

Fuente: MCDP; 2002; 100.

CONCLUSIÓN.

Dentro de la presente tesis se ha diseñado la estructura de pavimento rígido del fraccionamiento Campestre Zumpimito Segunda Etapa, mediante el uso y comprensión 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, la cual propone la sección de pavimento siguiente:

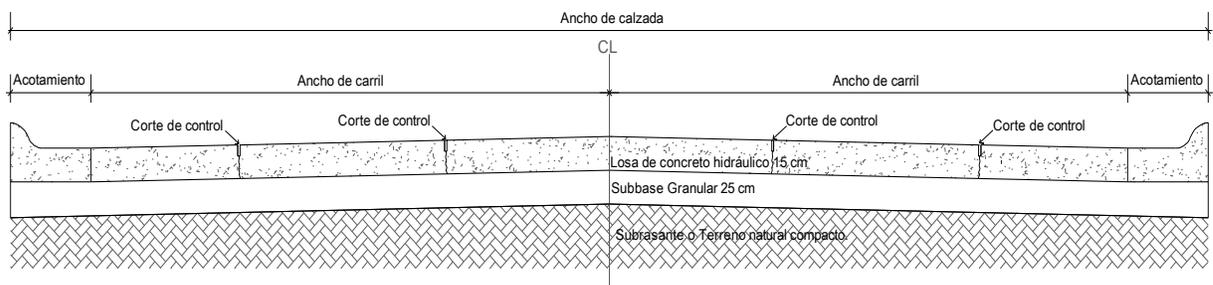


Imagen 1.- Estructura de diseño.

Fuente: Elaboración propia.

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 elastomericos, así como se

contemplan acotamientos 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 subbase con espesor de 25 cm compactos, dicha subbase deberá de cumplir con las especificaciones de la normativa SCT y en específico de la norma N-CMT-4-02-001-11, en la cual entre otras cosas especifica lo siguiente:

Característica	Valor %	
	$\Sigma L \leq 10^6$ [1]	$\Sigma L > 10^6$ [1]
Límite líquido ^[2] , máximo	30	25
Índice plástico ^[2] , máximo ¹	10	6
Valor Soporte de California (CBR) ^[2, 3] , mínimo	50	60
Equivalente de arena ^[2] , mínimo	30	40
Desgaste Los Ángeles ^[2] , máximo	50	40
Grado de compactación ^[2, 4] , mínimo	100	100

Imagen 2.- Especificación de calidad para subbase.

Fuente: Norma SCT N-CMT-4-02-001/11; 2011; 4.

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 conforme 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 mencionó los principales métodos de diseño para los pavimentos rígidos, siendo estos los de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y el 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.

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

Pavimentos de concreto para carreteras.

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C.

Coronado Iturbide, Jorge. (2002).

Manual Centroamericano para diseño de pavimentos.

Secretaría de Integración Económica Centroamericana.

Juárez Badillo Eulalio. (2004).

Mecánica de Suelos tomo 1.

Ed. Limusa. México.

Juárez Badillo Eulalio. (2004).

Mecánica de Suelos tomo 2.

Ed. Limusa. México.

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.

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.

García Rivero, José Luis. (2008).

Manual técnico de construcción, Holcim APASCO.

Ed. Fernando Porrúa.

Concretos CEMEX. (2003).

Manual del constructor, CEMEX.

Concretos CEMEX.

Mier Suárez, José Alfonso. (1987).

Introducción a la Ingeniería de Caminos.

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.

Zarate Aquino, Manuel. (2007).

Diseño de pavimentos flexibles, primera parte.

Asociación Mexicana del Asfalto A.C.

Zarate Aquino, Manuel. (2007).

Diseño de pavimentos flexibles, segunda parte.

Asociación Mexicana del Asfalto A.C.

Tamayo y Tamayo, Mario. (2003).

El proceso de la investigación científica.

Ed. Limusa. México.

Hernández Sampieri, Roberto y Cols (1991).

Metodología de la investigación.

Ed. McGRAW-HILL. México.

OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN.

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

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

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

ANEXO 1

TABLAS DE CONCENTRADO DE LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS.

(Proporcionados por la empresa ISDECON)

TABLA 1. CONCENTRADO DE RESULTADOS DE SONDEO REALIZADO PARA EL ESTUDIO GEOTÉCNICO DE VÍAS TERRESTRES.

PRUEBAS REALIZADAS.	SONDEO UNO	
	Estrato 2	-
Profundidad del estrato (m).	De 0.30 a 2.10	-
Descripción Ocular.	Material fino de tipo limoso color café rojizo y consistencia suave.	-
Nivel de aguas freáticas.	No	-
	GRANULOMETRÍA	
Peso volumétrico seco suelto. (ton/m ³)	0.571	-
% Sobretamaños >7,5 cm (3")	0.00	-
% Gravas, Pasa 5,08 cm (2") y retenido en 4,76 cm (Malla No. 4)	0.00	-
% Arenas, Pasa 4,76 cm (Malla No.4) y retenido en 0,0074 cm (Malla No. 200)	20.70	-
% Finos. Pasa 0,0074 cm. (Malla No. 200)	79.30	-
Clasificación granulométrica	Material fino, aparentemente limo	-
	LÍMITES DE CONSISTENCIA	
Humedad natural (%)	99.20	-
Límite líquido (%)	57.52	-
Límite plástico (%)	48.46	-
Índice plástico (%)	9.06	-
Contracción lineal (%)	2.35	-
Clasificación límites.	MH	-
Clasificación SUCS.	(MH) Limo Inorgánico de Alta Compresibilidad	-
	VALOR RELATIVO DE SOPORTE	
Valor relativo de soporte, seco. (%)	27.86	-
Valor relativo de soporte, saturado 24 hrs. (%)	16.99	-
Expansión (%)	2.00	-
	AASHTO ESTANDAR	
Peso volumétrico seco máximo (kg/m ³).	1050.00	-
Humedad óptima de compactación (%)	31.00	-

TABLA 2. CONCENTRADO DE RESULTADOS DE SONDEO REALIZADO PARA EL ESTUDIO GEOTÉCNICO DE VÍAS TERRESTRES.

PRUEBAS REALIZADAS.	SONDEO DOS	
	Estrato 2	-
Profundidad del estrato (m).	DE 0.30 A 2.30	-
Descripción Ocular.	Material fino de tipo limoso color café rojizo y consistencia suave.	-
Nivel de aguas freáticas.	No	-
	GRANULOMETRÍA	
Peso volumétrico seco suelto. (ton/m ³)	0.695	-
% Sobretamaños >7,5 cm (3")	0.00	-
% Gravas, Pasa 5,08 cm (2") y retenido en 4,76 cm (Malla No. 4)	0.00	-
% Arenas, Pasa 4,76 cm (Malla No.4) y retenido en 0,0074 cm (Malla No. 200)	4.40	-
% Finos. Pasa 0,0074 cm. (Malla No. 200)	95.60	-
Clasificación granulométrica	Material Fino, Aparentemente limo	-
	LIMITES DE CONSISTENCIA	
Humedad natural (%)	103.25	-
Límite líquido (%)	69.00	-
Límite plástico (%)	50.00	-
Índice plástico (%)	19.00	-
Contracción lineal (%)	2.00	-
Clasificación límites.	MH	-
Clasificación SUCS.	(MH) Limo Inorgánico de Alta Compresibilidad	-
	VALOR RELATIVO DE SOPORTE	
Valor relativo de soporte, seco. (%)	29.22	-
Valor relativo de soporte, saturado 24 hrs. (%)	14.05	-
Expansión (%)	2.08	-
	AASHTO ESTANDAR	
Peso volumétrico seco máximo (kg/m ³).	1100.00	-
Humedad óptima de compactación (%)	30,00	-

TABLA 3. CONCENTRADO DE RESULTADOS DE SONDEO REALIZADO PARA EL ESTUDIO GEOTÉCNICO DE VÍAS TERRESTRES.

PRUEBAS REALIZADAS.	SONDEO TRES	
	Estrato 2	Estrato 3
Profundidad del estrato (m).	DE 0,30 A 2,30	DE 2,30 A 2,60
Descripción Ocular.	Material fino de tipo limoso color café rojizo y consistencia suave.	Material fino de tipo limoso color café oscuro y consistencia suave.
Nivel de aguas freáticas.	No	No
	GRANULOMETRÍA	
Peso volumétrico seco suelto. (ton/m ³)	0.611	0.765
% Sobretamaños >7,5 cm (3")	0.00	0.00
% Gravas, Pasa 5,08 cm (2") y retenido en 4,76 cm (Malla No. 4)	0.00	0.00
% Arenas, Pasa 4,76 cm (Malla No.4) y retenido en 0,0074 cm (Malla No. 200)	3.90	30.10
% Finos. Pasa 0,0074 cm. (Malla No. 200)	96.10	69.90
Clasificación granulométrica	Material Fino, Aparentemente limo	Material Fino, Aparentemente limo
	LÍMITES DE CONSISTENCIA	
Humedad natural (%)	101.82	95.40
Límite líquido (%)	58,50	53.00
Límite plástico (%)	46.25	43.20
Índice plástico (%)	12.25	9.80
Contracción lineal (%)	3.02	4.30
Clasificación límites.	MH	MH
Clasificación SUCS.	(MH) Limo Inorgánico de Alta Compresibilidad	(MH) Limo Inorgánico de Alta Compresibilidad
	VALOR RELATIVO DE SOPORTE	
Valor relativo de soporte, seco. (%)	28.50	-
Valor relativo de soporte, saturado 24 hrs. (%)	12.60	-
Expansión (%)	1.50	-
	AASHTO ESTANDAR	
Peso volumétrico seco máximo (kg/m ³).	1060.00	-
Humedad óptima de compactación (%)	33.00	-

TABLA 4. CONCENTRADO DE RESULTADOS DE SONDEO REALIZADO PARA EL ESTUDIO GEOTÉCNICO DE VÍAS TERRESTRES.

PRUEBAS REALIZADAS.	SONDEO CUATRO	
	Estrato 2	Estrato 3
Profundidad del estrato (m).	DE 0.30 A 2.50	DE 2.50 A 3.10
Descripción Ocular.	Material fino de tipo limoso color café rojizo y consistencia suave.	Material fino de tipo limoso color café oscuro y consistencia suave.
Nivel de aguas freáticas.	No	No
	GRANULOMETRÍA	
Peso volumétrico seco suelto. (ton/m ³)	0.760	0.735
% Sobretamaños >7,5 cm (3")	0.00	0.00
% Gravas, Pasa 5,08 cm (2") y retenido en 4,76 cm (Malla No. 4)	0.00	0.00
% Arenas, Pasa 4,76 cm (Malla No.4) y retenido en 0,0074 cm (Malla No. 200)	5.20	27.50
% Finos. Pasa 0,0074 cm. (Malla No. 200)	94.80	72.50
Clasificación granulométrica	Material Fino, Aparentemente limo	Material Fino, Aparentemente limo
	LÍMITES DE CONSISTENCIA	
Humedad natural (%)	100.20	90.45
Límite líquido (%)	62.30	52.20
Límite plástico (%)	54.28	44.58
Índice plástico (%)	8.02	7.62
Contracción lineal (%)	2.05	3.40
Clasificación límites.	MH	MH
	(MH)	(MH)
Clasificación SUCS.	Limo Inorgánico de Alta Compresibilidad	Limo Inorgánico de Alta Compresibilidad
	VALOR RELATIVO DE SOPORTE	
Valor relativo de soporte, seco. (%)	29.90	-
Valor relativo de soporte, saturado 24 hrs. (%)	16.32	-
Expansión (%)	1.02	-
	AASHTO ESTANDAR	
Peso volumétrico seco máximo (kg/m ³).	1040.00	-
Humedad óptima de compactación (%)	22.00	-

TABLA 5. CONCENTRADO DE RESULTADOS DE SONDEO REALIZADO PARA EL ESTUDIO GEOTÉCNICO DE VÍAS TERRESTRES.

PRUEBAS REALIZADAS.	SONDEO CINCO	
	Estrato 2	Estrato 3
Profundidad del estrato (m).	DE 0.30 A 2.60	DE 2.60 A 3.20
Descripción Ocular.	Material fino de tipo limoso color café rojizo y consistencia suave.	Material fino de tipo limoso color café oscuro y consistencia suave.
Nivel de aguas freáticas.	No	No
	GRANULOMETRÍA	
Peso volumétrico seco suelto. (ton/m ³)	0.618	0.710
% Sobretamaños >7,5 cm (3")	0.00	0.00
% Gravas, Pasa 5,08 cm (2") y retenido en 4,76 cm (Malla No. 4)	0.00	0.00
% Arenas, Pasa 4,76 cm (Malla No.4) y retenido en 0,0074 cm (Malla No. 200)	5.50	24.80
% Finos. Pasa 0,0074 cm. (Malla No. 200)	94.50	75.20
Clasificación granulométrica	Material Fino, Aparentemente limo	Material Fino, Aparentemente limo
	LIMITES DE CONSISTENCIA	
Humedad natural (%)	114.13	102.21
Límite líquido (%)	60.30	55.23
Límite plástico (%)	51.65	45.97
Índice plástico (%)	8.65	9.26
Contracción lineal (%)	3.02	4.50
Clasificación límites.	MH	MH
	(MH)	(MH)
Clasificación SUCS.	Limo Inorgánico de Alta Compresibilidad	Limo Inorgánico de Alta Compresibilidad
	VALOR RELATIVO DE SOPORTE	
Valor relativo de soporte, seco. (%)	29.00	-
Valor relativo de soporte, saturado 24 hrs. (%)	15.86	-
Expansión (%)	2.78	-
	AASHTO ESTANDAR	
Peso volumétrico seco máximo (kg/m ³).	1038.00	-
Humedad óptima de compactación (%)	27.00	-

TABLA 6. CONCENTRADO DE RESULTADOS DE SONDEO REALIZADO PARA EL ESTUDIO GEOTÉCNICO DE VÍAS TERRESTRES.

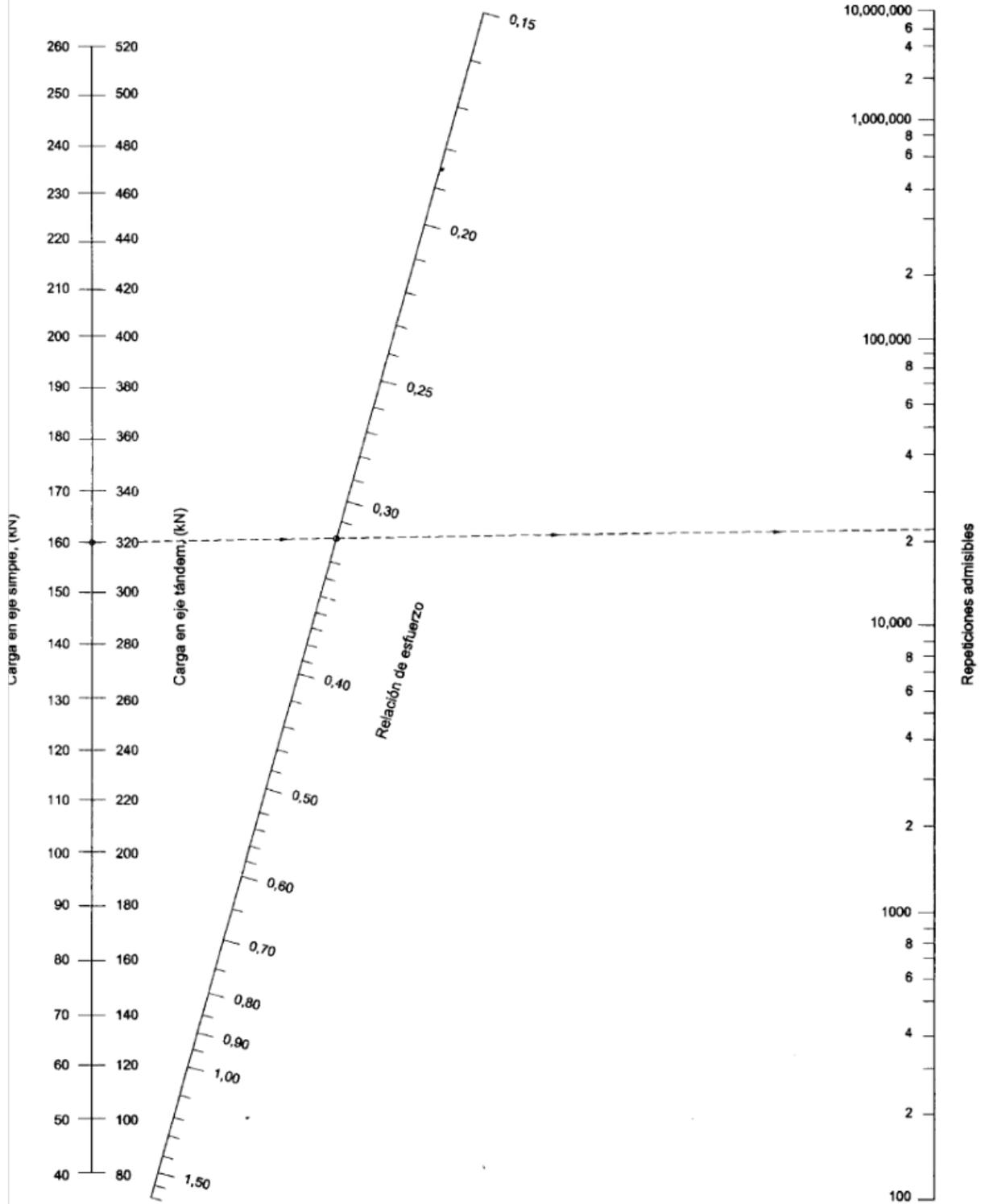
PRUEBAS REALIZADAS.	SONDEO SEIS	
	Estrato 2	Estrato 3
Profundidad del estrato (m).	DE 0.30 A 2.80	DE 2.80 A 3.20
Descripción Ocular.	Material fino de tipo limoso color café rojizo y consistencia suave.	Material fino de tipo limoso color café oscuro y consistencia suave.
Nivel de aguas freáticas.	No	No
	GRANULOMETRÍA	
Peso volumétrico seco suelto. (ton/m ³)	0.639	0.724
% Sobretamaños >7,5 cm (3")	0.00	0.00
% Gravas, Pasa 5,08 cm (2") y retenido en 4,76 cm (Malla No. 4)	0.00	0.00
% Arenas, Pasa 4,76 cm (Malla No.4) y retenido en 0,0074 cm (Malla No. 200)	4.90	28.30
% Finos. Pasa 0,0074 cm. (Malla No. 200)	95.10	71.70
Clasificación granulométrica	Material Fino, Aparentemente limo	Material Fino, Aparentemente limo
	LIMITES DE CONSISTENCIA	
Humedad natural (%)	105.34	104.12
Límite líquido (%)	61.20	57.23
Límite plástico (%)	52.38	45.34
Índice plástico (%)	8.82	12.00
Contracción lineal (%)	2.39	4.23
Clasificación límites.	MH	MH
Clasificación SUCS.	(MH) Limo Inorgánico de Alta Compresibilidad	(MH) Limo Inorgánico de Alta Compresibilidad
	VALOR RELATIVO DE SOPORTE	
Valor relativo de soporte, seco. (%)	32.40	-
Valor relativo de soporte, saturado 24 hrs. (%)	18.81	-
Expansión (%)	2.00	-
	AASHTO ESTANDAR	
Peso volumétrico seco máximo (kg/m ³).	1070.00	-
Humedad óptima de compactación (%)	28.00	-

ANEXO 2

TABLAS Y GRÁFICAS ADICIONALES PARA DISEÑOS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS.

(Manual centroamericano del diseño de pavimentos)

Análisis de fatiga. Repeticiones admisibles en función de la relación de esfuerzos en pavimentos con y sin hombros de concreto



**Esfuerzo equivalente pavimento sin hombros de concreto hidráulico
(eje sencillo)**

Eje sencillo						
Espesor de losa (mm)	k del conjunto subrasante / subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	5.42	4.75	4.38	4.13	3.66	3.45
110	4.74	4.16	3.85	3.63	3.23	3.06
120	4.19	3.69	3.41	3.23	2.88	2.73
130	3.75	3.30	3.06	2.89	2.59	2.46
140	3.37	2.97	2.76	2.61	2.34	2.23
150	3.06	2.70	2.51	2.37	2.13	2.03
160	2.79	2.47	2.29	2.17	1.95	1.86
170	2.56	2.26	2.10	1.99	1.80	1.71
180	2.37	2.09	1.94	1.84	1.66	1.58
190	2.19	1.94	1.80	1.71	1.54	1.47
200	2.04	1.80	1.67	1.59	1.43	1.37
210	1.91	1.68	1.56	1.48	1.34	1.28
220	1.79	1.57	1.46	1.39	1.26	1.20
230	1.68	1.48	1.38	1.31	1.18	1.13
240	1.58	1.39	1.30	1.23	1.11	1.03
250	1.49	1.32	1.22	1.16	1.05	1.00
260	1.41	1.25	1.16	1.10	0.99	0.95
270	1.34	1.18	1.10	1.04	0.94	0.90
280	1.28	1.12	1.04	0.99	0.89	0.86
290	1.22	1.07	0.99	0.94	0.85	0.81
300	1.16	1.02	0.95	0.90	0.81	0.78
310	1.11	0.97	0.90	0.86	0.77	0.74
320	1.06	0.93	0.86	0.82	0.74	0.71
330	1.02	0.89	0.83	0.78	0.71	0.68
340	0.98	0.85	0.79	0.75	0.68	0.65
350	0.94	0.82	0.76	0.72	0.65	0.62

**Esfuerzo equivalente pavimento sin hombros de concreto hidráulicos
(eje tándem)**

Eje Tándem						
Espesor de losa (mm)	k del conjunto subrasante / subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	4.39	3.83	3.59	3.44	3.22	3.15
110	3.88	3.35	3.12	2.97	2.76	2.68
120	3.47	2.98	2.75	2.62	2.40	2.33
130	3.14	2.68	2.46	2.33	2.13	2.05
140	2.87	2.43	2.23	2.10	1.90	1.83
150	2.64	2.23	2.04	1.92	1.72	1.65
160	2.45	2.03	1.87	1.76	1.57	1.50
170	2.28	1.91	1.74	1.63	1.45	1.38
180	2.14	1.79	1.62	1.51	1.34	1.27
190	2.01	1.67	1.51	1.41	1.25	1.18
200	1.90	1.58	1.42	1.33	1.17	1.11
210	1.79	1.49	1.34	1.25	1.10	1.04
220	1.70	1.41	1.27	1.18	1.03	0.98
230	1.62	1.34	1.21	1.12	0.98	0.92
240	1.55	1.28	1.15	1.06	0.93	0.87
250	1.48	1.22	1.09	1.01	0.88	0.83
260	1.41	1.17	1.05	0.97	0.84	0.79
270	1.36	1.12	1.00	0.93	0.80	0.75
280	1.30	1.07	0.96	0.89	0.77	0.72
290	1.25	1.03	0.92	0.85	0.74	0.69
300	1.21	0.99	0.89	0.82	0.71	0.66
310	1.16	0.96	0.86	0.79	0.68	0.64
320	1.12	0.92	0.83	0.76	0.66	0.62
330	1.09	0.89	0.80	0.74	0.63	0.59
340	1.05	0.86	0.77	0.71	0.61	0.57
350	1.02	0.84	0.75	0.69	0.59	0.55

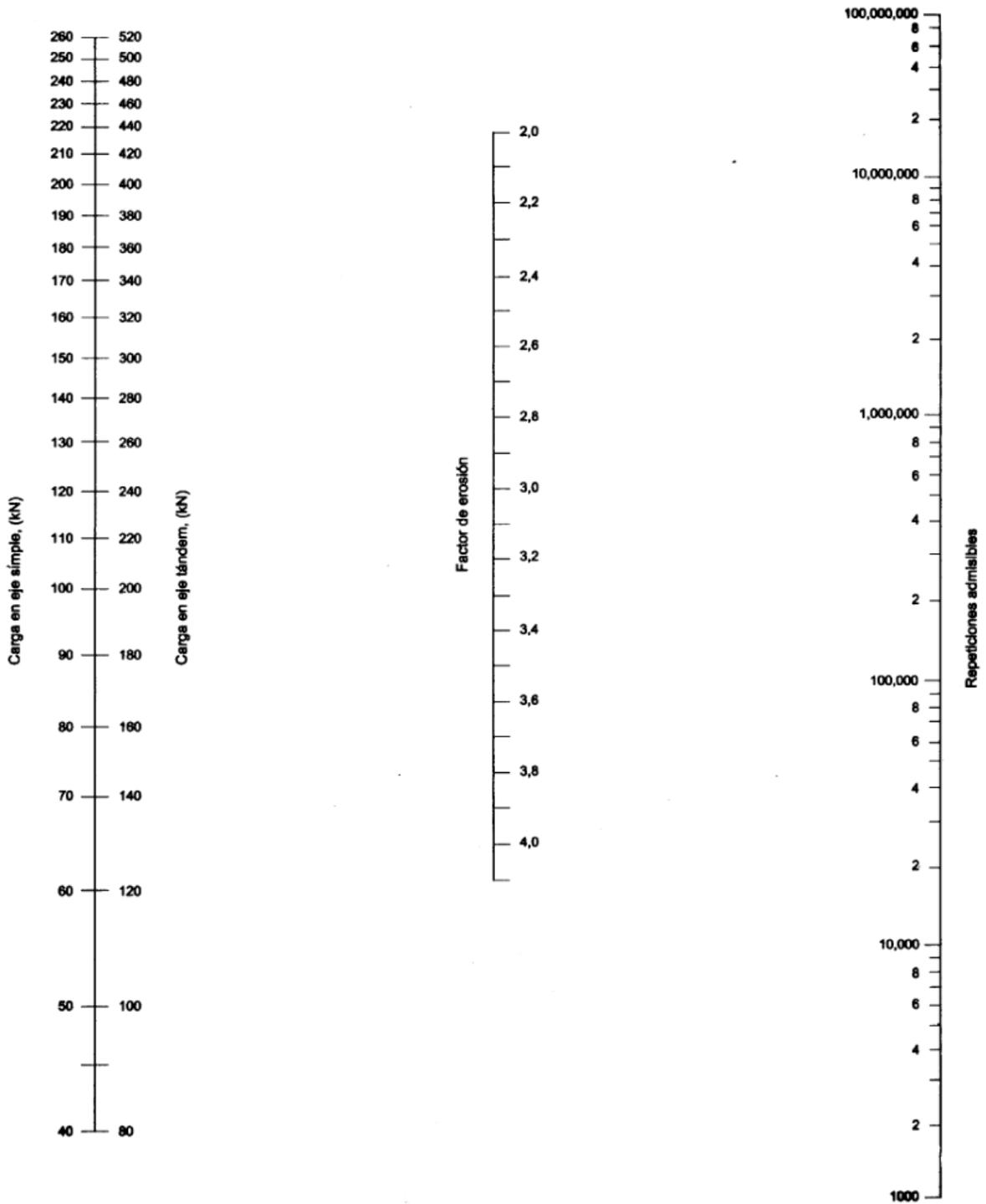
**Esfuerzo equivalente pavimento con hombros de concreto hidráulico
(eje sencillo)**

Eje sencillo						
Espesor de losa (mm)	k del conjunto subrasante / subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	4.18	3.65	3.37	3.19	2.85	2.72
110	3.68	3.23	2.99	2.83	2.55	2.43
120	3.28	2.88	2.67	2.54	2.29	2.19
130	2.95	2.60	2.41	2.29	2.07	1.99
140	2.68	2.36	2.19	2.08	1.89	1.81
150	2.44	2.15	2.00	1.90	1.73	1.66
160	2.24	1.97	1.84	1.75	1.59	1.53
170	2.06	1.82	1.70	1.62	1.48	1.42
180	1.91	1.69	1.57	1.50	1.37	1.32
190	1.77	1.57	1.46	1.40	1.28	1.23
200	1.65	1.46	1.37	1.30	1.19	1.15
210	1.55	1.37	1.28	1.22	1.12	1.08
220	1.45	1.29	1.20	1.15	1.05	1.01
230	1.37	1.21	1.13	1.08	0.99	0.96
240	1.29	1.15	1.07	1.02	0.94	0.90
250	1.22	1.08	1.01	0.97	0.89	0.86
260	1.16	1.03	0.96	0.92	0.84	0.81
270	1.10	0.98	0.91	0.87	0.80	0.77
280	1.05	0.93	0.87	0.83	0.76	0.74
290	1.00	0.89	0.83	0.79	0.73	0.70
300	0.95	0.85	0.79	0.76	0.70	0.67
310	0.91	0.81	0.76	0.72	0.67	0.64
320	0.87	0.78	0.73	0.69	0.64	0.62
330	0.84	0.74	0.70	0.67	0.61	0.59
340	0.80	0.71	0.67	0.64	0.59	0.57
350	0.77	0.69	0.64	0.61	0.57	0.55

**Esfuerzo equivalente pavimento con hombros de concreto hidráulico
(eje tándem)**

Eje tándem						
Espesor de losa (mm)	k del conjunto subrasante / subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	3.48	3.10	2.94	2.85	2.74	2.72
110	3.07	2.71	2.56	2.47	2.35	2.32
120	2.75	2.41	2.26	2.17	2.05	2.02
130	2.49	2.17	2.02	1.94	1.82	1.78
140	2.27	1.97	1.83	1.75	1.63	1.59
150	2.08	1.80	1.67	1.59	1.48	1.44
160	1.93	1.66	1.53	1.46	1.35	1.31
170	1.79	1.54	1.42	1.35	1.24	1.20
180	1.67	1.43	1.32	1.25	1.15	1.11
190	1.57	1.34	1.23	1.17	1.07	1.03
200	1.48	1.26	1.16	1.10	1.00	0.96
210	1.40	1.19	1.09	1.03	0.93	0.90
220	1.32	1.12	1.03	0.97	0.88	0.85
230	1.26	1.07	0.98	0.92	0.83	0.80
240	1.20	1.01	0.93	0.87	0.79	0.76
250	1.14	0.97	0.88	0.83	0.75	0.72
260	1.09	0.92	0.84	0.79	0.71	0.68
270	1.04	0.88	0.81	0.76	0.68	0.65
280	1.00	0.85	0.77	0.73	0.65	0.62
290	0.96	0.81	0.74	0.70	0.62	0.60
300	0.93	0.78	0.71	0.67	0.60	0.57
310	0.89	0.75	0.69	0.64	0.58	0.55
320	0.86	0.73	0.66	0.62	0.55	0.53
330	0.83	0.70	0.64	0.60	0.53	0.51
340	0.80	0.68	0.62	0.58	0.52	0.49
350	0.78	0.66	0.60	0.56	0.50	0.47

Análisis de erosión, sin hombros de concreto. Repeticiones admisibles en función del factor de pavimentos sin hombros de concreto hidráulico



Factor de erosión para ejes sencillos. Pavimentos de concreto hidráulico con dovelas y sin hombros de concreto Hidráulico

Eje sencillo						
Espesor de losa (mm)	k del conjunto subrasante / subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	3.76	3.75	3.74	3.74	3.72	3.70
110	3.63	3.62	3.61	3.61	3.59	3.58
120	3.52	3.50	3.49	3.49	3.47	3.46
130	3.41	3.39	3.39	3.38	3.37	3.35
140	3.31	3.30	3.29	3.28	3.27	3.26
150	3.22	3.21	3.20	3.19	3.17	3.16
160	3.14	3.12	3.11	3.10	3.09	3.08
170	3.06	3.04	3.03	3.02	3.01	3.00
180	2.99	2.97	2.96	2.95	2.93	2.92
190	2.92	2.90	2.88	2.88	2.86	2.85
200	2.85	2.83	2.82	2.81	2.79	2.78
210	2.79	2.77	2.75	2.75	2.73	2.72
220	2.73	2.71	2.69	2.69	2.67	2.66
230	2.67	2.65	2.64	2.63	2.61	2.60
240	2.62	2.60	2.58	2.57	2.55	2.54
250	2.57	2.54	2.53	2.52	2.50	2.49
260	2.52	2.49	2.48	2.47	2.45	2.44
270	2.47	2.44	2.43	2.42	2.40	2.39
280	2.42	2.40	2.38	2.37	2.35	2.34
290	2.38	2.35	2.34	2.33	2.31	2.30
300	2.34	2.31	2.30	2.29	2.26	2.26
310	2.29	2.27	2.25	2.24	2.22	2.21
320	2.25	2.23	2.21	2.20	2.18	2.17
330	2.21	2.19	2.17	2.16	2.14	2.13
340	2.18	2.15	2.14	2.12	2.10	2.09
350	2.14	2.11	2.10	2.09	2.07	2.06

Factor de erosión para ejes Tándem. Pavimentos de concreto hidráulico con dovelas y sin hombros de concreto hidráulico

Eje tándem						
Espesor de losa (mm)	k del conjunto subrasante / subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	3.83	3.79	3.77	3.76	3.72	3.70
110	3.71	3.67	3.65	3.63	3.60	3.58
120	3.61	3.56	3.54	3.52	3.49	3.47
130	3.52	3.47	3.44	3.43	3.39	3.37
140	3.43	3.38	3.35	3.33	3.30	3.28
150	3.36	3.30	3.27	3.25	3.21	3.19
160	3.28	3.22	3.19	3.17	3.13	3.12
170	3.22	3.15	3.12	3.10	3.06	3.04
180	3.16	3.09	3.06	3.03	2.99	2.97
190	3.10	3.03	2.99	2.97	2.93	2.91
200	3.05	2.97	2.94	2.91	2.87	2.85
210	2.99	2.92	2.88	2.86	2.81	2.79
220	2.95	2.87	2.83	2.80	2.76	2.73
230	2.90	2.82	2.78	2.75	2.70	2.68
240	2.86	2.78	2.73	2.71	2.66	2.63
250	2.82	2.73	2.69	2.66	2.61	2.59
260	2.78	2.69	2.65	2.62	2.56	2.54
270	2.74	2.65	2.61	2.58	2.52	2.50
280	2.71	2.62	2.57	2.54	2.48	2.46
290	2.67	2.58	2.53	2.50	2.44	2.42
300	2.64	2.55	2.50	2.46	2.41	2.38
310	2.61	2.51	2.46	2.43	2.37	2.34
320	2.58	2.48	2.43	2.40	2.33	2.31
330	2.55	2.45	2.40	2.36	2.30	2.28
340	2.52	2.42	2.37	2.33	2.27	2.24
350	2.49	2.39	2.34	2.30	2.24	2.21

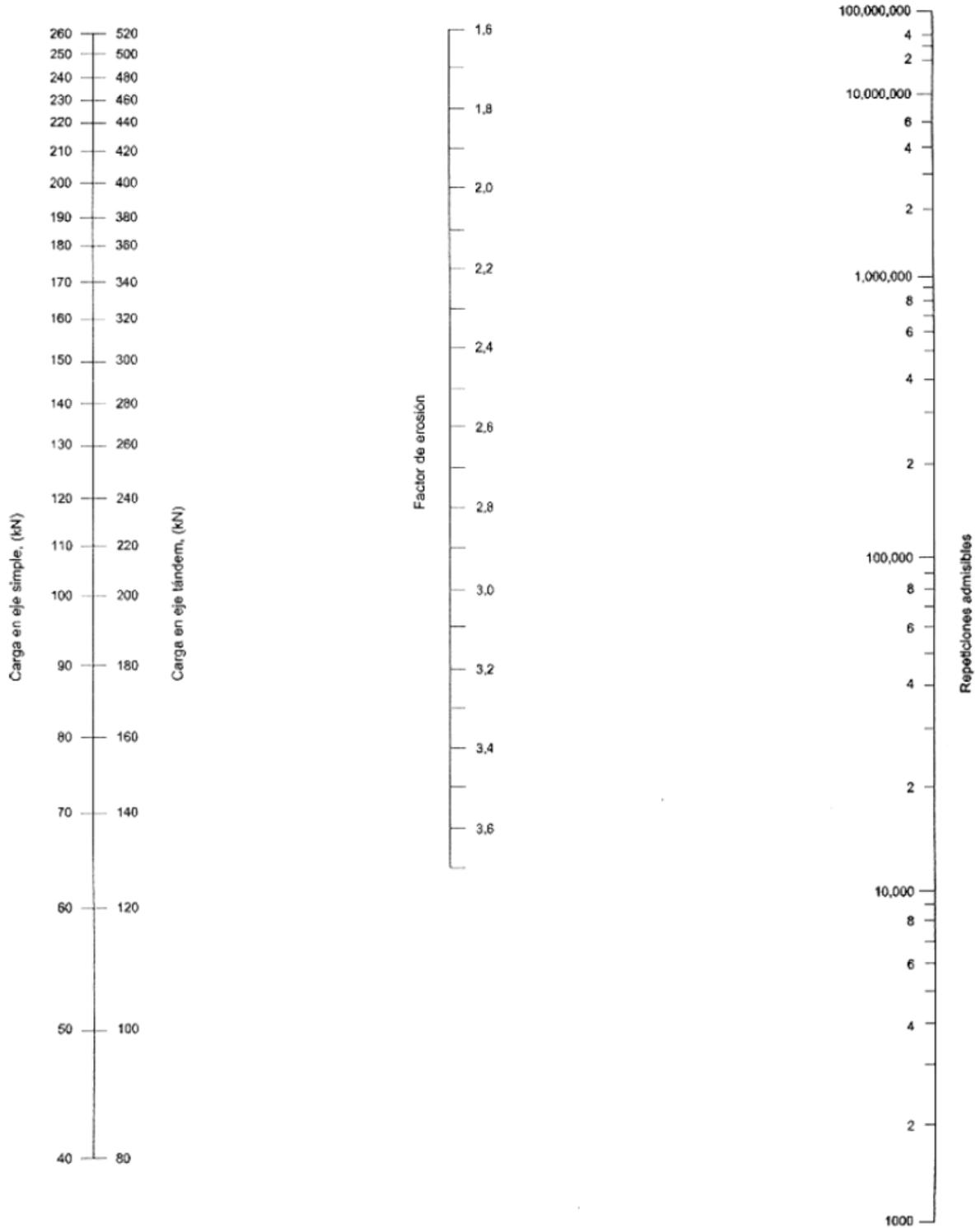
Factor de erosión para ejes sencillos. Pavimentos de concreto hidráulico sin dovelas y sin hombros de concreto hidráulico

Eje sencillo						
Espesor de losa (mm)	k del conjunto subrasante / subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	3.94	3.92	3.90	3.88	3.84	3.80
110	3.82	3.79	3.78	3.76	3.72	3.69
120	3.71	3.68	3.67	3.65	3.62	3.59
130	3.61	3.58	3.56	3.55	3.52	3.50
140	3.52	3.49	3.47	3.46	3.43	3.41
150	3.43	3.40	3.38	3.37	3.34	3.32
160	3.35	3.32	3.30	3.29	3.26	3.24
170	3.28	3.24	3.22	3.21	3.18	3.17
180	3.21	3.17	3.15	3.14	3.11	3.10
190	3.15	3.11	3.08	3.07	3.04	3.03
200	3.09	3.04	3.02	3.01	2.98	2.96
210	3.04	2.99	2.96	2.95	2.92	2.90
220	2.98	2.93	2.90	2.89	2.86	2.85
230	2.93	2.88	2.85	2.83	2.80	2.79
240	2.89	2.83	2.80	2.78	2.75	2.74
250	2.84	2.78	2.75	2.73	2.70	2.69
260	2.80	2.73	2.70	2.69	2.65	2.64
270	2.76	2.69	2.66	2.64	2.61	2.59
280	2.72	2.65	2.62	2.60	2.56	2.55
290	2.68	2.61	2.58	2.56	2.52	2.50
300	2.65	2.57	2.54	2.52	2.48	2.46
310	2.61	2.54	2.50	2.48	2.44	2.42
320	2.58	2.50	2.47	2.44	2.40	2.38
330	2.55	2.47	2.43	2.41	2.36	2.35
340	2.52	2.44	2.40	2.37	2.33	2.31
350	2.49	2.41	2.37	2.34	2.29	2.28

Factor de erosión para ejes tándem. Pavimentos de concreto hidráulico sin dovelas y sin hombros de concreto hidráulico

Eje tándem						
Espesor de losa (mm)	k del conjunto subrasante / subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	4.00	3.93	3.90	3.88	3.84	3.82
110	3.90	3.82	3.79	3.76	3.72	3.70
120	3.81	3.73	3.69	3.66	3.62	3.59
130	3.73	3.65	3.60	3.57	3.52	3.49
140	3.66	3.57	3.52	3.49	3.43	3.41
150	3.59	3.50	3.45	3.42	3.36	3.33
160	3.53	3.42	3.38	3.35	3.28	3.26
170	3.48	3.37	3.32	3.28	3.22	3.19
180	3.42	3.32	3.26	3.23	3.16	3.13
190	3.37	3.27	3.21	3.17	3.10	3.07
200	3.33	3.22	3.16	3.12	3.05	3.01
210	3.28	3.17	3.11	3.07	3.00	2.96
220	3.24	3.13	3.07	3.03	2.95	2.92
230	3.20	3.09	3.03	2.98	2.91	2.87
240	3.16	3.05	2.99	2.94	2.86	2.83
250	3.13	3.01	2.95	2.91	2.82	2.79
260	3.09	2.98	2.91	2.87	2.79	2.75
270	3.06	2.94	2.88	2.83	2.75	2.71
280	3.03	2.91	2.84	2.80	2.71	2.68
290	3.00	2.88	2.81	2.77	2.68	2.64
300	2.97	2.85	2.78	2.74	2.65	2.61
310	2.94	2.82	2.75	2.71	2.62	2.58
320	2.91	2.79	2.72	2.68	2.59	2.55
330	2.89	2.77	2.70	2.65	2.56	2.52
340	2.86	2.74	2.67	2.62	2.53	2.49
350	2.84	2.71	2.65	2.60	2.51	2.47

Análisis de erosión, con hombros de concreto. Repeticiones admisibles en función del factor de pavimentos con hombros de concreto hidráulico



Factor de erosión para ejes sencillos. Pavimentos de concreto hidráulico con dovelas y con hombros de concreto hidráulico

Eje sencillo						
Espesor de losa (mm)	k del conjunto subrasante / subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	3.27	3.24	3.22	3.21	3.17	3.15
110	3.16	3.12	3.10	3.09	3.05	3.03
120	3.05	3.01	2.99	2.98	2.94	2.92
130	2.96	2.92	2.89	2.88	2.84	2.82
140	2.87	2.82	2.80	2.78	2.75	2.73
150	2.79	2.74	2.72	2.70	2.67	2.65
160	2.71	2.66	2.64	2.62	2.59	2.57
170	2.64	2.59	2.57	2.55	2.51	2.49
180	2.57	2.52	2.50	2.48	2.44	2.42
190	2.51	2.46	2.43	2.41	2.38	2.36
200	2.45	2.40	2.37	2.35	2.31	2.30
210	2.39	2.34	2.31	2.29	2.26	2.24
220	2.34	2.29	2.26	2.24	2.20	2.18
230	2.29	2.23	2.21	2.19	2.15	2.13
240	2.24	2.18	2.16	2.13	2.10	2.08
250	2.19	2.14	2.11	2.09	2.05	2.03
260	2.15	2.09	2.06	2.04	2.00	1.98
270	2.10	2.05	2.02	2.00	1.96	1.94
280	2.06	2.01	1.98	1.95	1.91	1.89
290	2.02	1.97	1.93	1.91	1.87	1.85
300	1.98	1.93	1.90	1.87	1.83	1.81
310	1.95	1.89	1.86	1.84	1.79	1.77
320	1.91	1.85	1.82	1.80	1.76	1.74
330	1.87	1.82	1.78	1.76	1.72	1.70
340	1.84	1.78	1.75	1.73	1.69	1.67
350	1.81	1.75	1.72	1.69	1.65	1.63

Factor de erosión para ejes tándem. Pavimentos de concreto hidráulico con dovelas y con hombros de concreto hidráulico

Eje tándem						
Espesor de losa (mm)	k del conjunto subrasante / subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	3.25	3.17	3.14	3.12	3.11	3.11
110	3.16	3.07	3.03	3.00	2.98	2.97
120	3.08	2.98	2.93	2.90	2.86	2.84
130	3.01	2.90	2.85	2.81	2.76	2.74
140	2.94	2.83	2.77	2.74	2.67	2.65
150	2.88	2.77	2.71	2.67	2.60	2.57
160	2.82	2.71	2.65	2.60	2.53	2.50
170	2.77	2.65	2.59	2.55	2.46	2.43
180	2.72	2.60	2.54	2.49	2.41	2.37
190	2.67	2.56	2.49	2.44	2.35	2.32
200	2.63	2.51	2.44	2.40	2.31	2.27
210	2.58	2.47	2.40	2.35	2.26	2.22
220	2.54	2.43	2.36	2.31	2.22	2.18
230	2.50	2.39	2.32	2.27	2.18	2.13
240	2.46	2.35	2.28	2.23	2.14	2.10
250	2.43	2.31	2.24	2.20	2.10	2.06
260	2.39	2.28	2.21	2.16	2.07	2.02
270	2.36	2.24	2.18	2.13	2.03	1.99
280	2.32	2.21	2.14	2.10	2.00	1.96
290	2.29	2.18	2.11	2.06	1.97	1.93
300	2.26	2.15	2.08	2.03	1.94	1.90
310	2.23	2.12	2.05	2.01	1.91	1.87
320	2.20	2.09	2.03	1.98	1.88	1.84
330	2.17	2.06	2.00	1.95	1.86	1.81
340	2.15	2.04	1.97	1.92	1.83	1.79
350	2.12	2.01	1.95	1.90	1.80	1.76

Factor de erosión para ejes sencillos. Pavimentos de concreto hidráulico sin dovelas y con hombros de concreto hidráulico

Espesor de losa (mm)	Eje sencillo					
	k del conjunto subrasante / subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	3.45	3.41	3.39	3.38	3.34	3.31
110	3.34	3.30	3.28	3.27	3.23	3.20
120	3.24	3.20	3.18	3.16	3.13	3.11
130	3.15	3.11	3.08	3.07	3.04	3.02
140	3.07	3.02	3.00	2.98	2.95	2.93
150	2.99	2.94	2.92	2.90	2.87	2.85
160	2.91	2.87	2.84	2.83	2.80	2.78
170	2.85	2.80	2.77	2.76	2.73	2.71
180	2.78	2.73	2.71	2.69	2.66	2.64
190	2.73	2.67	2.64	2.63	2.60	2.58
200	2.67	2.61	2.59	2.57	2.54	2.52
210	2.62	2.56	2.53	2.51	2.48	2.47
220	2.57	2.51	2.48	2.46	2.43	2.41
230	2.52	2.46	2.43	2.41	2.38	2.36
240	2.47	2.41	2.38	2.36	2.33	2.31
250	2.43	2.37	2.34	2.32	2.28	2.27
260	2.39	2.33	2.29	2.27	2.24	2.22
270	2.35	2.28	2.25	2.23	2.20	2.18
280	2.31	2.25	2.21	2.19	2.16	2.14
290	2.28	2.21	2.17	2.15	2.12	2.10
300	2.24	2.17	2.14	2.12	2.08	2.06
310	2.21	2.14	2.10	2.08	2.04	2.02
320	2.18	2.11	2.07	2.05	2.01	1.99
330	2.15	2.07	2.04	2.01	1.97	1.95
340	2.12	2.04	2.01	1.98	1.94	1.92
350	2.09	2.01	1.97	1.95	1.91	1.89

Factor de erosión para ejes tándem. Pavimentos de concreto hidráulico sin dovelas y con hombros de concreto Hidráulico

Eje tándem						
Espesor de losa (mm)	k del conjunto subrasante / subbase					
	20	40	60	80	140	180
100	3.45	3.36	3.33	3.31	3.28	3.27
110	3.36	3.27	3.22	3.20	3.16	3.15
120	3.28	3.18	3.13	3.11	3.06	3.04
130	3.21	3.11	3.05	3.02	2.97	2.95
140	3.15	3.01	2.98	2.95	2.89	2.86
150	3.09	2.98	2.92	2.88	2.82	2.79
160	3.04	2.92	2.86	2.82	2.75	2.72
170	2.99	2.87	2.81	2.77	2.69	2.66
180	2.94	2.82	2.76	2.71	2.64	2.61
190	2.90	2.77	2.71	2.67	2.59	2.55
200	2.86	2.73	2.67	2.62	2.54	2.51
210	2.82	2.69	2.63	2.58	2.50	2.46
220	2.78	2.66	2.59	2.54	2.46	2.42
230	2.75	2.62	2.55	2.50	2.42	2.38
240	2.72	2.59	2.52	2.47	2.38	2.34
250	2.69	2.55	2.48	2.43	2.35	2.31
260	2.66	2.52	2.45	2.40	2.31	2.27
270	2.63	2.49	2.42	2.37	2.28	2.24
280	2.60	2.47	2.39	2.34	2.25	2.21
290	2.58	2.44	2.37	2.32	2.22	2.18
300	2.55	2.41	2.34	2.29	2.19	2.15
310	2.53	2.39	2.31	2.26	2.17	2.13
320	2.50	2.36	2.29	2.24	2.14	2.10
330	2.48	2.34	2.27	2.21	2.12	2.07
340	2.46	2.32	2.24	2.19	2.09	2.05
350	2.44	2.30	2.22	2.17	2.07	2.03