



UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.

Incorporación No. 8727 – 15

a la Universidad Nacional Autónoma de México.

Escuela de Ingeniería Civil

PROPUESTA DE PAVIMENTACIÓN A BASE DE CONCRETO HIDRÁULICO EN ESTACIONAMIENTOS 4, 5 y ORIENTE DE LA UNIVERSIDAD DON VASCO A.C., EN LA CIUDAD DE URUAPAN, MICHOACÁN.

Tesis

que para obtener el título de

Ingeniero Civil

Presenta:

Carlos Alfredo Hernández Heredia

Asesor:

Ing. Guillermo Navarrete Calderón

Uruapan, Michoacán, a 30 de Noviembre de 2018.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres, pues gracias a ellos estoy aquí y siempre confiaron en mis capacidades y creyeron en mí; ustedes me dieron la oportunidad de estudiar una carrera y se los agradezco infinitamente.

Papá, gracias por todo lo que me has dado, nunca podré pagarte todo lo que has hecho por mí. Le agradezco a Dios tenerte en mi vida y sin ti no sería la persona que soy. Eres el mejor papá del mundo y de eso no me cabe ninguna duda. Gracias por todo lo que me has enseñado, por las pláticas, los consejos y los regaños, espero poder llegar a ser la mitad de la persona que eres. Y por si no te lo digo a menudo, te quiero papá.

Mamá, no tengo palabras para agradecerte el apoyo que me has dado siempre, el cariño y el amor que sólo una madre puede transmitir. No sé qué haría sin ti, me has enseñado muchas cosas y sobre todo a valorar las cosas. Gracias por impulsarme y creer en mí, espero convertirme en el hombre que esperas de mí. Eres la mejor mamá, te quiero.

Julia, gracias por todo el tiempo juntos y por el apoyo incondicional a lo largo de toda la carrera. Te agradezco toda la paciencia que me has tenido, así como el amor que me has demostrado siempre, debes saber que este logro no es solo mío sino de los dos, tú me impulsaste a lograr mis metas y siempre has confiado en mí. Estoy seguro de que podré contar contigo siempre y me hace feliz saberlo, eres lo mejor que me paso en esta vida y no puedo esperar a pasar todos los días que me quedan junto a ti.

Enano, gracias por escuchar mis quejas, mis pláticas, mis chistes y todas mis aventuras todo este tiempo. El mejor regalo que me dieron mis papás fuiste tú. Eres el mejor hermano y quiero que sepas que voy a estar ahí para lo que necesites, para defenderte sin dudarle en ningún momento, o para escuchar tus historias, aunque la mitad de ellas sean mentiras.

Agradezco también a mi familia, a mi bola Martha y a mi bolo Luis, a mi bola Carmen y a mi abuelo Enrique, que aunque no pudo verme terminar la carrera, siempre creyó en mí.

A mi tía Boris y mi tío Jorge, gracias por el apoyo y por recibirme todos los viernes de mi vida en su casa. Con ustedes he pasado los mejores momentos de mi vida y les estaré eternamente agradecido.

A mis primos: Jorge, Luis y Aurora, saben cuánto los quiero y cuanto los extraño. Con ustedes aprendí muchas cosas y son las personas con las que más recuerdos tengo y no los cambio por nada. Gracias por todos los momentos juntos. Los quiero.

Y finalmente a todos mis maestros, que fueron la clave en todo este viaje, y de cada uno de ellos me llevo valiosos conocimientos y experiencias, que me ayudarán a ser el ingeniero que quiero ser en la vida. A mi asesor, el ingeniero Guillermo Navarrete Calderón, por su apoyo en este proceso tan importante y por toda la ayuda que me proporciono durante este tiempo.

A todos, muchas gracias.

ÍNDICE.

Introducción.

Antecedentes.	1
Planteamiento del Problema.	2
Objetivo.	3
Pregunta de investigación.. . . .	3
Justificación.. . . .	3
Marco de referencia.	4

Capítulo 1.- Estructura de Pavimento

1.1.- Definición de pavimento.	7
1.2.- Tipos de pavimentos.. . . .	8
1.3.- Pavimento rígido.	9
1.3.1.- Concreto hidráulico.	10
1.3.1.1.-Cemento Portland.	10
1.3.1.2.- Agua.	11
1.3.1.3.- Agregado grueso.	11

1.3.1.4.- Agregado fino.	12
1.3.1.5.- Aditivos.	13
1.3.1.6.- Contenido de cemento.	17
1.3.1.7.- Relación de agua/cemento.	18
1.3.1.8.- Revenimiento.	18
1.3.1.9.- Resistencia del concreto hidráulico.	20
1.3.2.- Elementos que constituyen los pavimentos rígidos.	20
1.3.2.1.- Capa de subrasante.	21
1.3.2.2.- Capa de subbase.	22
1.3.2.3.- Losas de concreto hidráulico.	22
1.3.3.- Tipos y características de los pavimentos de concreto hidráulico.	24
1.3.4.- Agrietamiento del concreto hidráulico.	28
1.3.4.1.- Juntas de contracción.	29
1.3.4.2.- Juntas de dilatación.	30
1.3.4.3.- Juntas de construcción.	31

Capítulo 2.- Mecánica de suelos.

2.1.- Concepto de suelo.	34
2.1.1.- Agentes generadores.	35
2.1.2.- Suelos transportados y residuales.	36
2.1.3.- Fases del suelo.	39
2.2.- Clasificación de los suelos.	42
2.2.1- Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).	44
2.2.1.1.- Suelos gruesos.	45
2.2.1.2.- Suelos finos	48
2.3.- Pruebas de laboratorio enfocadas a vías terrestres.	50
2.3.1.- Muestreo de materiales.	51
2.3.2.- Composición granulométrica.	53
2.3.3.- Límites de consistencia.	54
2.3.4.- Valor Relativo de Soporte (VRS).	57
2.3.5.- Prueba de Placa.	58
2.3.6.- Prueba AASHTO.	61

Capítulo 3.- Resumen de macro y micro localización.

3.1.- Generalidades.	63
3.1.1.- Objetivos.	64
3.1.2.- Alcance del proyecto.	64
3.2. Resumen ejecutivo.	64
3.3. Entorno geográfico.	65
3.3.1. Macro y microlocalización.	65
3.3.2. Geología regional y de la zona de estudio.	71
3.3.3. Hidrología regional y de la zona de estudio.	72
3.3.4. Uso de suelo regional y de la zona de estudio.	73
3.4. Informe fotográfico.	74
3.5. Alternativas de solución.	88
3.6. Proceso de análisis.	88

Capítulo 4.- Metodología

4.1.- Método empleado.	90
4.1.1.- Método matemático	91

4.2.- Enfoque de investigación.	91
4.2.1. Alcance de la investigación.	92
4.3.- Diseño de la investigación.	92
4.4.- Instrumentos de recopilación de datos.	93
4.5.- Descripción del proceso de investigación.	94

Capítulo 5.- Análisis e interpretación de resultados.

5.1.- Métodos para el diseño de pavimentos.	95
5.2.- Método de la PCA.	96
5.2.1.- Elementos para el diseño de espesores, factores de diseño.	97
5.3.- Diseño de juntas.	117
Conclusión.	120
Bibliografía.	123

Anexos

INTRODUCCIÓN

Antecedentes.

A lo largo del tiempo, el hombre siempre ha buscado la manera de hacer su vida más simple y con mayor calidad, con esto, la búsqueda por mejorar la infraestructura que lo rodea lo ha llevado al mejoramiento de los caminos.

Los caminos son un medio vital de comunicación entre las sociedades, pues mediante ellos se llevan a cabo infinidad de actividades comerciales, trasladando materia de un sitio a otro, esto, con la finalidad de unir una sociedad con otras.

Con todo esto, el hombre comenzó a desarrollar métodos para tener caminos de calidad, buscando darle una capa de mejoramiento al suelo por la cual pudiese transitar de manera cómoda, dicha capa hoy en día se conoce como pavimento.

Según Gutiérrez (2003), la pavimentación es aquella superestructura relacionada con las vías terrestres que nos da la seguridad, comodidad y eficiencia con la que el proyecto se diseñó, para así transportarnos a través de ella.

Acerca de la pavimentación mediante concreto hidráulico o pavimentos rígidos, se encuentran en la biblioteca de la Universidad Don Vasco A.C., las siguientes investigaciones, la tesis Propuesta de Pavimento Rígido para las Vialidades del Fraccionamiento Campestre Zumpimito 2da. Etapa, en la Ciudad de Uruapan, Michoacán, por Joaquín Galván Sierra, cuyo objetivo era diseñar la estructura adecuada de pavimento rígido, llegando a la conclusión esperada, diseñando una estructura idónea para dicho fraccionamiento; también se encuentra

la tesis Diseño de la Estructura de Pavimento Rígido para el Boulevard Industrial del km 9+800 al 10+900 en la Ciudad de Uruapan, Michoacán., por Cristian Pérez Sepúlveda, cuyo objetivo diseñar la estructura de pavimento rígido en el tramo indicado, así como reducir las reparaciones que se le dan, llegando a la conclusión esperada, demostrando cuales son las reparaciones que se les debe dar al pavimento y por último se tiene la tesis Diseño de Pavimento Rígido para el Tramo Camino a Santa Rosa del Km 0+000 al 0+952 en la Ciudad de Uruapan, Michoacán, por Salvador Adame Ruíz, cuyo objetivo era el diseño del pavimento rígido en el tramo indicado, llegando a la conclusión esperada, diseñando una correcta estructuración del pavimento mediante el método Portland Cement Association (PCA).

Planteamiento del problema.

En la presente investigación se propone diseñar la pavimentación mediante concreto hidráulico reforzado de los estacionamientos ubicados en la Universidad Don Vasco A.C. lo cual sería de gran importancia ya que en la institución solo se cuenta con un espacio muy reducido que está pavimentado, y por obiedad, la mayor parte de la gente que llega después de las 9:00 a.m. no encuentra un lugar disponible en dicha área.

Dadas las circunstancias, surge la pregunta: ¿es la pavimentación a base de concreto hidráulico una buena opción para mejorar los estacionamientos de la Universidad Don Vasco A.C.?

Objetivos.

Objetivo General:

Proponer el diseño adecuado de pavimentación en los estacionamientos 4,5 y Oriente de la Universidad Don Vasco A.C., desde las capas inferiores (subrasante y subbase) hasta el área de rodamiento (Concreto hidráulico).

Objetivos Particulares:

1. Definir el concepto de pavimento.
2. Definir el concepto de concreto hidráulico así como todos sus componentes.
3. Definir el concepto de suelo.
4. Proponer el espesor adecuado en la losa de concreto hidráulico para el pavimento.
5. Señalar los métodos más empleados en el diseño de pavimentos rígidos.

Pregunta de Investigación.

¿Es la pavimentación a base de concreto hidráulico una buena opción para mejorar los estacionamientos 4,5 y Oriente de la Universidad Don Vasco A.C.?

Justificación.

Por medio de esta investigación se hará la propuesta de diseño de pavimentación en dichas áreas, donde los usuarios beneficiados serían todos los miembros que poseen un vehículo y acuden a la Universidad Don Vasco A.C., como lo son profesores, alumnos, directivos, empleados, y gente externa que acude a las instalaciones.

Dentro de dichos beneficios se puede encontrar que, al pavimentar los estacionamientos, de manera inmediata la universidad mejoraría notablemente su estética, y esto podría conllevar a hacerla más atractiva para ciertos aspirantes interesados en la institución.

También, para los usuarios que cuentan con vehículo la pavimentación es de gran utilidad, puesto que al eliminar las piedras que existen actualmente, los neumáticos de los autos reducirían su desgaste y prolongarían en cierta forma su vida útil.

Para finalizar, otro beneficio que podría aportar el presente trabajo, es que si en algún momento la universidad desea llevar a cabo el proyecto, ya se tendría el diseño adecuado para estructura, y sólo se necesitaría hacer el presupuesto correspondiente para dicha obra, lo cual ahorraría tiempo y por consiguiente, dinero.

Marco de Referencia.

Según la página www.wikipedia.es (2017), el municipio de Uruapan es uno de los 113 municipios en que se encuentra dividido el estado mexicano de Michoacán de Ocampo. Es el segundo municipio más poblado del estado, situada en el centro-occidente del territorio y su cabecera es la ciudad de Uruapan del Progreso.

El municipio de Uruapan se localiza en la zona centro-occidente del estado de Michoacán, tiene una extensión territorial total de 954.17 kilómetros cuadrados que equivalen al 1,62% de la extensión total del estado. Sus límites son al norte con el municipio de Charapan, el municipio de Paracho y el municipio de Nahuatzen; al este con el municipio de Tingambato, al municipio de Ziracuaretiro y el municipio de

Taretan; al sureste con el municipio de Nuevo Urecho; al sur con el municipio de Gabriel Zamora y el municipio de Parácuaro; al oeste con el municipio de Nuevo Parangaricutiro, con el municipio de Peribán, con el municipio de Tancítaro y con el municipio de Los Reyes.

El municipio se encuentra totalmente inmerso en el Eje Neovolcánico Transversal, por lo que su territorio es accidentado y montañoso, destacando los cerros Charanda, la Cruz, Jicalán y Magdalena, hacia el oeste, y ya fuera del municipio se encuentra el volcán Pico de Tancítaro, la mayor elevación del estado.¹ El Municipio de Uruapan se encuentra a una altitud sobre el nivel del mar de 417,9 metros como mínima y una altura máxima de 3340 msnm.

La principal corriente del municipio es el río Cupatitzio, que nace en el territorio y fluye en sentido norte a sur, existen además los embalses de Caltzontzin, Salto Escondido y Cupatitzio y una cascada conocida como La Tzaráracua.² Todo el territorio del municipio con excepción de su extremo más occidental, forma parte de la Cuenca del río Tepalcatepec-Infiernillo y el extremo oeste a la Cuenca del río Tepalcatepec, ambas forman parte de la Región hidrológica Balsas.

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

otra zona registra clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano y finalmente en el extremo sur del municipio el clima es clasificado como cálido subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura media anual del territorio también se encuentra dividida en tres zonas, la zona norte del municipio tiene un rango de 12 a 16 °C, la zona centro y sur tiene un promedio entre 16 y 24 °C, y finalmente dos porciones del extremo sur registran de 24 a 28 °C; el centro del municipio de Uruapan es una de las zonas que registran mayor promedio pluvial anual en el estado de Michoacán, superando los 1500 mm al año, hacia el norte y sur de esta zona el promedio va de 1200 a 1500 mm, y hacia el sur se suceden dos zonas más, donde el promedio es de 1000 a 1200 mm y de 800 a 1000 mm.

La Universidad Don Vasco A.C. nació como una Escuela Secundaria, en el año de 1964, con el nombre de “Instituto Cultural Don Vasco”. Al terminar los alumnos de la primera generación, se inició una Preparatoria, en 1967. Y después de que la primera generación terminó la preparatoria, se comenzó con una carrera profesional (Administración de Empresas), en el año de 1971. Después, a través de los años, se siguieron abriendo nuevas carreras, actualmente son 10. En 1988 se hace el cambio de nombre a: “Universidad Don Vasco”.

Se escogió el nombre “Universidad Don Vasco” en recuerdo del muy insigne fundador de la Diócesis de Michoacán, Don Vasco de Quiroga, hombre altamente docto y lleno de bondad para todas las personas y, en especial, para los indígenas, a quienes enseñó diversas labores y a quien ellos llamaron “Tata Vasco”.

CAPÍTULO 1

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

En el presente capítulo se abordan los temas relacionados con los pavimentos, con la finalidad de esclarecer los tipos con los que se cuentan y las características propias que definen a cada uno de ellos.

También, se hace especial énfasis en los pavimentos rígidos, y más a fondo en el concreto hidráulico, enfocándose en los materiales que lo componen y la función que tienen los mismos dentro de la mezcla.

1.1.- Definición de pavimento.

“Un pavimento puede definirse como la capa o conjunto de capas de materiales apropiados, comprendidas entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento, cuyas principales funciones son las de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura apropiados, resistente a la acción del tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como de transmitir adecuadamente a las terracerías los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito”. (Rico Rodríguez y Del Castillo; 2005: 99)

Según Rico Rodríguez y Del Castillo (2005) cuando hablamos de pavimentos hablamos de una estructura conformada por una o varias capas, ya sean naturales, artificiales, que en su superficie de rodamiento pueden estar constituidas por una carpeta asfáltica o losas de concreto.

Cabe destacar que un pavimento se identifica de acuerdo a las capas que lo conforman y no a los materiales con que está fabricado.

Así pues, dentro de los pavimentos se consideran dos tipos diferentes, los flexibles y los rígidos.

1.2.- Tipos de pavimentos.

Como se ha mencionado en el subtema anterior, se tienen dos tipos de pavimentos: flexibles y rígidos.

Rico Rodríguez y Del Castillo (2005) mencionan que un pavimento flexible está constituido por una capa bituminosa, que se encuentra por encima de otras capas delgadas de material, cuyo espesor y calidad van disminuyendo según se acerquen al área de rodamiento. Las capas que distinguen a un pavimento flexible son: subrasante, subbase, base y carpeta asfáltica, esta última por sus propiedades presenta grandes deformaciones las cuales son transmitidas hasta la capa de subrasante.

En cuanto a pavimentos rígidos, mencionan una estructura formada por losas de concreto, las cuales descansan sobre una capa de subbase, o en caso de que el subrasante tenga la calidad necesaria, estas pueden descansar sobre la misma. Lo que se busca es la uniformidad de la capa, para que la losa pueda tener el soporte adecuado.

En el presente trabajo no se profundizará más sobre los pavimentos flexibles, ya que el tema de importancia se basa en los pavimentos rígidos.

1.3.- Pavimento rígido.

De acuerdo con Rico Rodríguez y Del Castillo (2005), un pavimento es una superestructura de la obra vial que proporciona la seguridad, comodidad, y economía de un camino, concorde a lo previsto en el programa.

Crespo Villalaz (2012), se pueden diferenciar los pavimentos rígidos de los flexibles con dos rasgos significativos, el primero es que los pavimentos rígidos son afectados en gran parte por la temperatura, y el segundo es que tienen una gran resistencia a la flexión.

El mismo autor menciona que los pavimentos hidráulicos están sometidos a los siguientes esfuerzos:

- “Esfuerzos abrasivos causados por las llantas de los vehículos.
- Esfuerzos directos de compresión y cortamiento causadas por las llantas de las ruedas.
- Esfuerzos de compresión y tensión que resultan de la deflexión de las losas bajo las cargas de las ruedas.
- Esfuerzos de compresión y tensión causados por la expansión y contracción del concreto.
- Esfuerzos de compresión y tensión debidos a la combadura del pavimento por efectos de los cambios de temperatura.” (Crespo Villalaz; 2012: 357)

1.3.1.- Concreto hidráulico.

Ahora bien, sabiendo lo que es un pavimento rígido, y comprendiendo que su estructura se basa en losas de concreto, podemos decir que “el concreto hidráulico es un material pétreo artificial, elaborado al mezclar parte de agua y cemento Portland con arena y grava, en proporciones tales que produzca la resistencia y densidad deseadas”. (Olivera; 2009: 211)

A continuación, se mencionarán los elementos que constituyen al concreto hidráulico.

1.3.1.1.-Cemento Portland.

De acuerdo con la Guía del Consumidor de Concreto Profesional de CEMEX (1999), el cemento Portland es el más común utilizado en la fabricación del concreto. Ya que en la Isla de Portland, Inglaterra, se daban calizas naturales muy similares a las usadas para la fabricación del cemento, se le patentó con dicho nombre.

La mezcla sus componentes como lo son: calizas, arcillas y silicatos, al triturarse y hornearse a muy altas temperaturas dan como resultado el clínker, un mineral verdoso, que es la materia prima del cemento. El cemento, mezclado con sus respectivos agregados, reacciona químicamente al entrar en contacto con agua, provocando un endurecimiento en los materiales, teniendo como resultado el concreto hidráulico.

La Guía del Consumidor de Concreto Profesional de CEMEX (1999) menciona la existencia de ocho diferentes tipos de cemento Portland, de los cuales

los de tipo I y II son los más comunes, de uso general, y usados también en la presencia leve de sulfatos; los de tipo III que se utilizan cuando se quiere alcanzar el fraguado a temprana edad; los de tipo IV que se utilizan cuando se requiere un bajo calor de hidratación y los de tipo V, que son utilizados en condiciones normales y en las que tienen una gran presencia de sulfatos en el ambiente.

1.3.1.2.- Agua.

De acuerdo con la Guía del Consumidor de Concreto Profesional de CEMEX (1999), el agua puede tener dos funciones en cuanto a la fabricación del concreto. Puede servir como ingrediente en la mezcla o puede ser utilizada en la ayuda del curado.

En los casos en los que el agua actúa como ingrediente en el mezclado, se considera que su volumen constituye un 20% aproximadamente por cada m³ fabricado, por lo que es de gran importancia que su composición química sea la adecuada para su uso.

Por su parte, si el agua potable a utilizar es incolora, inodora y/o insípida, se puede utilizar dicha agua sin pasarla por ninguna revisión ante las normas.

1.3.1.3.- Agregado grueso.

De acuerdo con la Guía del Consumidor de Concreto Profesional de CEMEX (1999) aproximadamente un 60% por cada m³ de una mezcla de concreto, está constituida por los agregados pétreos, por lo cual, se les ha dado mayor relevancia a su estudio debido al papel que juegan en la composición de la mezcla.

Hoy en día, se pueden clasificar los agregados de varias maneras, ya sea por su composición, color, lugar de origen o la cual será utilizada en la presente investigación: por el tamaño de sus partículas.

Los agregados gruesos o gravas, son aquellos que están retenidos en la malla no. 4 del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), y que rigen en mayor parte la composición del concreto.

Según Guía del Consumidor de Concreto Profesional de CEMEX (1999) se debe buscar una homogeneidad en el tamaño de las partículas, para que así el desempeño del concreto sea el mejor posible.

1.3.1.4.- Agregado fino.

De acuerdo con la Guía del Consumidor de Concreto Profesional de CEMEX (1999) los agregados finos o arenas, son aquellos que pasan la malla no.4 (4.75 mm) y son retenidos por la malla no. 200 (0.075 mm) del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Se dice que aunque la continuidad de la granulometría de las partículas de un material es idónea, no es bueno idealizar al material con esta característica pues, al tener un buen diseño la mezcla o el uso de aditivos, dan propiedades que permiten disminuir los errores al tener este tipo de problemas (discontinuidad de las partículas) en la mezcla.

1.3.1.5.- Aditivos.

“Los aditivos son sustancias que se pueden agregar al concreto con el fin de modificar algunas de sus propiedades, o para inducirle algunas características adicionales: trabajabilidad, reducción de agua de mezclado, incorporación de aire, modificación de los tiempos de fraguado, proporcionar diferentes grados de impermeabilidad”. (Salazar; 1998: 12)

Aunque en todo tipo de concreto se pueden utilizar aditivos, Salazar (1998) menciona tres criterios básicos que se deben tomar en cuenta:

- La adición de aditivo a la mezcla deberá lograr el objetivo buscado sin alterar su proporcionamiento básico.
- Su empleo estará justificado desde el punto de vista económico.
- Se investigará que el producto no tenga efectos nocivos en la mezcla, tanto de forma inmediata como a largo plazo.

De acuerdo con la Guía del Consumidor de Concreto Profesional de CEMEX (1999) un aditivo es aquella sustancia que se añade de forma inmediata antes o después de mezclar la revoltura que se utiliza como ingrediente del cemento, el cual proporciona nuevas propiedades a la mezcla.

El uso de aditivos tiene como función proporcionarle ciertas funciones al concreto, con las cuales se busca el ahorro de tiempo y dinero.

Es importante que se haga un uso adecuado de los aditivos ya que, un mal uso puede provocar que aparezcan propiedades que nos son adecuadas para el correcto funcionamiento de la mezcla.

A continuación se mencionan los tipos de aditivos según las especificaciones de Salazar (1998) y la Guía del Consumidor de Concreto Profesional de CEMEX (1999), los cuales son: inclusores de aire, reductores de agua, retardantes de fraguado, acelerantes de fraguado, reductores de agua de alto rango y aditivos puzolánicos.

A) Inclusores de aire.

Salazar (1998) menciona que los inclusores de aire incorporan microporos al concreto, lo cual produce que este tenga una mayor resistencia a los ciclos de hielo y deshielo, mayor trabajabilidad, menor permeabilidad y exudación. Por otra parte, la utilización de los mismos puede hacer que reduzca la resistencia mecánica del concreto.

Las principales aplicaciones de este aditivo son para la protección contra cambios bruscos de temperatura, como lo son ciclos de hielo y deshielo, protección contra agentes químicos y en las pavimentaciones.

B) Reductores de agua.

Según Salazar (1998) los reductores de agua provocan una mejora en la lubricación de las partículas del concreto lo que provoca una mejora en la

trabajabilidad para relaciones constantes de agua/cemento y mayor facilidad de colocación y compactación.

Dentro de las aplicaciones de los reductores de agua se tienen los concretos bombeables y premezclados, concretos de alta resistencia y concretos en zonas estrechas y/o prefabricados.

C) Retardantes de fraguado.

Los retardantes de fraguado, como su nombre lo dice, retrasan el comienzo del fraguado para así darles más trabajabilidad por mayor tiempo. Salazar (1998) menciona que el uso del mismo, reduce la aparición de posibles fisuras debido a que permite la disipación de calor de hidratación durante más tiempo.

El uso de los retardantes es recomendable en concretos en zonas calurosas, concretos premezclados, concretos masivos, concretos bombeados, transporte de concreto a distancias considerables y evitar juntas frías al colocar concreto en capas.

El inconveniente que puede surgir al utilizar retardantes, es que una sobredosificación del mismo puede provocar una demora excesiva del fraguado.

D) Acelerantes de fraguado.

Los acelerantes de fraguado, como su nombre lo dice, aceleran el desarrollo de la resistencia del concreto.

Estos aditivos son de gran utilidad en lugares con climas fríos, cuando se deseen hacer reparaciones, así como cuando se quiera hacer un descimbrado más rápido de la obra.

Los problemas que surgen al usar estos aditivos radican en la cantidad de agentes corrosivos que los componen, por lo que al usar acelerantes en concretos reforzados con acero, se deben extremar precauciones.

E) Reductores de agua de alto rango.

También llamados fluidificantes, son aditivos cuya función es aumentar de manera significativa la trabajabilidad del concreto, lo que permite reducir la cantidad de agua de trabajo, aumentando de gran forma la resistencia.

La Guía del Consumidor de Concreto Profesional de CEMEX (1999), menciona que los efectos provocados por el uso de estos reductores son: el incremento del revenimiento del concreto sin aumentar la cantidad de agua del mismo, incrementa la fluidez de la mezcla así como reduce la cantidad de agua de forma considerable.

De acuerdo con Salazar (1998), es recomendable usar estos aditivos en lugares muy estrechos o difícil acceso, en la colocación de concretos bombeados, en lugares con climas muy calurosos, en reparaciones, en concretos de altas resistencias en los concreto prefabricados.

F) Aditivos Puzolánicos.

El Manual del Constructor de CEMEX (2003) menciona que las puzolanas son un material, producto de las erupciones volcánicas, descubierto por los romanos en la ciudad de Pozzoli (de ahí el nombre), que al agregarse a la mezcla de Cemento

Portland Ordinario (CPO), reduce la cantidad de clínker necesario en la mezcla, haciendo de este un material más económico.

“(…), son idóneos para obras de concreto en contacto con aguas agresivas de cualquier naturaleza, pero en particular puras, carbónicas y ligeramente ácidas. Son asimismo, aptos para concreto en grandes masas en que interese evitar una gran elevación de temperatura y con ello la retracción y fisuración de origen térmico. Por ambas circunstancias son especialmente indicados para concreto de presas y cimentaciones masivas. No son en cambio, las más adecuados para concreto pretensado, particularmente con escasos recubrimientos”. (Guía del Constructor de CEMEX; 2003: 55)

1.3.1.6.- Contenido de cemento.

De acuerdo con Gutiérrez (2003), los componentes que conforman al cemento son de gran importancia en la mezcla pues, aunque el cemento no es el único elemento que constituye una mezcla de concreto, de él depende la resistencia que esta pueda tener.

Aunque la mayoría de los cementos son de buena calidad, no quiere decir que la mezcla llegue a su máxima resistencia al mismo tiempo, de hecho, ciertos cementos alcanzan su resistencia a una edad más temprana.

El contenido de cemento en la mezcla de concreto, es el principal factor para que este adquiera una resistencia determinada, es decir, a mayor cantidad de cemento por m^3 mayor resistencia tendrá el concreto, sin embargo, cuando las mezclas tienen un alto contenido de cemento (alrededor de 470 kg por m^3)

comienzan a presentar decadencias en la resistencia, especialmente cuando el tamaño de los agregados es demasiado grande. Asimismo, el concreto comienza a presentar ciertas contracciones en la parte superior al pasar del estado plástico al estado endurecido.

1.3.1.7.- Relación de agua/cemento.

De acuerdo con Gutiérrez (2003), la relación de agua/cemento en una mezcla es la condición más importante, ya que el contenido de estos dos materiales proporcionará directamente la resistencia de la misma, en conjunto con la calidad de los agregados y del cemento utilizado.

Por su parte, Galván Sierra (2012) menciona que con el fin de tener un control de la cantidad de agua en la mezcla, se realiza una relación agua/cemento. Esta relación adopta un rango de entre 0.45 y 0.54, que tiene como meta conseguir la resistencia y durabilidad esperada.

1.3.1.8.- Revenimiento.

Menciona Gutiérrez (2003) que, una mezcla de concreto debe tener cierta trabajabilidad, lo cual quiere decir, que tenga ciertas características para ser colocado y compactado correctamente, sin que éste presente segregación ni exudación.

La segregación es la separación de los materiales que componen una mezcla de concreto. Ésta se da cuando existe una mala calidad de los agregados, o con la diferencia en el tamaño de los mismos.

La exudación o “sangrado” del concreto, es una característica que tienen las mezclas de concreto, la cual se refiere al momento en que el agua tiende a subir a la superficie del concreto recién colocado, creando una pequeña película de agua, que al secarse deja una capa porosa poco resistente muy propensa al desgaste.

Este mismo autor menciona ciertos factores que influyen en la mezcla de concreto para que la trabajabilidad sea adecuada, los cuales son:

- El contenido de agua de mezclado, es el principal factor que influye en la manejabilidad del concreto; se expresa en kg o litros por m³ de concreto.
- La buena gradación de los agregados.
- Los agregados gruesos con partículas planas y alargadas o de forma cúbica con superficie rugosa, disminuyen la manejabilidad de la mezcla.
- Condiciones de clima y temperatura.



Imagen 1.1.- Prueba de Revenimiento.

Fuente: Gutiérrez; 2003: 54.

Para analizar que todo esto se cumpla, existen pruebas de asentamiento o revenimiento, las cuales nos ayudan a determinar la consistencia y fluidez que tiene una mezcla de concreto, y según Villalaz (2012) el revenimiento requerido para los pavimentos oscila entre los 5 y 7 cm.

1.3.1.9.- Resistencia del concreto hidráulico.

Gutiérrez (2003) menciona que el concreto es un material estructural, y debido a esto se diseña para que alcance cierta resistencia. La resistencia a la compresión es normalmente la prueba más común que se le hace al concreto para fines de resistencia, pero en cuanto a losas de concreto, las cuales son utilizadas para los pavimentos rígidos, se hacen pruebas de esfuerzos de flexión para determinar su resistencia.

Según Rico Rodríguez y Del Castillo (2005), los concretos utilizados en las losas para pavimentos, tienen resistencias relativamente altas, las cuales están entre los 200 kg/cm² y 400 kg/cm².

1.3.2.- Elementos que constituyen los pavimentos rígidos.

De acuerdo con Rico Rodríguez y Del Castillo (2005), los pavimentos están constituidos por una losa de concreto hidráulico, que a su vez está apoyada sobre una capa de subrasante o subbase. La diferencia de estas dos capas la mayor parte de las veces es meramente pura nomenclatura pues, si el terreno natural (subrasante) tiene la calidad necesaria para soportar a la losa, podemos prescindir de la colocación de una subbase.

Ahora bien, lo que se busca conseguir es que la losa este sobre una proporción de suelo estable, para que así, esta sea capaz de soportar las cargas de tránsito para las cuales está siendo diseñada y no haya falta de soporte alguna en la extensión de la losa.

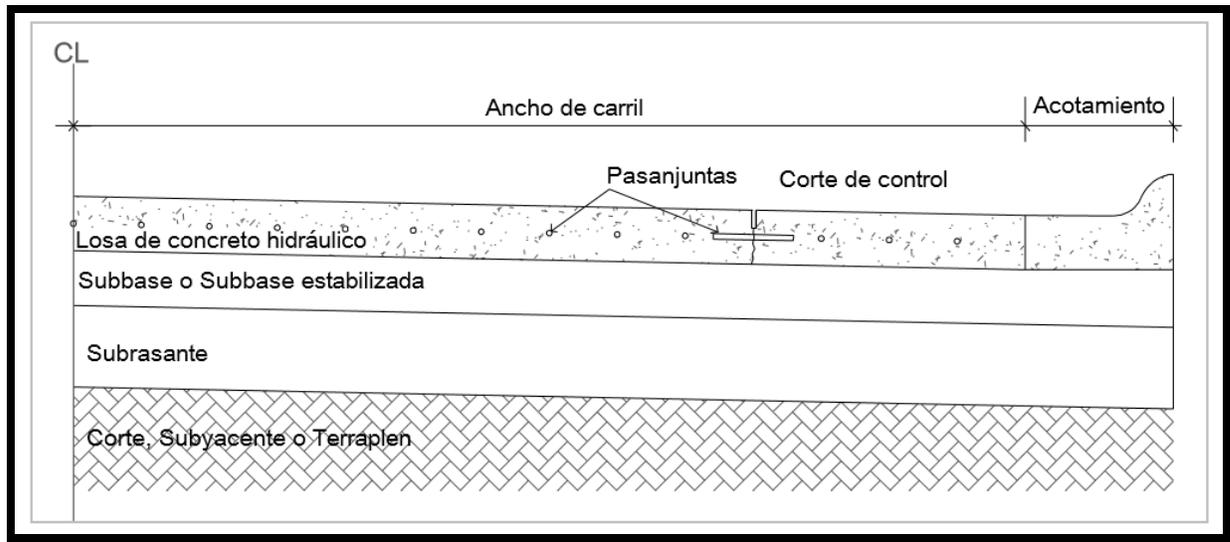


Imagen 1.2.- Estructura de Pavimento Rígido.

Fuente: Galván Sierra; 2012: 25.

1.3.2.1.- Capa de subrasante.

De acuerdo con Galván Sierra (2012) la subrasante es la capa que está por encima de todos los cortes o terraplenes realizados, y es la que soporta todos los esfuerzos del pavimento aun en condiciones de humedad ya que es la primera capa que conforma al pavimento.

Esta capa puede conformada por el mismo terreno natural, siempre y cuando este cumpla con las especificaciones que el pavimento requiera; asimismo, puede

formarse por una capa de material de banco, previamente analizada, que cumpla con los requerimientos necesarios.

1.3.2.2.- Capa de subbase.

De acuerdo con Rico Rodríguez y Del Castillo (2005), la subbase es la capa del pavimento rígido que está compuesta de materiales granulares; debido a que los esfuerzos que la losa transmite no son de gran intensidad, la resistencia no es un criterio que regularmente sea requerido en la realización de estas.

Regularmente, las bases tienen las siguientes funciones:

1. Proporcionar apoyo uniforme a la losa de concreto.
2. Incrementar la capacidad portante de los suelos de apoyo, respecto a la que es común en las terracerías y capa subrasante.
3. Reducir a un mínimo las consecuencias de los cambios de volumen que puedan tener lugar en el suelo que forme las terracerías o la subrasante.
4. Reducir. A un mínimo las consecuencias de la congelación en los suelos de las terracerías o de la capa subrasante.
5. Evitar el bombeo.

Por su parte, Olivera (2009) menciona que las funciones de esta capa pueden ser las siguientes:

1. Recibir y resistir las cargas del tránsito a través de la capa que constituye la superficie de rodamiento (carpeta asfáltica o losa).
2. Transmitir estas cargas, adecuadamente distribuidas, a las terracerías.

3. Impedir que la humedad de las terracerías ascienda por capilaridad.
4. En caso de introducirse agua por la parte superior, permitir que el líquido descienda hasta la capa subrasante, donde se desaloja al exterior por el efecto del bombeo o la sobreelevación.

Según Rico Rodríguez y Del Castillo (2005), comúnmente el espesor de la subbase no es problema de cálculo, sino cuestión de experiencia pues, en el campo, no se utilizan capas menores a los 10 ó 15 cm, ya que un espesor menor a los mencionados provocaría inestabilidad en el apoyo de la losa, lo cual conllevaría a la falla de la misma. De igual manera, no se acostumbra utilizar espesores mayores a los 20 cm, a menos que la susceptibilidad de los materiales a la congelación o expansión sea alta, o en su caso, que los materiales por el cual están conformadas las terracerías o la subrasante sean susceptibles a estos mismos cambios.

1.3.2.3.- Losas de concreto hidráulico.

Menciona Galván Sierra (2012) que las losas de concreto hidráulico son la capa de rodamiento más común que existe dentro de los pavimentos rígidos, la cual es una estructura que debe proporcionar la seguridad adecuada en la superficie de rodamiento, así como resistir los esfuerzos para los que fue diseñada.

Además, las losas de concreto deben de actuar de manera eficiente al estar expuestas a los diferentes cambios climáticos en la zona y al intemperismo. De igual forma, el mantenimiento de las mismas debe ser previsto para que se dé la forma más económica y con menor frecuencia posible.

1.3.3.- Tipos y características de los pavimentos de concreto hidráulico.

Kraemer y colaboradores (2004) mencionan que en la actualidad, los pavimentos de concreto hidráulico se pueden dividir en cuatro categorías, las cuales son: losas de concreto vibrado, losas de concreto compactadas con rodillo, losas de concreto armado, losas de concreto pretensado.

Las losas de concreto vibrado son las más utilizadas debido a su adaptabilidad y economía.

A continuación se muestra los tipos de pavimento y las características que conforma a cada uno de ellos.

- Losas de concreto vibrado.

De acuerdo con Kraemer y colaboradores (2004), este tipo de losas regularmente son las más económicas y las más sencillas de construir. Tienden a ser losas rectangulares, y de ser posible, cuadradas; comúnmente en secciones en donde la anchura no es uniforme se utilizan las secciones rectangulares.

En este tipo de losas no se acostumbran anchos mayores a los 5 metros, en donde normalmente se usan juntas transversales de contracción o juntas longitudinales.

En las juntas longitudinales se usan barras de unión, las cuales prohíben la expansión entre juntas de losas contiguas, y estas permiten el alabeo pero restringen el escalonamiento entre las mismas.

Las juntas transversales suponen la continuidad entre las losas, además, hacen que los esfuerzos verticales en la losa debido a las cargas provocadas por los vehículos sean distintas en las juntas que en la superficie de la losa. Comúnmente se utilizan pasadores, que son barras de acero lisas, las cuales se colocan entre losas contiguas, a la mitad del espesor de ambas, de tal forma que anulan por completo el escalonamiento que pudiera ocurrir entre ellas.

- Losas de concreto compactadas con rodillo.

Según Kraemer y colaboradores (2004), este tipo de losas se caracterizan por tener una relación de agua/cemento pequeño (entre 0.35 y 0.38). Estas losas se

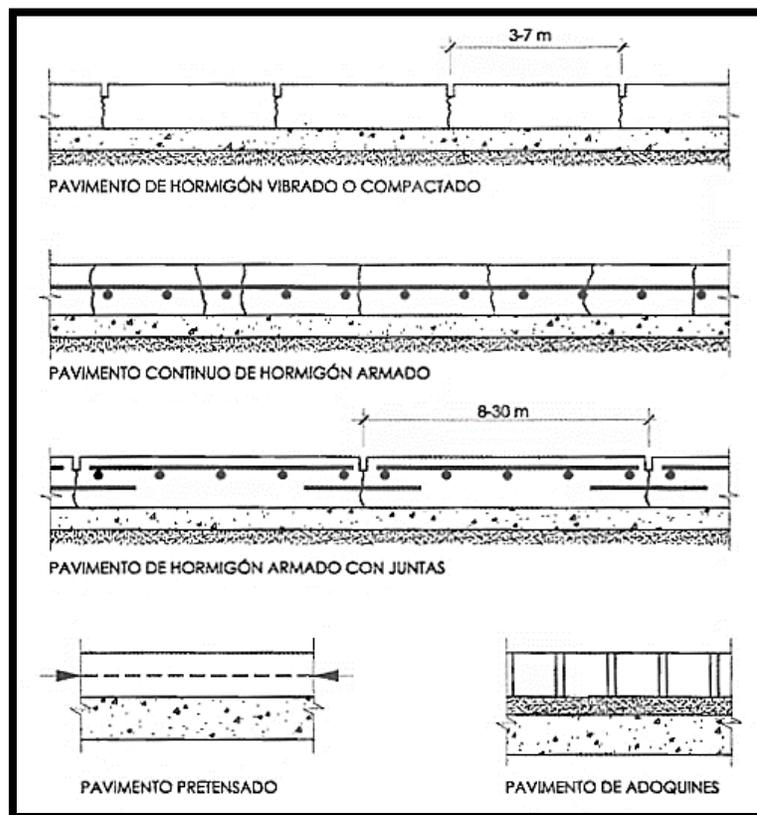


Imagen 1.3.- Tipos de losas de concreto.

Fuente: Kraemer; 2004: 349.

compactan enérgicamente, como se hace normalmente en la colocación de una gravacemento. Cabe destacar que, el contenido de cemento utilizado en la mezcla de concreto es el mismo que se utiliza en cualquier mezcla para pavimento.

Regularmente se utilizan para su colocación las máquinas extendedoras que se acostumbran utilizar en los pavimentos flexibles, así como rodillos neumáticos y motoniveladoras, haciendo su construcción similar a cualquier tramo carretero.

La construcción de estas losas es muy similar a la de las losas de concreto vibrado, pero al ser éstas compactadas por rodillos vibradores, su superficie suele no ser la mejor para la transitabilidad, por lo que en algunas ocasiones se le colocan mezclas bituminosas, como si se tratase de un pavimento flexible.

Para estas losas suele contarse con juntas transversales, a no más de 3 metros de separación entre ellas, ya que se busca que al darse la contracción la junta abra poco y así, la transferencia de esfuerzos sea mejor y no se vean reflejados en la capa asfáltica.

- Losas de concreto armado.

De acuerdo con Kraemer y colaboradores (2004), dentro de las losas de concreto armado podemos encontrar tres tipos diferentes, las cuales son:

- Losas de concreto armadas con juntas.
- Losas continuas de concreto armado.
- Losas armadas con fibras de acero.

Las losas de concreto armadas con juntas se comenzaron a utilizar en una época en donde se creía que la junta era la zona más débil de la construcción, por lo que se acostumbraba hacer las losas más largas para reducir la cantidad de juntas.

“(…) La misión de las armaduras, que se colocan en la mitad superior de la losa, no es estructural, sino la de mantener cosidas las fisuras transversales que inevitablemente aparecen en las losas largas; desde 7 m, normalmente de 10-20 m y a veces incluso más. (…)” (Kraemer y colaboradores; 2009: 351)

Este tipo de losas dejó de ser usado actualmente, ya que además de ser costoso, no cumple con las características para soportar los esfuerzos provocados por el tránsito.

Las losas continuas de concreto armado son de alguna forma una técnica opuesta a la mencionada anteriormente, ya que en estas se busca eliminar las juntas, pero se compensa con la colocación de una armadura de acero en la parte longitudinal de la losa, a una razón de 10 kg/m^2 . Estas armaduras van incluidas en el centro del espesor de la losa, lo que provoca pequeñas fisuras, de unos 15mm, las cuales se forman a cada 2 metros aproximadamente; estas fisuras no son visibles y no empeoran con el tránsito. En los extremos de las losas se colocan juntas de 5 cm que ayudan a disipar el movimiento.

Las losas de concreto armadas con fibras de acero fueron implementadas en las últimas décadas, ya que ofrecen mejoras en varios aspectos que atacaban a las losas, como lo son la fatiga, flexotracción, etc. El uso de este tipo de losas permite

aumentar el espacio entre losas, ya que con el uso de estos materiales (fibras de acero) se puede reducir en un 30% el espesor de la losa.

- Losas de concreto pretensado.

“Gracias a la compresión que se introduce, se pueden construir losas de 120 m de longitud o incluso más y reducir el espesor del orden de un 50 por 100. Se han ensayado varios sistemas de pretensado interno mediante cables o alambres (postensado) y de pretensado externo mediante gatos planos hidráulicos y juntas neumáticas. Las juntas tienen un diseño especial para soportar las mayores variaciones de abertura y con algunos sistemas hay que disponer estribos para resistir los empujes horizontales.” (Kraemer y colaboradores; 2004: 352)

1.3.4.- Agrietamiento del concreto hidráulico.

De acuerdo con Olivera (2009), el concreto hidráulico es un material que tiende al agrietamiento, ya sea por cambios de temperatura que provoquen la evaporación de agua durante su fraguado, así como los agentes químicos internos durante el proceso.

Para evitar el agrietamiento, debe curarse el concreto de manera adecuada; se recomienda el riego constante del concreto con agua, justo después de su tendido, así como el uso de diversos productos que existen en el mercado para evitar que el agua en la mezcla se evapore.

Los factores que se deben tomar en cuenta para evitar el agrietamiento son: el clima del lugar, así como la existencia de grandes corrientes de viento al momento

de realizar el tendido del concreto, y la temperatura, sobre todo en zonas costeras, ya que, a partir de los primeros días del comienzo del fraguado, debe hacerse un riego constante en la superficie del concreto.

Los distintos programas de construcción de pavimentos indican que se cuelan franjas desde los 200 metros o hasta varios kilómetros. Una vez fraguado el concreto, este tiene a expandirse o contraerse, de acuerdo a los cambios de temperatura, y agregando a esto, la fricción que existe entre la losa y la capa de subbase, la cual restringe el movimiento de la losa; todos estos factores mencionados, provocan agrietamiento.

El agrietamiento se da de manera uniforme sobre la losa y, la abertura de este puede ser tan grande que se pierda conexión intergranular entre las partículas que conforman la estructura, pero, si las aberturas son menores a los 3 milímetros, la estructura sigue trabajando como un conjunto.

1.3.4.1.- Juntas de contracción.

Como se mencionó anteriormente, el agrietamiento de las losas de concreto es inevitable, por lo que se busca que las grietas sean regulares, en otras palabras, se busca generar la grieta antes de que esta aparezca, para así, asegurar que la losa trabaje como conjunto.

De acuerdo con Olivera (2009), las juntas de contracción se utilizan en losas de concreto simple, es decir, aquellas que no llevan ningún refuerzo de acero.

Para evitar que las juntas no excedan los 3 milímetros de separación, se busca que la losa tenga una relación de largo-ancho menor a 1.25 o en algunas ocasiones de 1.15. Aunado a esto, es común que para mantener estas relaciones se utilice un largo de losa menor a 4.5 metros.

El proceso de corte consiste en generar un hueco en la losa mediante aserrado en la parte superior de la losa de unos 5 cm aproximadamente, ya que las mismas cargas bajo las cuales estará sometida, harán que el corte proceda de manera continua en todo el espesor de la losa; el hueco, deberá contar con un ancho de entre 4 y 6 mm para asegurar el trabajo del conjunto como tal.

1.3.4.2.- Juntas de dilatación.

“Para evitar que las losas de concreto se dilaten cuando se presentan grandes esfuerzos de compresión al chocar con algún obstáculo, (...), es necesario construir juntas de expansión”. (Olivera; 2009: 222)

Menciona Olivera (2009), que este tipo de juntas se realizan mediante pasajuntas de transferencia de cargas o pueden hacerse a tope.

Las juntas a tope se realizan cuando el pavimento se encuentra con algún obstáculo, y estas consisten en dejar un espacio de 3 cm aproximadamente, el cual se rellena con cartón o diferentes compuestos asfálticos, que se comprimen cuando la losa se expande, y regresan a su estado al terminar la dilatación.

Las juntas de dilatación con pasajuntas de transferencia de cargas se utilizan normalmente cuando se encuentran dos losas continuas, y estas funcionan

colocando una varilla lisa de 40 cm, que queda embebida entre las dos losas de manera equitativa hacia el centro de las mismas, lo cual permite que trabajen como un conjunto.

1.3.4.3.- Juntas de construcción.

Según Olivera (2009), las juntas de construcción se dan cuando por diferentes causas, el colocado del concreto para las losas se tiene que detener, ya sea por situaciones ajenas a la obra, cualquier tipo de imprevisto, o en algunas ocasiones por que el proyecto así lo designa. En la presente investigación, abordaremos las juntas de construcción longitudinales y transversales.

A) Juntas longitudinales de construcción.

De acuerdo con Kraemer y colaboradores (2004), las juntas transversales pueden ser de alabeo u hormigonado. Las juntas de alabeo se utilizan normalmente en la división de carriles con anchos mayores a los 5 metros. Estas juntas pueden realizarse en fresco o por serrado; el serrado es la forma más común en la que este tipo de juntas se realiza.

El proceso del serrado se da cortando la superficie de la losa, con un ancho aproximado de 3 mm, y no excediendo la profundidad en más de un tercio del espesor de la losa. Al finalizar el serrado, la junta se sella para así, evitar que las precipitaciones tomen como salida la junta entre las losas.

Las juntas de hormigonado son aquellas que se encuentran entre losas contiguas, y normalmente se colocan cuando el concreto es colocado en bandas.

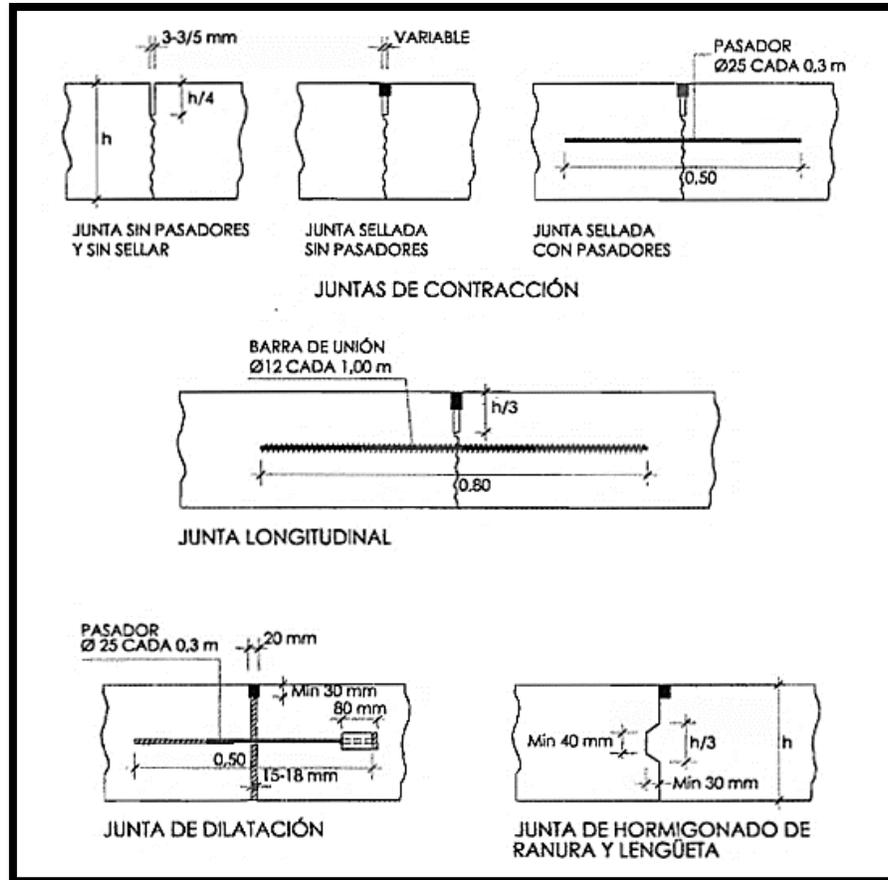


Imagen 1.4: Diferentes tipos de juntas.

Fuente: Kraemer y colaboradores, 2004; 358.

B) Juntas transversales de construcción.

Menciona Kraemer y colaboradores (2004) que este tipo de juntas regularmente son las de contracción y solo en raras ocasiones se tratan de juntas de dilatación.

De igual forma en cómo se hace en las juntas longitudinales, la manera más fácil de realizar las juntas es por serrado, ya que hacerlas en fresco compromete la estructura de la losa, pues el tránsito vehicular pasa directamente por encima de las

juntas; el serrado tendrá una profundidad de no más de una cuarta parte del espesor de la losa.

Las juntas de dilatación en la actualidad están en desuso pues no tenían un comportamiento adecuado, ya que no tienen un gran soporte al empuje. Estas juntas solo se utilizan en curvas donde el radio es menor a los 200 metros. Para su mejor comportamiento deben ser rellenas con material y siempre llevar pasadores.

CAPÍTULO 2

MECÁNICA DE SUELOS

En el presente capítulo se pretende establecer la importancia de la mecánica de suelos y cómo se involucra en la formación de un pavimento, además, se definirá el concepto de suelo, así como las fases que lo componen.

Con esto, se busca definir los diferentes tipos de suelo que existen mediante la clasificación que da el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) así como las diferentes pruebas y métodos para la clasificación de los mismos.

2.1.- Concepto de suelo.

De acuerdo con Juárez Badillo y Rico Rodríguez (2005), el concepto de suelo puede variar indefinidamente, según el campo de estudio. Por ejemplo, para los geólogos, el suelo es aquel material que se encuentra en el lugar que se ha determinado a estudiar, que tiene las características que allí se encuentren, y puede ser afectado por la materia orgánica cercana. Para el ingeniero civil, este concepto puede llegar a ser errado, pues un suelo es, todo material terroso que se encuentre en un lugar, con características físicas y químicas particulares, y que puede ser residual o transportado según sea el caso.

Por su parte, Rico Rodríguez y Del Castillo (2005) mencionan que un suelo es aquel conjunto de minerales, resultado del intemperismo y factores químicos que transformaron a rocas ya existentes.

Estos mismos autores mencionan dos propiedades muy importantes que caracterizan a un suelo, y que cualquier persona en el ámbito ingenieril debe conocer:

- El conjunto está definido vectorialmente, es decir, actúan fuerzas horizontales y verticales; con esto se sabe que los cambios verticales de las propiedades ocurren mucho más rápido que los horizontales.
- El suelo, debido a su composición, puede contener agua, ya sea en menor o mayor cantidad, y si se le encuentra en suficiente cantidad, provoca una distribución de presiones continua. El agua no forma poros aislados, sino que llena los huecos formando una “masa” continua intercomunicada que contiene al mineral en su interior.

2.1.1.- Agentes generadores.

De acuerdo con Juárez Badillo y Rico Rodríguez (2005), la superficie terrestre siempre es afectada por la acción del agua y el aire principalmente, y cuyos medios pueden ser diversos. Para la cuestión de estudio, se han generalizado estos ataques en dos grupos: desintegración mecánica y descomposición química.

En cuanto a desintegración mecánica se refiere, se puede hablar de la intemperización de la roca a los agentes físicos como lo son cambios bruscos de temperatura, congelación del agua dentro de las grietas de las rocas, efectos de las plantas u organismos, etc. Estos fenómenos, generalmente producen arenas, y sólo en muy raras ocasiones arcillas o limos.

La descomposición química engloba todos aquellos agentes que atacan a las rocas, afectando y cambiando su composición mineralógica, así como su composición química. El principal agente químico que ataca a las rocas, es, por obviedad, el agua. Las formas más comunes de ataque en que el agua interviene son la oxidación, la hidratación y la carbonatación. La vegetación también juega un papel en la descomposición química, y esta puede provocar el origen de arcillas como un resultado final de descomposición. Todos estos cambios están fuertemente relacionados con los cambios de temperatura del ambiente a estudiar; debido a esto, en zonas húmedas es más fácil encontrar formaciones arcillosas y en ambientes cálidos encontramos limos o arenas.

“Los suelos deben, pues, su origen a una tal variedad de causas que excede todo poder de descripción detallada. El resultado de este concurso de causas, es una inmensa diversidad de tipos de suelo resultantes. También debe notarse que su formación ha ocurrido a través de las Eras Geológicas, tal como sigue ocurriendo hoy; en consecuencia, el hombre es completamente ajeno a la génesis del suelo: solo le toca manejarlo, tal como la naturaleza se lo presenta.” (Juárez Badillo y Rico Rodríguez; 2005: 35)

2.1.2.- Suelos transportados y residuales.

Como ya es sabido, un suelo puede ser residual o transportado, esto según del lugar donde se les encuentre. Los suelos residuales son aquellos que permanecen en el lugar en donde fueron formados, mientras que los suelos

transportados son aquellos que debido a los agentes físicos fue trasladado de su lugar de formación al lugar en donde se encuentren.

Según Rico Rodríguez y Del Castillo (2005) la composición interna de un suelo transportado y uno residual es evidentemente diferente. En un suelo residual, aunque es afectado por agentes químicos y físicos variables, se tienen rastros, aunque sean muy lejanos, de la roca madre, mientras que en un suelo transportado las características son básicamente gobernadas por la deposición y en ningún momento por los componentes originales de la roca.

Juárez Badillo y Rico Rodríguez (2005) mencionan que en la naturaleza hay cientos de agentes transportadores de suelo, como lo pueden ser el aire, glaciares, la gravedad, aguas superficiales, mares, etc., y que en muchos casos pueden actuar combinadas.

Hablando de los suelos transportados, el agua y el viento son los dos factores más comunes como ya se mencionó anteriormente. Estos mismos autores dicen que en el caso de los ríos, estos son un gran agente transportador de suelos, los cuales llevan el material gracias a la velocidad de la corriente, por consiguiente, se puede decir que a medida que la velocidad disminuye, la capacidad de acarreo lo hace de igual forma, por lo que en las partes cercanas al inicio de un río se encuentran los suelos más grueso, y en los depósitos cercanos a la desembocaduras se encuentran lo más finos.

El viento es capaz de transportar suelos muy finos como arcillas, hasta arenas gruesas; estos arrastres pueden llegar a ser de varios kilómetros. Debido al viento, suelen darse la formación de dos suelos: los médanos y el loess.

En cuanto a loess se refiere, es un conjunto de arenas finas, mezcladas con finos, que se estructuran de forma abierta, y ciertamente cohesiva. Los suelos médanos, son la acumulación de una arena suelta que, al no viajar a grandes alturas, fue retenida por algún obstáculo, formado en la superficie del terreno de forma natural. Los médanos suelen ser arenas cuarzosas, con algo de mica.

“En general, un suelo transportado queda descrito por un “perfil estratigráfico”, que resalte la secuencia de colocación y el espesor de sus estratos.” (Juárez Badillo y Rico Rodríguez; 2005: 36)

En cuanto los suelos residuales, los mismos autores mencionan dos conceptos fundamentales para su comprensión, el perfil de meteorización y el conjunto de estructuras heredadas.

El perfil de meteorización se refiere a las propiedades principales del suelo que fueron adquiridas en el lugar de origen y que se superponen al material meteorizado, estos se ven afectados principalmente por ataques mecánicos y descomposición química que exista en el lugar, puede variar considerablemente de un punto a otro, debido al ataque de la erosión del suelo, el agua, y otros componentes físicos.

En cuanto al conjunto de estructuras heredadas hablamos de todas aquellas imperfecciones que se dieron en el suelo a la hora de su formación, como lo son

diaclasas, grietas, juntas, fallas, exfoliación, etc. Su importancia es tal que, si se requieren tomar muestras intactas de suelo, es muy poco probable que se encuentre alguna muestra representativa del material.

2.1.3.- Fases del suelo.

De acuerdo con Juárez Badillo y Rico Rodríguez (2005), un suelo se compone de tres fases, la sólida, la líquida y la gaseosa. Cuando se habla de la fase sólida, se refiere a todos los minerales que componen el suelo; la líquida está compuesta por agua, libre generalmente, aunque en algunas ocasiones el suelo puede contener algunos otros fluidos de menor importancia; la fase gaseosa se comprende generalmente por aire, aunque el suelo en ocasiones puede contener gases tales como vapores sulfurosos, anhídridos, etc. La capa viscosa de agua que se encuentra entre la fase sólida y líquida, se incluye en esta última ya que, si el suelo es sometido a un gran secado tiende a desaparecer.

En general, la fase sólida de suelos, compone el volumen de sólidos de una muestra de suelo, mientras que la fase líquida y gaseosa comprenden el volumen de vacíos que hay en un suelo.

Cuando todos los poros de un suelo están llenos de agua, se dice que el suelo es totalmente saturado, por ende, se manejan solo dos fases: la sólida y la líquida. Por lo general los suelos que se encuentran por debajo de algún manto freático son completamente saturados.

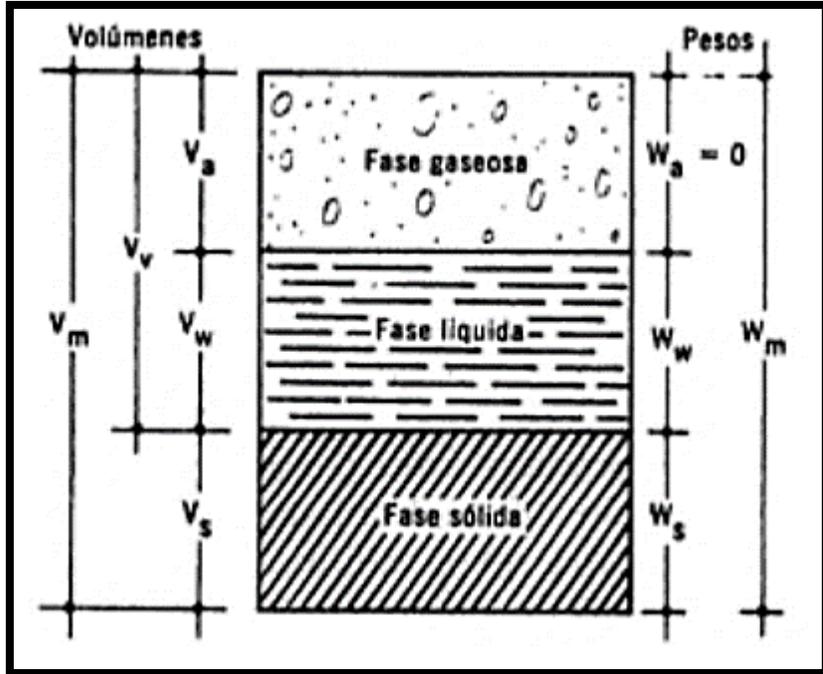


Imagen 2.1.- Esquema de una muestra de suelo.

Fuente: Juárez Badillo y Rico Rodríguez; 2005: 53.

Donde:

V_m = Volumen total de la muestra de suelo (volumen de la masa).

V_s = Volumen de la fase sólida de la muestra (volumen de sólidos).

V_v = Volumen de los vacíos de la muestra del suelo (volumen de vacíos).

V_w = Volumen de la fase líquida contenida en la muestra (volumen de agua).

V_a = Volumen de la fase gaseosa de la muestra (volumen de aire).

W_m = Peso total de la muestra del suelo (peso de la masa).

W_s = Peso de la fase sólida de la muestra (peso de los sólidos).

W_V = Peso de la fase líquida de la muestra (peso del agua).

W_A = Peso de la fase gaseosa de la muestra, convencionalmente considerado como nulo en la mecánica de suelos.

Para comprender de manera adecuada las fases del suelo, y así, poder hacer un correcto análisis del suelo y poder interpretar los resultados, es muy importante entender las siguientes relaciones fundamentales que Juárez Badillo y Rico Rodríguez (2005) mencionan:

- a) Relación de vacíos o índice de poros: es la relación entre el volumen de vacíos y volumen de sólidos de un suelo:

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

“La relación puede variar teóricamente de 0 ($V_v=0$) a ∞ (valor correspondiente a un espacio vacío). En la práctica no suelen hallarse valores menores a 0.25 (arenas muy compactas con finos) ni mayores de 15, en el caso de algunas arcillas altamente compresibles.” (Juárez Badillo y Rico Rodríguez; 2005: 54)

- b) Porosidad: es la relación entre el volumen de vacíos de un suelo y el volumen de su masa; se expresa como porcentaje:

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

Estos valores pueden ir desde 0, el valor ideal pues se trata de un suelo con solo fase sólida (sin vacíos) hasta 100, el cual sería un espacio vacío. En la realidad, estos valores oscilan entre el 25% y el 90%.

- c) Grado de saturación: se refiere a la relación que hay entre el volumen de agua y el volumen de vacíos, se expresa como porcentaje:

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

Puede ir de 0 a 100 (suelo seco a completamente saturado respectivamente).

- d) Contenido de agua: es la relación que hay entre el peso del agua de la muestra entre el peso de la fase sólida del mismo, y suele expresarse en porcentaje:

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

Varía teóricamente desde 0 hasta ∞ .

- e) Grado de saturación de aire: a comparación con las relaciones anteriores, esta es de escasa importancia, y se define por la relación que hay entre el volumen de aire entre el volumen de vacíos de la muestra; se expresa como porcentaje:

$$Ga(\%) = \frac{V_a}{V_v} \times 100$$

2.2.- Clasificación de los suelos.

A lo largo del tiempo, se han buscado diferentes métodos o alternativas para la clasificación de los suelos pues, en el ámbito ingenieril el conocimiento de las propiedades y características que componen un suelo son de vital importancia para la realización de infinidad de obras.

Juárez Badillo y Rico Rodríguez (2005) mencionan que si bien, con el paso del tiempo se fueron buscando diferentes métodos para la clasificación de suelos, estos mismos debían estar precedidos por estudios anteriores.

La clasificación de suelos, como se conoce actualmente, se debe en gran parte a los estudios realizados por el doctor A. Casagrande, quien fue el primero en encontrar un sistema adecuado para las necesidades que el campo requería.

Fue en 1942, cuando A. Casagrande publicó su estudio “Sistema de Clasificación de Aeropuertos”, el cual por obviedad, se llamaba así por estar enfocado a este tipo de obras.

Este sistema, acepta que el suelo está regido también por las características mecánicas y físicas del material que pasa la malla no. 200, y que a su vez, el material que es retenido en la misma, no es determinante para el comportamiento del material.

Casagrande en dicho sistema divide los suelos en dos fracciones importantes: la gruesa, que es todo material que pasa la de 3” (76.2 mm) pero que es retenida en la malla No. 200 (0,074 mm) y la fina, que es todo aquel material que pasa la malla No. 200.

La fracción gruesa de los suelos está comprendida por gravas y arenas, donde se tiene como límite la malla No. 4 (4.76 mm).

La fracción fina se subdivide en grupos, los cuales están determinados por las propiedades mecánicas e hidráulicas más importantes para los ingenieros civiles, las

cuales son: permeabilidad, deformación, resistencia, compresibilidad, velocidad de variación volumétrica, etc. La propiedad que más influye en la división de estos grupos es la compresibilidad, que está ligada directamente con el límite líquido de un material. La compresibilidad aumenta de manera proporcional a como lo haga el límite líquido, permaneciendo todos los demás valores constantes.

Así pues, se señala con base en los estudios que los suelos finos, que no sean de origen volcánico, suelen tener valores de límite líquido menores a 100, con esto, se subdividen los materiales finos en dos grupos: los de baja a media compresibilidad, cuyos valores de límite líquido están por debajo del 50% y los de alta compresibilidad, cuyos valores de límite líquido están por arriba del 50%.

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

De acuerdo con Juárez Badillo y Rico Rodríguez (2005) este sistema se basa en el de Aeropuertos, creado por Casagrande, y se dice en ocasiones que es el mismo con pequeñas modificaciones.

Este sistema incluye a los suelos finos y gruesos, separándolos a ambos por el cribado a través de la malla No. 200. Los suelos gruesos son aquellos en los que más del 50% del peso del material es retenido en la malla No. 200, mientras que los suelos finos son aquellos donde pasa más del 50% en peso, a través de dicha malla.

En los siguientes subtemas se hablará de dichos suelos y sus diferentes subdivisiones en cada uno de ellos.

2.2.1.1.- Suelos gruesos.

Dentro de los suelos gruesos encuentran las gravas (G) y las arenas (S). Los suelos gruesos se clasifican como gravas cuando más del 50% del material es retenido en la malla No. 4 (4.76 mm), mientras que se clasifican como arenas a todo material que logre pasar dicha malla.

A continuación se mencionan los diferentes grupos con los que se pueden clasificar a los suelos gruesos:

-Grava o arena bien graduada (GW o SW).

Estos suelos son bien graduados y con pocos finos o están limpios por completo. Se dice que la cantidad de finos que puedan obtener no afectan la capacidad de drenaje que el material pueda tener. Para poder clasificar a estos materiales como bien graduados, la cantidad de finos no debe ser mayor al 5%. Una grava bien graduada debe tener un coeficiente de uniformidad mayor a 4, mientras que el grado de curvatura debe estar entre 1 y 3. Para las arenas el grado de curvatura es igual que en las gravas, pero su coeficiente de uniformidad deberá ser mayor a 6.

-Grava o arena mal graduada (GP o SP).

Estos suelos son mal graduados; a simple vista predomina el tamaño de la arena o finos según sea el caso, pero no cumplen con los requisitos de graduación como para tomarse como bien graduados. En las pruebas de laboratorio deben cumplir con los mismos requisitos del grupo anterior.

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

En estos grupos la presencia de material finos no plásticos (limos) es de entre el 5 y 12%. El contenido de estos finos suele afectar la resistencia así como el esfuerzo-deformación del material. En el caso de que este material cumpla con las características de una grava bien graduada, se utilizará el símbolo doble GW-GM. Para las arenas bien graduadas ocurrirá de igual forma usándose SW-SM.

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

Si el material contiene entre el 5% y 12% de material fino no plástico (limo), y no cumple con los requisitos de un material grueso bien graduado, entonces se le dará el símbolo de grava limosa mal graduada GP-GM o arena limosa mal graduada SP-SM según sea el caso.

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

En estos grupos la presencia de material finos plásticos (arcillas) es de entre el 5 y 12%. En el caso de que este material cumpla con las características de una grava bien graduada, se utilizará el símbolo doble GW-GC. Para las arenas bien graduadas ocurrirá de igual forma usándose SW-SC.

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

Si el material contiene entre el 5% y 12% de material finos plásticos (arcillas), y no cumple con los requisitos de un material grueso bien graduado, entonces se le dará el símbolo de grava limosa mal graduada GP-GC o arena limosa mal graduada SP-SC según sea el caso.

Tipo	Sub-Tipos	Identificación	Símbolo de Grupo				
Suelos (partículas menores de 7.5 cm)	SUELOS GRUESOS Mas de la mitad del material se retiene en la malla N°200 (0,075 mm)	GRAVA Mas de la mitad de la fracción gruesa se retiene en la malla N°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 (C_u) mayor de 4 y un coeficiente de curvatura (C_c) entre 1 y 3 ^{III}	Menos del 5% en masa pasa la malla N°200	GW	
			GRAVA CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas)	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 N°200	GP	
			GRAVA CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas)	Grava limosa; mezcla de grava, arena y limo.	Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como ML o MH (véanse abajo los grupo ML y MH)	GM	
		ARENA Mas de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla N°4	ARENA LIMPIA (Poco o nada de partículas finas)	Arena bien graduada; mezcla de arena y grava con poco o nada de finos. Debe tener un coeficiente de uniformidad (C_u) mayor de 6 y un coeficiente de curvatura (C_c) entre 1 y 3 ^{III}	Menos del 5% en masa pasa la malla N°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 N°200	SP	
			ARENA CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas)	Arena limosa; mezcla de arena, grava y limo.	Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como ML o MH (véanse abajo los grupo ML y MH)	SM	
				Arena arcillosa; mezclas de arena, grava y arcilla.	Más de 12% en masa pasa la malla N°200 y las pruebas de límites de consistencia clasifican a la fracción fina como CL o CH (véanse abajo los grupo CL y CH)	SC	
			SUELOS FINOS Mas de la mitad del material pasa la malla N°200 (0,075 mm)	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 mostrada en la Figura 1 de este Manual.	ML
					Mayor de 50%	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 mostrada en la Figura 1 de este Manual.	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 mostrada en la Figura 1 de este Manual.	OL					
	ALTAMENTE ORGÁNICOS	LIMO Y ARCILLA Límite líquido	Menor 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 mostrada en la Figura 1 de este Manual.	MH		
			Mayor de 50%	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 mostrada en la Figura 1 de este Manual.	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 mostrada en la Figura 1 de este Manual.	OH			
			Turba, fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa.	P _t			

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

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

2.2.1.2.- Suelos finos.

Dentro de los suelos finos se consideran los limos (M) y las arcillas (C), estos se definen según su plasticidad, y a su vez, se subdividen en alta o baja compresibilidad.

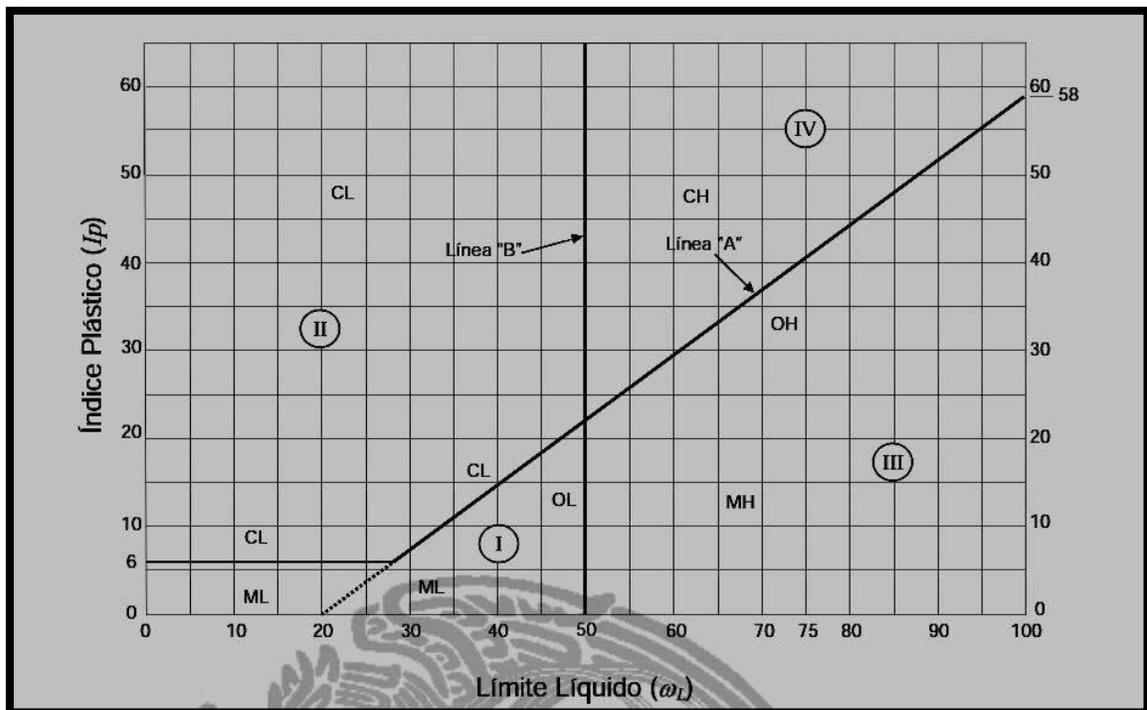


Imagen 2.3.- Carta de Plasticidad

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

-Arcillas de alta o baja compresibilidad (CH o CL).

Estos grupos se encuentran situados sobre la línea A de la carta de plasticidad. Las arcillas inorgánicas de baja compresibilidad (CL) tienen un límite líquido menor al 50% y cuentan con un índice plástico mayor al 7%.

Por su parte, las arcillas de alta compresibilidad (CH) cuentan con un índice plástico mayor al 50% e índice plástico mayor al 7%. Estas arcillas son producto de la descomposición de cenizas volcánicas.

-Limos de alta o baja compresibilidad (MH o ML).

Los limos de baja compresibilidad (ML) se encuentran por debajo de la línea A de la carta de plasticidad, y su límite líquido usualmente es menor al 50% y su índice plástico es menor a 4. Los limos de alta compresibilidad (MH) tienen valores de límite plástico mayores al 50% y un índice plástico igual a los ML.

Dentro del grupo ML se pueden encontrar limos arcillosos e inorgánicos. Los limos inorgánicos suelen tener valores de límite líquido menores al 30%. Por su parte los limos de tipo Loess, tienen un límite líquido (LL) entre el 25 y 30%.

-Limos o arcillas orgánicas de alta o baja compresibilidad (OH u OL).

Los limos y arcillas suelen englobarse en este grupo, cuando hay materia orgánica presente en el material. Normalmente estos suelos son tales como turbas o pantanos, los cuales son suelos altamente compresibles.

Estos suelos se encuentran debajo de la línea A de la carta de plasticidad, y tienden a tener las mismas características que un ML o MH, solo que la existencia de materia orgánica hace que el suelo se mueva hacia la derecha dentro de la carta de plasticidad.

-Suelos altamente orgánicos (Pt).

Estos suelos no tienden a agruparse en alguno de los grupos presentes en la tabla del SUCS, por lo que para la identificación de los mismos, tanto en suelos gruesos y finos suelen recopilarse los siguientes datos para su clasificación:

- Suelos gruesos: cementación, condiciones de humedad, compacidad, estratigrafía y condiciones de drenaje.
- Suelos finos: olor, color del suelo, cantidad de granos gruesos, grado y carácter de plasticidad, nombre típico, etc.

2.3. Pruebas de laboratorio enfocadas a vías terrestres.

Dentro de las vías terrestres, existen varias pruebas que ayudan a determinar las propiedades y calidad de los materiales con los que se dispone. Las pruebas en las cuales se adentrará en los subtemas posteriores son las más utilizadas en la conformación de pavimentos, y sobre todo, en la calidad del terreno sobre el cual se desplantará la obra.

Para la realización de pruebas en México, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) cuenta con una normativa que indica las diferentes pruebas que se pueden realizar (muestreo de materiales, composición granulométrica, límites de consistencia, etc.), y con ella los distintos encargados de obra pueden apoyarse para hacer los trabajos adecuados correspondientes.

2.3.1. Muestreo de Materiales.

Dentro de las normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y más específico, la norma N-MMP-1-01/03, se habla acerca del muestreo de materiales y los diferentes tipos de muestras que existen al realizarse los estudios.

El muestreo de materiales es aquel procedimiento en el que se estudia el material y/o materiales con los que se pretende construir una terracería, o bien, un material ya existente en el área de rodamiento. Este procedimiento consiste en tomar una muestra representativa del suelo para hacerse los estudios correspondientes. Dentro del muestreo existen tres tipos diferentes: muestras cúbicas inalteradas, muestras representativas y las muestras integrales.

Las muestras inalteradas son aquellas que conservan las propiedades físicas con las que el suelo constaba antes de extraerse, como lo es la cantidad de agua; por lo regular estas pruebas tienden a ser cúbicas, de 40 cm por lado. La extracción de estas pruebas debe hacerse de manera muy cuidadosa pues, cualquier error en su transporte o manejo hace que deje de ser inalterada. Para su cuidado y la conservación de sus propiedades, la muestra se protege con una membrana impermeable, para evitar cualquier contacto con agentes externos.

Las muestras representativas son aquellas que están formadas por partículas disgregadas o fragmentadas, que se conservan de forma cuidadosa en bolsas de plástico impermeables para que así se conserve la cantidad de agua y consecuentemente se usen en las pruebas de laboratorio.

Las muestras integrales son aquellas que están formadas por partículas disgregadas o fragmentadas, que son producto de diversos estratos, en los que se representan los diferentes materiales, en la proporción que intervienen.

Para la obtención de las diferentes muestras se utilizan diversas herramientas como lo son: pala, pico, espátulas, brochas, seguetas, machetes, espátulas, llaves, flexómetro, etc.

Las normas de la SCT establecen el tipo, número y tamaño de las muestras según se requiera:

Propósito del muestreo	Tipo y número	Tamaño de las muestras parciales ^[1] kg
Determinar la estratigrafía y propiedades del subsuelo a lo largo del trazo de una obra o seleccionar los préstamos y bancos para terracerías	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 150 m 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. El número será definido por el responsable del estudio	[3]
Estudio de almacenamientos	Una muestra integral por cada 1 000 m ³ de material homogéneo ^[2]	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 para subrasante	50

Imagen 2.4.- Número y tamaño de las muestras.

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

2.3.2.- Composición granulométrica.

La normativa de la SCT y en especial, la norma N-MMP-1-06/03, habla acerca de las pruebas estándar y simplificada, las cuales permiten estudiar la composición granulométrica de los materiales.

Estas pruebas permiten determinar el tamaño de las partículas (granulometría) mediante el paso del material por una serie de mallas. Este procedimiento consiste en verter el material a través de las mallas, en donde las primeras tienen una abertura más grande, y van disminuyendo su abertura, así, cierta cantidad del material se queda retenido en cada malla hasta llegar a la que tiene las aberturas más pequeñas, y con esto, obtener la masa del material que se retiene en cada malla, obtener el porcentaje respecto al total y determinar la cantidad de porcentaje que pasa.

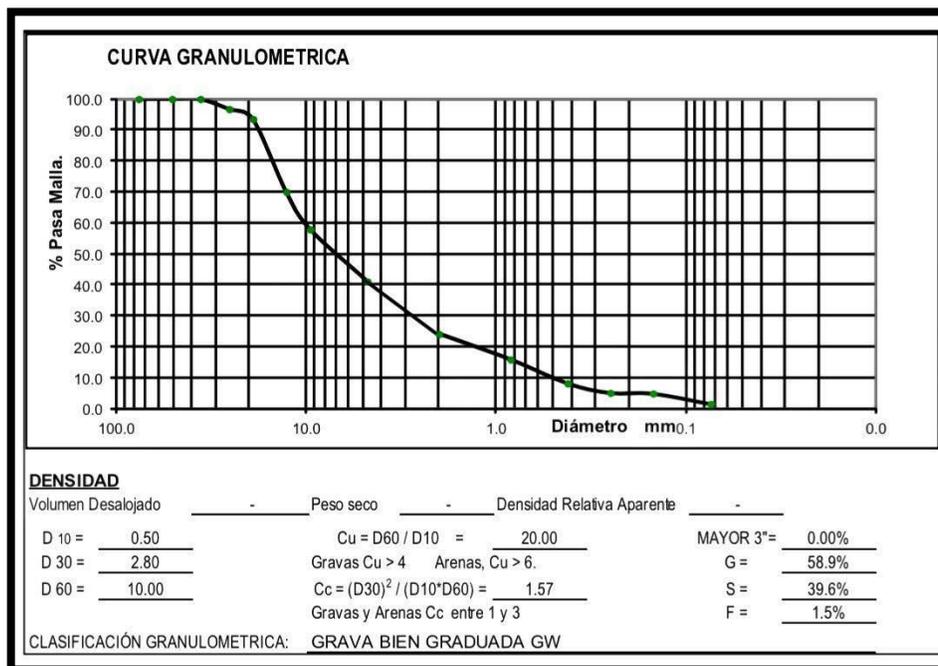


Imagen 2.5.- Ejemplo de curva granulométrica para una GW

Fuente: Galván Sierra; 2012: 54.

Las mallas, que se mencionaron anteriormente, están establecidas de la manera siguiente:

Unidades en mm						
Fracción	Malla		Variación permisible de la abertura promedio con respecto a la denominación de la malla	Abertura máxima permisible para no más del 5% de las aberturas de la malla	Abertura máxima individual permisible	Diámetro nominal del alambre ^[1]
	Designación	Abertura nominal				
Grava	3"	75,0	± 2,2	78,1	78,7	5,80
	2"	50,0	± 1,5	52,1	52,6	5,05
	1½"	37,5	± 1,1	39,1	39,5	4,59
	1"	25,0	± 0,8	26,1	26,4	3,80
	¾"	19,0	± 0,6	19,9	20,1	3,30
	½"	12,5	± 0,39	13,10	13,31	2,67
	⅜"	9,5	± 0,30	9,97	10,16	2,27
	¼"	6,3	± 0,20	6,64	6,78	1,82
	N°4	4,75	± 0,15	5,02	5,14	1,54
Arena con finos	N°10	2,0	± 0,070	2,135	2,215	0,900
	N°20	0,850	± 0,035	0,925	0,970	0,510
	N°40	0,425	± 0,019	0,471	0,502	0,290
	N°60	0,250	± 0,012	0,283	0,306	0,180
	N°100	0,150	± 0,008	0,174	0,192	0,110
	N°200	0,075	± 0,005	0,091	0,103	0,053

Imagen 2.6.- Disposición de mallas y tamaño de aberturas.

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

2.3.4. Límites de consistencia.

La norma M-MMP-1-07/07 de la SCT establece que la prueba para límites de consistencia permite clasificar a los materiales que pasan la malla número 40 (0.425 mm), a través de la plasticidad de los mismos.

Las pruebas tienen como fin, determinar el límite líquido del material, es decir, la cantidad de agua que necesita un material plástico para adquirir una resistencia al

Para obtener el índice plástico se calcula la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico. Con estos valores, y apoyándose en la carta de plasticidad, se puede obtener la clasificación del

Para la realización de esta prueba, es vital contar con un aparato llamado Copa de Casagrande, la cual debe estar perfectamente calibrada para su correcto funcionamiento.

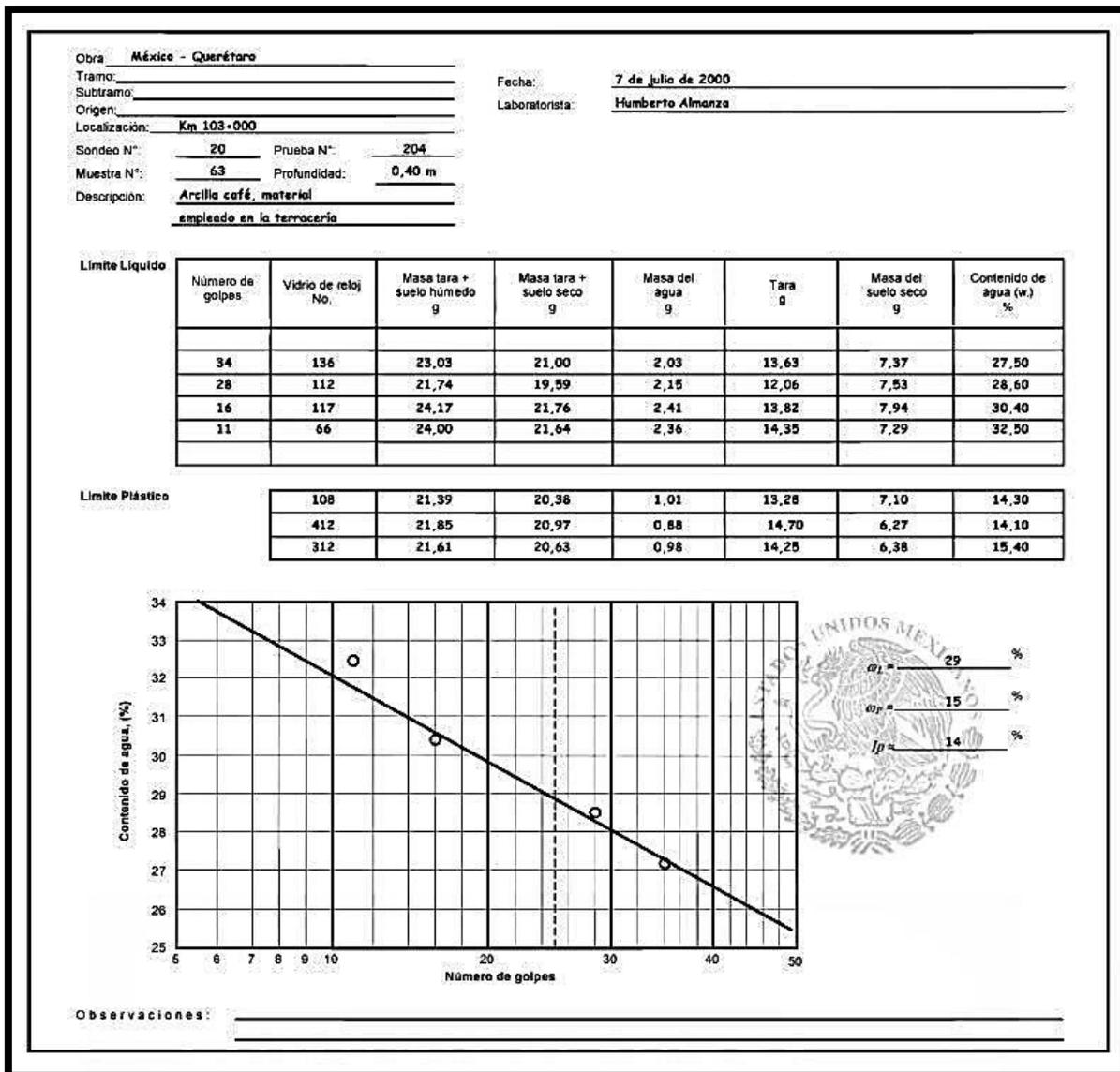


Imagen 2.8.- Ejemplo de determinación de límites de plasticidad.

Fuente: Norma SCT M-MMP-1-07/07; 2007: 9.

2.3.4.- Valor Relativo de Soporte (VRS).

“Se define como la relación entre la presión necesaria para penetrar los primeros 0.25 cm en un material de prueba y la presión requerida para penetrar la misma cantidad en un material de características conocidas, adoptado como referencia”. (Salazar; 1998: 4)

De acuerdo con Salazar (1998) el material con el cual se realizan estas pruebas suele ser piedra triturada, y el proceso consiste en utilizar un vástago de 19.4 cm² que penetra en una proporción de 0.127 cm/min, en el suelo a estudiar. Así pues, se evalúa la carga que se necesita para que el vástago de 0.25 cm pueda penetrar la muestra.

Para este determinado espécimen (piedra triturada), se aplican ciertas presiones para conseguir las debidas penetraciones, las cuales se muestran en la imagen 2.9.

Penetración en cm	Presión en el vástago, kg/ cm ²
0.25	0.70
0.50	105
0.75	133
1.00	161
1.25	182

Imagen 2.9.- Prueba de VRS.

Fuente: Salazar; 1998:4.

Por otra parte, la norma M-MMP-1-11/08 de la SCT, establece las pruebas para obtener la expansión del espécimen a manejar debido a la saturación, así como para obtener el Valor de Soporte de California (CBR) para materiales compactados dinámicamente.

Cabe mencionar que la norma habla del Valor de Relativo de Soporte (VRS) y del Valor de Soporte de California (CBR), como el mismo tipo de prueba.

Esta norma menciona que el procedimiento consiste en compactar dinámicamente 3 especímenes del material de banco a estudiar con diferentes energías, y que estas muestras contengan la misma cantidad de agua que el materia a 1.5 m de profundidad. Estos especímenes se saturaran hasta obtener un cambio volumétrico, y después se les coloca un pistón de acero para así aplicarlas las diferentes cargas para obtener las penetraciones necesarias.

Por lo que "(...) la menor relación en porcentaje de las cargas aplicadas para producir penetraciones de 2,54 mm y 5,08 mm, entre las cargas de referencia de 13,34 kN (1 360 kg) y 20,01 kN (2 040 kg) respectivamente, es su correspondiente Valor Soporte de California (CBR)". (Norma SCT M-MMP-1-11/08; 2008: 1)

2.3.5.- Prueba de Placa.

De acuerdo con Salazar (1998), esta prueba se basa en aplicar cierta presión sobre la subbase y la base, para determinar así determinar el módulo de reacción "k", mediante el cual se toma partida para el diseño de los pavimentos rígidos.

La prueba consiste en utilizar una placa de 76.2 cm (30") de diámetro sobre la superficie, y sobre esta, se apilan dos placas más, de 45 y 60 cm para reducir la

posibilidad de que se presente flexión. En México, se agrega una placa más, de 30 cm (12") de diámetro, para obtener los módulos de reacción y la capacidad de carga superficial del material.

La carga se aplica mediante gatos hidráulicos, sobre los cuales se apoya una viga de acero como medio de reacción, la cual se sujeta a la parte inferior de un camión, para que este actúe como contrapeso.

“Los desplazamientos verticales se miden mediante tres micrómetros (extensómetros) separados a 120° entre sí. Los puntos de apoyo de la viga de medición, sobre la cual miden los extensómetros, deben estar lo más retirados del lugar de carga, a no menos de 5 m”. (Salazar; 1998: 4)

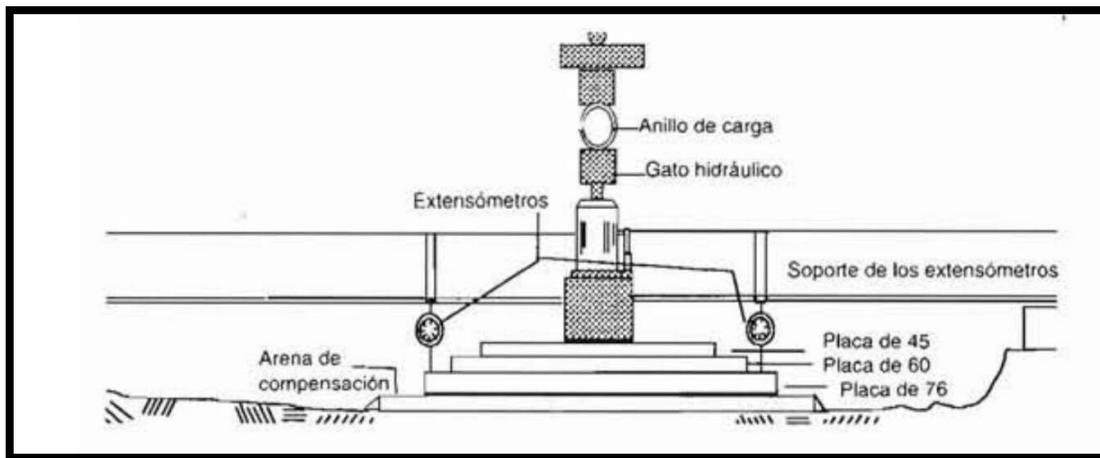


Imagen 2.10.- Prueba de placa en campo.

Fuente: Salazar; 1998: 5.

Este mismo autor menciona, que durante la prueba es común ejercer presiones hasta que los esfuerzos alcanzan los 0.7 kg/cm^2 . Además, las cargas se dejan constantes hasta que las deformaciones se consoliden y no sobrepasen los

2.3.6.- Prueba AASHTO.

De acuerdo con la norma M-MMP-1-09/06 de la SCT, esta prueba tiene como fin, conocer el contenido óptimo de agua así como la masa volumétrica seca máxima mediante la curva de compactación, para los materiales de terraplén, capa

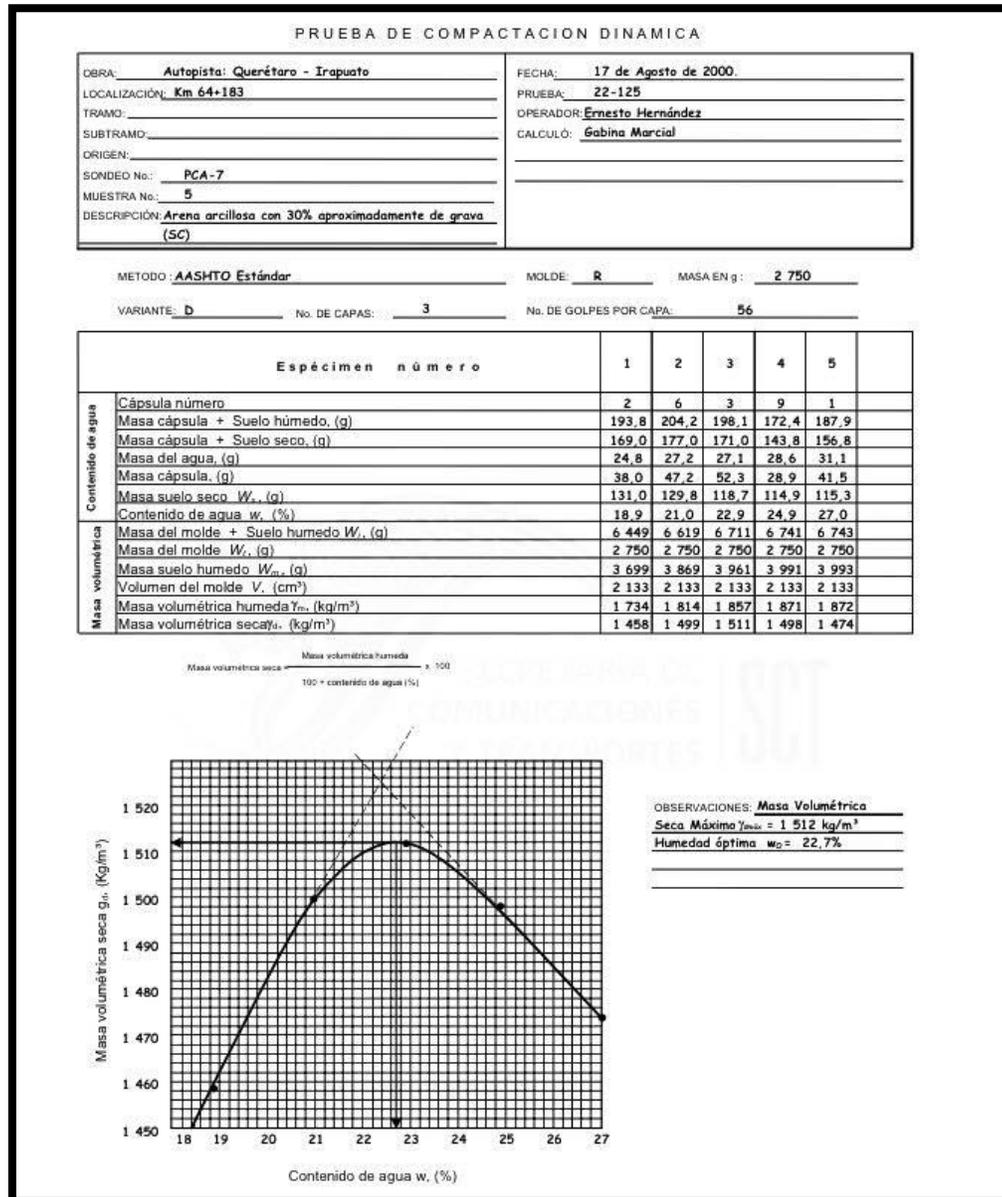


Imagen 2.12.- Ejemplo de registro y hoja de compactación para prueba dinámica AASHTO.

Fuente: Norma SCT M-MMP-1-09/06; 2006: 6.

subyacente y para subrasante.

“Las pruebas permiten determinar la curva de compactación de los materiales para terracerías y a partir de ésta inferir su masa volumétrica seca máxima y su contenido de agua óptimo. Consisten en determinar las masas volumétricas secas de un material compactado con diferentes contenidos de agua, mediante la aplicación de una misma energía de compactación en prueba dinámica y, graficando los puntos correspondientes a cada determinación, trazar la curva de compactación del material”. (Norma SCT M-MMP-1-09/06; 2006: 1)

Cabe mencionar, que para las pruebas en materiales de terraplén, subyacente y subrasante, se utiliza la prueba AASHTO Estándar, mientras que para las capas de subbase y base se utiliza la prueba AASHTO Modificado.

CAPÍTULO 3

RESUMEN DE MACRO Y MICROLOCALIZACIÓN

Dentro de este capítulo se presenta la ubicación del lugar en el cual se está llevando a cabo la investigación, así como las características geológicas e hidrológicas del suelo. Además se mostrará mediante un registro fotográfico la situación actual del lugar en estudio.

3.1. Generalidades.

La presente investigación se realiza para determinar el diseño de un pavimento rígido, ubicado en los estacionamientos de la Universidad Don Vasco A.C., el cual se basa en las normativas y procedimientos necesarios para realizar dicha estructura.

El primer aspecto que se debe tomó en cuenta es el estudio de mecánica de suelos, a partir del cual se conoce el Valor Relativo de Soporte (VRS), fundamental para para conocer la capacidad portante del terreno, sobre el cual se cimentará la estructura de pavimento. Para este estudio se tomaron muestras alteradas de cada uno de los estacionamientos a diseñar, las cuales se analizaron en el laboratorio para así obtener todos los valores correspondientes a la prueba. Dichos resultados se encuentran resumidos en las tablas que componen en el anexo 1.

Otro aspecto importante fue el aforo vehicular, el cual al tratarse de un estacionamiento, se conformó mediante el conteo de los cajones de estacionamiento

que se encontraban pintados con cal sobre el terreno, y con ello, conocer los ejes que afectarán al pavimento a lo largo de su vida útil.

3.1.1. Objetivos.

El propósito de la presente tesis es proponer el diseño adecuado de pavimentación en los estacionamientos 4,5 y Oriente de la Universidad Don Vasco A.C., que cumpla con las condiciones solicitadas por el tránsito que circula dentro de la universidad.

3.1.2. Alcance del proyecto.

La presente investigación, tiene como fin hacer el estudio correspondiente de mecánica de suelos, en este caso el Valor Relativo de Soporte (VRS), para así hacer la propuesta del diseño de la estructura de pavimento reforzado, de acuerdo a las solicitudes y necesidades del terreno. Con esto, se beneficiarán tanto los alumnos, maestros y directivos de la Universidad Don Vasco A.C.

3.2. Resumen ejecutivo.

Para la realización de la investigación, se comenzó por solicitar los planos de la Universidad Don Vasco A.C. a las autoridades correspondientes, en este caso, el director de la carrera de ingeniería civil, el I.C. Anastacio Blanco Simiano.

Fue necesario hablar con el encargado del departamento de servicios generales de la universidad, para pedir la autorización de realizar los pozos en los estacionamientos, de los cuales se sacarían las muestras necesarias para poder realizar las pruebas en laboratorio.

También se le solicitó al director de la carrera de ingeniería civil, el I.C. Anastacio Blanco Simiano, el acceso a las instalaciones del laboratorio de suelos, para poder hacer el secado del material.

De igual forma, mediante el apoyo del I.C. Anastacio Blanco Simiano, se le solicito al M.I. Esteban Brito sus laboratorios de mecánica de suelos, para poder realizar las pruebas de VRS del material. Esto último con el apoyo del I.C. Joaquín Galván Sierra.

3.3. Entorno geográfico.

Enseguida, se plasmarán los componentes geográficos en los cuales está envuelta esta investigación, desde su marco y microlocalización, hasta la geología, hidrología y uso del suelo, tanto regional, como de la zona de estudio.

3.3.1. Macro y microlocalización.

El territorio mexicano tiene una superficie de México, cuyo nombre oficial es Estados Unidos Mexicanos, es un país de América, ubicado en la parte meridional de América del Norte. Su capital es la Ciudad de México. Políticamente es una república democrática, representativa y federal compuesta por 32 entidades federativas (31 estados y la Ciudad de México).

México tiene una superficie 1 964 375 km². Limita al norte con los Estados Unidos de América a lo largo de una frontera de 3155 km, mientras que al sur tiene una frontera de 958 km con Guatemala y 276 km con Belice; las costas del país limitan al oeste con el océano Pacífico y al este con el golfo de México y el mar

Caribe, sumando 9 330 km, por lo que es el tercer país americano con mayor longitud de costas.



Imagen 3.1. Mapa de la República Mexicana

Fuente: www.cgsign.blogspot.mx, 2017.

Michoacán es uno de los treinta y un estados que, junto con la Ciudad de México, forman los Estados Unidos Mexicanos. Su capital y ciudad más poblada es Morelia. Está ubicado en la región oeste del país, limitando al norte con Colima, Jalisco y Guanajuato, al noreste con Querétaro, al este con el Estado de México, al sur con el río Balsas que lo separa de Guerrero, y al oeste con el océano Pacífico. Con 4 584 471 hab. en 2015 es el octavo estado más poblado, por detrás del Estado de México, Veracruz, Jalisco, Puebla, Guanajuato, Chiapas y Nuevo León. Fue fundado el 22 de diciembre de 1823.

Se divide en 113 municipios. Su capital es la ciudad de Morelia, antiguamente llamada Valladolid, que lleva su nombre actual en honor a José María Morelos y Pavón, héroe de la independencia de México. Otras localidades importantes son Zamora de Hidalgo, Ciudad Lázaro Cárdenas, Uruapan del Progreso, La Piedad de Cabadas, Apatzingán de la Constitución, Pátzcuaro, Sahuayo de Morelos, Heroica Zitácuaro, Ario de Rosales, Zacapu, Cotija de la Paz, entre otras.

El estado de Michoacán se ubica en el centro-oeste del territorio mexicano.



Imagen 3.2. Ubicación del estado de Michoacán dentro de México.

Fuente: www.travelbymexico.com

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. Cubre 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.

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

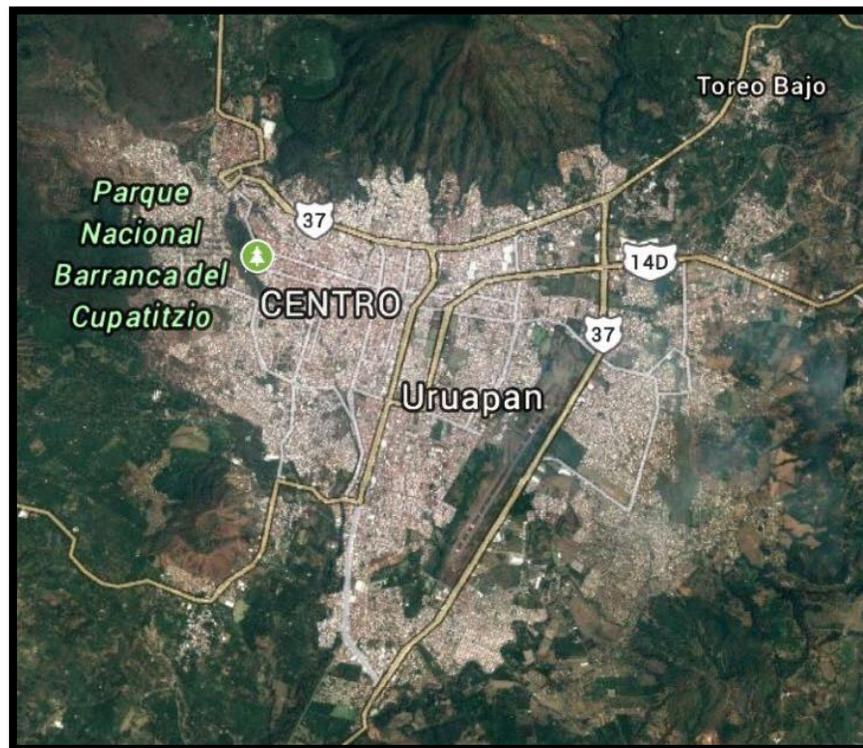


Imagen 3.3. Ubicación de la ciudad de Uruapan, Michoacán.

Fuente: Google Earth, 2017.

El municipio de Uruapan se localiza en la zona centro-occidente del estado de Michoacán, tiene una extensión territorial total de 954.17 kilómetros cuadrados que equivalen al 1,62% de la extensión total del estado. Sus límites son al norte con el municipio de Charapan, el municipio de Paracho y el municipio de Nahuatzen; al este con el municipio de Tingambato, al municipio de Ziracuaretiro y el municipio de Taretan; al sureste con el municipio de Nuevo Urecho; al sur con el municipio de Gabriel Zamora y el municipio de Parácuaro; al oeste con el municipio de Nuevo Parangaricutiro, con el municipio de Peribán, con el municipio de Tancítaro y con el municipio de Los Reyes.

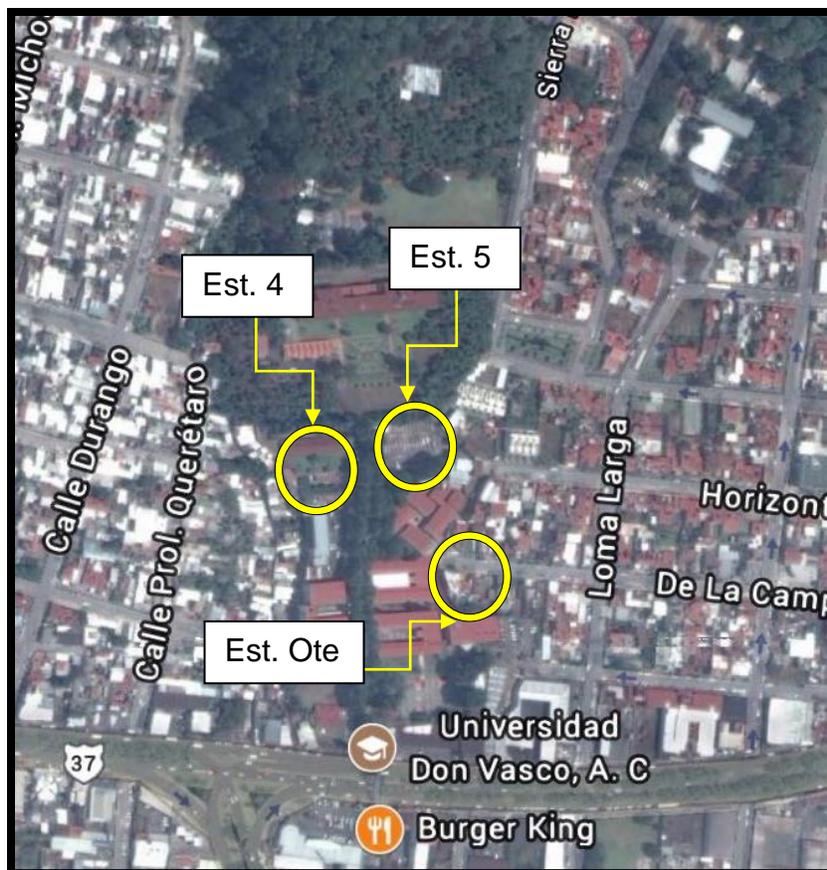


Imagen 3.4. Ubicación del sitio de estudio en la ciudad de Uruapan, Michoacán.

Fuente: Google Earth, 2017.

La posición geográfica del lugar en estudio (Universidad Don Vasco A.C.) se encuentra en las coordenadas 19°25'40.70" de latitud norte y 102°02'50.59" de longitud oeste, a una elevación de 1667 m sobre el nivel del mar. Limita al norte con las faldas del Cerro de la Cruz y el Residencial Don Vasco, al este con el fraccionamiento Lomas del Valle Norte, al oeste con La Bolita y al sur con la Calzada Benito Juárez.

El área del estacionamiento 4 es de 997.23 m² aproximadamente, la del estacionamiento 5 es de 1855.18 m² aproximadamente, mientras que el estacionamiento oriente cuenta con 1115.26 m² aproximadamente. La suma de los tres nos da un total de 4522.17 m².

3.3.2. Geología regional y de la zona de estudio.

El municipio de Uruapan, se encuentra sobre el área denominada como el Provincia Neovolcánica Purépecha, la cual es perteneciente al Eje Neovolcánico, en el cual se presenta una topografía accidentada que incluye formas altas y redondas, todo esto debido a la gran cantidad de volcanes existentes en el área, como lo es el volcán Parícutín, todo esto según el Diario Oficial de Federación (2015).

Menciona también, que estas figuras, se pueden encontrar en la parte noroccidental del municipio, mientras que en la parte sureste se presentan una serie de mesetas.

El Periódico Oficial del Gobierno Constitucional del Estado de Michoacán de Ocampo (2016) menciona que el municipio se encuentra en la zona periférica de la sierra tarasca. Debido a que la zona en la que se encuentra es altamente volcánica,

los alrededores de la ciudad tienen un paisaje montañoso, producto de la gran cantidad de volcanes extinguidos en la zona. El área en la que se ubica es una de las cordilleras de más reciente formación en México, por lo que la zona presenta una gran actividad sísmica.

Dentro del distrito de Uruapan, se encuentran 3 tipos de suelo característicos de la región, el primero es un limo amarillo café que se encuentra en las grandes montañas; el segundo es el tupuri, una marga arenosa fina que se encuentra en los valles y laderas; y el tercero y más característico es el rojo arcilloso denominado "charanda", sobre los que está acentuada gran parte de Uruapan.

La Universidad Don Vasco A.C. se encuentra en las faldas del Cerro de La Cruz, por lo que el suelo puede ser de dos tipos de acuerdo a lo mencionado anteriormente, un limo amarillo café, o la charanda.

3.3.3. Hidrología regional y de la zona de estudio.

De acuerdo con el Periódico Oficial del Gobierno Constitucional del Estado de Michoacán de Ocampo (2016), Uruapan pertenece a la cuenca del Río Cupatitzio, la cual se encuentra en la región hidrológica no. 18, Río Balsas.

A su vez, la cuenca del Río Cupatitzio forma parte de la Sub-región Bajo Balsas y se localiza en la porción centro occidente del Estado de Michoacán, entre las coordenadas geográficas 18° 38' 14" y 19°45'24" latitud norte y 101°36'15" y 102°17'30" longitud oeste. La extensión territorial de dicha cuenca es de 2851.73 Km².

Dentro de la ciudad podemos encontrar cinco ríos importantes; Río Cupatitzio con una superficie del municipio del 58.4%, río que nace de una serie de manantiales, en la zona del Parque Nacional “Barranca del Cupatitzio”, y sigue un curso tal que atraviesa la zona oeste de la ciudad. Éste río es uno de los afluentes del Río Tepalcatepec, mismo que se ubica en la cuenca hidrológica del Río Balsas. El Río Santa Bárbara, que nace de una serie de manantiales ubicados en la zona oriente de la ciudad principalmente del manantial Piedra Ancha, cruzando la ciudad de norte a sur y es afluente del Río Cupatitzio. Río Paracho-Nahuatzen con una superficie del municipio del 19.6%. Río La Parota con una superficie del municipio del 15.3%. Río Itzícuaró con una superficie del municipio del 6% y Río Bajo Tepalcatepec con una superficie del municipio del 0.7%.

3.3.4. Uso de suelo regional y de la zona de estudio.

De acuerdo con el Periódico Oficial del Gobierno Constitucional del Estado de Michoacán de Ocampo (2016), el suelo en Uruapan es principalmente de uso forestal, y en menor medida agrícola y ganadero. Cabe mencionar que la agricultura dentro de la ciudad es de gran importancia, ya que la ciudad de Uruapan es conocida mundialmente por ser la capital mundial del aguacate.

A continuación se muestran los porcentajes de uso de suelo dentro de la ciudad:

- Forestal: 38,520 hectáreas (51%)
- Agrícola: 22,521 hectáreas (30%)
- Pecuaria: 8,305 hectáreas (11%)

- Otros usos: 6,376 hectáreas (8%)
- Total: 76,112 hectáreas

La Universidad Don Vasco A.C., se encuentra en una zona de la ciudad donde el uso de suelo, debido a la urbanización y crecimiento de la población es de tipo urbano.

3.4. Informe fotográfico.

A continuación, se presentará la evidencia fotográfica del lugar de estudio, que comprende los pozos a cielo abierto en los distintos estacionamientos como evidencia del estado actual del lugar.



Imagen 3.6. Entrada del estacionamiento 4.

Fuente: Propia.

En las imágenes 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10 y 3.11, se puede observar el interior del estacionamiento 4, en donde se percibe que no existe ningún tipo de pavimento y que sobre la superficie de rodamiento solo se cuenta con una capa de filtro. Además, se observa que los cajones se delimitan mediante líneas de cal, así como la presencia de árboles en el medio.



Imagen 3.7. Interior de estacionamiento 4.

Fuente: Propia.



Imagen 3.8. Interior de estacionamiento 4.

Fuente: Propia.



Imagen 3.9. Interior de estacionamiento 4.

Fuente: Propia.



Imagen 3.10. Interior de estacionamiento 4.

Fuente: Propia.



Imagen 3.11. Interior de estacionamiento 4.

Fuente: Propia.



Imagen 3.12. Elaboración de pozo a cielo abierto en estacionamiento 4.

Fuente: Propia.

En las imágenes 3.12, 3.13, 3.14 y 3.15 se observa el momento en que se realizaron los pozos a cielo abierto en el estacionamiento 4 para la obtención del material (suelo), en donde se excavo y tomaron las medidas hasta obtener la profundidad necesaria.



Imagen 3.13. Elaboración de pozo a cielo abierto en estacionamiento 4.

Fuente: Propia.



Imagen 3.14. Elaboración de pozo a cielo abierto en estacionamiento 4.

Fuente: Propia.



Imagen 3.15. Elaboración de pozo a cielo abierto en estacionamiento 4.

Fuente: Propia.



Imagen 3.16. Entrada a estacionamiento 5.

Fuente: Propia.

En las imágenes 3.16, 3.17, 3.18, 3.19 y 3.20 se puede observar el interior del estacionamiento 5, en donde se percibe que no existe ningún tipo de pavimento y que sobre la superficie de rodamiento solo se cuenta con una capa de grava-arena y filtro. Además, se observa que los cajones se delimitan mediante líneas de cal así como la presencia de postes de luz.



Imagen 3.17. Interior de estacionamiento 5.

Fuente: Propia.



Imagen 3.18. Interior estacionamiento 5.

Fuente: Propia.



Imagen 3.19. Interior de estacionamiento 5.

Fuente: Propia.



Imagen 3.20. Interior estacionamiento 5.

Fuente: Propia.

En las imágenes 3.21, 3.22 y 3.23 se observa el momento en que se realizaron los pozos a cielo abierto en el estacionamiento 5 para la obtención del material (suelo), en donde se excavo y tomaron las medidas hasta obtener la profundidad necesaria.



Imagen 3.21. Elaboración de pozo a cielo abierto en estacionamiento 5.

Fuente: Propia.



Imagen 3.22. Elaboración de pozo a cielo abierto en estacionamiento 5.

Fuente: Propia.



Imagen 3.23. Pozo a cielo abierto en estacionamiento 5.

Fuente: Propia.



Imagen 3.24. Entrada a estacionamiento oriente.

Fuente: Propia.

La imagen 3.24 se observa la entrada del estacionamiento oriente de la Universidad Don Vasco A.C.

En las imágenes 3.25, 3.26, 3.27 y 3.28 se observa el interior del estacionamiento oriente, mostrando diversos vehículos y motocicletas dentro de él. Además se observa la presencia de jardineras con árboles y se percibe que la superficie de rodamiento consta de una capa de grava-arena bien compactada.

Las imágenes 3.29, 3.30 y 3.31 se observa el momento en que se realizaron los pozos a cielo abierto en el estacionamiento oriente para la obtención del material (suelo), en donde se excavo y tomaron las medidas hasta obtener la profundidad necesaria.



Imagen 3.25. Interior de estacionamiento oriente.

Fuente: Propia.



Imagen 3.26. Interior de estacionamiento oriente.

Fuente: Propia.



Imagen 3.27. Interior de estacionamiento oriente.

Fuente: Propia.



Imagen 3.28. Interior de estacionamiento oriente.

Fuente: Propia.



Imagen 3.29. Elaboración de pozo a cielo abierto en estacionamiento oriente.

Fuente: Propia.



Imagen 3.30. Pozo a cielo abierto en estacionamiento oriente.

Fuente: Propia.



Imagen 3.31. Recolección de material en pozo a cielo abierto en estacionamiento oriente.

Fuente: Propia.

3.5. Alternativas de solución.

Como alternativa de solución, se podría proponer un pavimento flexible que cumpla con los requerimientos; otra solución sería el adoquinado, el cual se encuentra en los estacionamientos 2 y 3 de la universidad.

3.6. Proceso de análisis.

Como se mencionó anteriormente, se comenzó por solicitar los planos de la Universidad Don Vasco A.C. a las autoridades correspondientes, el ingeniero Anastacio Blanco Simiano. Obtenidos los planos, se ubicaron los estacionamientos correspondientes sobre los cuales se propuso hacer los diseños (estacionamientos 4, 5 y oriente).

Después de esto, se habló con el encargado del departamento de servicios generales, para pedir la autorización de realizar los pozos en los estacionamientos, de los cuales se sacarían las muestras necesarias para poder realizar las pruebas en laboratorio.

A continuación, se realizaron excavaciones a 60 cm de profundidad aproximadamente, esto variando según la profundidad a la que se encontrara el terreno natural, para después, obtener el material que se sometería a las pruebas, que era entre 8 y 10 kg aproximadamente. Posterior a esto, el material húmedo se introdujo al horno del laboratorio de suelos de la Universidad Don Vasco A.C. durante 24 horas para secarlo y eliminar cualquier cantidad de líquido que existiera en el mismo, y así proceder a realizar las pruebas.

Ya con el material completamente seco se llevó el material a los laboratorios donde se realizarían las pruebas. En el laboratorio, se realizaron las pruebas de VRS, de las cuales se busca el VRS crítico de cada una, y con los resultados se eligió la mayor, que es la que nos dio el punto de partida para el comienzo del diseño.

A partir de los resultados arrojados por las muestras, se prosiguió a recopilar toda la información de los elementos que están involucrados en el diseño de pavimentos, como lo son el tránsito vehicular, las cargas aplicadas, módulo de ruptura del concreto, módulo de reacción “k”, factores de seguridad de carga, etc. Con esto se propusieron espesores de subbase para posteriormente comenzar a realizar los cálculos.

Para realizar los cálculos se realizó una hoja de cálculo en el programa de Excel, en la cual se introdujeron los datos recopilados, y se realizaron las fórmulas necesarias para que la hoja de cálculo fuese la adecuada para el diseño del pavimento.

Dentro de los cálculos se hicieron 3 propuestas de pavimento para así, observar cuál de las opciones era la que mejor se comportaba de acuerdo a los elementos que intervenían en la estructura de pavimento y con ello, presentar la mejor propuesta.

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA

En el presente capítulo se hablará sobre el método matemático, el cual fue la base para la realización de la investigación. Además, se hablará del enfoque cuantitativo que tiene la investigación, así como del alcance descriptivo.

4.1. Método empleado.

La presente investigación, se realizó con base en el método científico, y según Tamayo y Tamayo (1998) es un proceso de investigación, mediante el cual se busca comprobar por qué se presenta un suceso particular, distinguido por ser tentativo, verificable y de observación empírica.

De manera general, el método científico es aquel en el cual se plantean una serie de problemas con el fin de darle una solución a través de diversas técnicas, tratando de comprobar las hipótesis generadas.

El método caracteriza por lo siguiente:

- Es factico; tiene referencia empírica.
- Trasciende los hechos; se busca ir más allá de la realidad.
- Es autocorrectivo; siempre está en continua verificación, pues se pueden ajustar conclusiones, y acepta nuevos aportes y técnicas.
- Es objetivo; va al punto final mediante hechos congruentes y verdaderos.

4.1.1. Método Matemático.

El método matemático es un método cuantitativo asociado con los números y su aplicación. En esta investigación el uso de procedimientos y cálculos numéricos es vital para su realización, por lo tanto el método matemático es el más indicado.

En cualquier investigación que envuelva números de relaciones constantes, variedad de hipótesis, diversidad de comprobaciones y con ellas se pueda afirmar o negar algo, se está utilizando el método cuantitativo, y en especial, el método matemático.

4.2. Enfoque de investigación.

“La investigación es un conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno.” (Hernández Sampieri y colaboradores; 2010: 4)

Partiendo de la definición anterior, la investigación realizada es de enfoque cuantitativo, el cual recopila información para comprobar las hipótesis, con base en análisis estadísticos y medición numérica para así, comprobar las teorías propuestas.

El enfoque cuantitativo se puede expresar mediante el siguiente proceso:

- “Idea.
- Planteamiento del problema.
- Revisión de la literatura y desarrollo del marco teórico.
- Visualización de alcance de estudio.
- Elaboración de hipótesis y definición de variables.

- Elaboración de reporte de resultados.
- Análisis de los datos.
- Recolección de los datos.
- Definición y selección de la muestra.
- Desarrollo del diseño de investigación.” (Hernández Sampieri y colaboradores.; 2010: 5)

4.2.1. Alcance de la investigación.

Los diferentes tipos de investigaciones pueden tomar diversos alcances de acuerdo con el enfoque que estas contengan. Los diferentes alcances pueden ser exploratorios, correlacionales, descriptivos o explicativos.

La presente investigación se clasifica como de alcance descriptivo ya que “Busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice (...).” (Hernández Sampieri y colaboradores.; 2010: 80)

Enfocándose en el tema principal de la investigación que es la realización de un pavimento, con el alcance descriptivo se puede determinar el tipo de pavimento que se diseñará así como todos los datos recopilados para llegar a este fin.

4.3. Diseño de la investigación.

Dentro de una investigación, existen dos diseños mediante los cuales se pueden llevar a cabo, el diseño experimental y el no experimental.

La presente investigación es de tipo no experimental, pues se analizarán las diferentes variables que conforman la investigación sin alterar a ninguna de ellas. Sólo se observarán en su ambiente original para después ser analizados.

Existen dos tipos de diseños en la investigación no experimental, los cuales son longitudinal y transeccional. El diseño longitudinal se refiere a la observación de un fenómeno a través de un periodo de tiempo, mientras que el transeccional se presenta en un momento único.

Así pues, se considerará la presente investigación como transeccional o transversal, pues su fin es el diseño de un pavimento, para el cual no se tienen que hacer observaciones a lo largo del tiempo, sino que se recopilarán los datos necesarios para su diseño.

4.4. Instrumentos de recopilación de datos.

Para la presente investigación cuantitativa se recopilaron datos mediante diferentes herramientas para así poder cuantificar el número de coches que estarán alojados en los estacionamientos que se planean pavimentar.

Mediante un levantamiento topográfico se determinaron los puntos clave para procesar en AutoCAD y así poder generar un plano y conocer la cantidad de coches que estarán sobre el pavimento que se planea diseñar.

Para generar las tablas de cálculos de los pavimentos se utilizó el programa Microsoft Excel, así como para los cálculos de las juntas de construcción.

4.5. Descripción del procedimiento de investigación.

Conociendo la ubicación donde se plantea la investigación, se utilizaron diversos programas de ubicación geográfica y cartas topográficas proporcionadas por la INEGI, y ya con la ubicación exacta se procedió a tomar las fotografías necesarias para plasmar en la investigación.

Al tener el tema de investigación, y con esto, la ubicación del mismo, se comenzó por investigar en diversas bibliografías acerca del diseño de pavimentos rígidos y sus diferentes componentes, apoyado en manuales de CEMEX y en el IMCYC.

Después se investigó acerca de mecánica de suelos y los diferentes tipos de pruebas que se pueden realizar, para esto, se buscó en las normas de la SCT, las cuales son las que rigen en nuestro país.

Una vez recopilados todos los datos necesarios, se procedió a hacer todos los cálculos necesarios, mediante la ayuda de los programas de Microsoft Excel y Word, y los planos correspondientes se realizaron en el programa AutoCAD.

CAPÍTULO 5

CÁLCULO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Dentro del presente capítulo, se presentarán los procesos, cálculos y resultados de la investigación realizada, así como el método mediante el cual se pretendió buscar la solución óptima al problema planteado.

5.1. Métodos para el diseño de pavimentos.

En el análisis de pavimentos existen diversos métodos mediante los cuales se realiza el diseño de los pavimentos rígidos, sin embargo, en México los métodos más utilizados son el de la American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO) y el de la Portland Cement Association (PCA); para el primero, Salazar (1998) menciona que consiste en la aplicación de una ecuación desarrollada en los años 70 para pavimentos rígidos, que se determinó a través análisis del comportamiento de diferentes tipos de pavimentos carpetas asfálticas, losas de concreto simple y losas de concreto reforzado), apoyados sobre superficies de terreno similares, y bajo cargas de tránsito iguales.

Por su parte el método de la PCA se basa en la relación de esfuerzos, es decir, se calculan los esfuerzos que las cargas (ejes) provocarán sobre la superficie y se colacionan con los esfuerzos de diseño. Sabiendo la relación de esfuerzos, se calculan las cargas por tránsito permitidas para la cual el proyecto fue diseñado, y se compara con las repeticiones esperadas para la vida del proyecto; la relación entre estos números nunca debe exceder el 100%.

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

5.2. Método de la PCA.

Este método en particular, es muy utilizado para el diseño de los siguientes tipos de pavimentos rígidos:

Los pavimentos de concreto simple, es decir, sin ningún acero de refuerzo que sirva para la transferencia de cargas, todo esto, asumiendo que la transferencia de carga se da gracias al corte generando intencionalmente entre losas, el cual es absorbido gracias a los agregados del concreto mismo. Para que esto suceda adecuadamente, es necesario que la longitud de las losas sea corta.

Los pavimentos de concreto simple con varillas de transferencia de cargas, las cuales no son propiamente acero de refuerzo, sino pasajuntas los cuales actúan como transmisores de cargas entre las losas de concreto; para una mayor efectividad y calidad, es conveniente que las losas de concreto sean cortas y así, reducir la probabilidad de que se generen grietas.

Los pavimentos de concreto armado, los cuales como su nombre lo dice, están constituidos por un armado de acero así como pasajuntas, este armado ayuda a tener una mejor transferencia de cargas y evita la aparición de grietas transversales.

Los pavimentos de refuerzo continuo, los cuales son armados continuamente y no llevan juntas de contracción en su estructura. Estos al igual que los pavimentos

de concreto armado, tienen una gran capacidad de transferencia de cargas y evitan las fisuras transversales. Salazar (1998) menciona que los Pavimentos de Concreto con Refuerzo Continuo (PCRC) tienden a tener sus juntas a un promedio de entre 1.2 y 1.5 m de distancia y sus áreas más críticas se encuentran en los bordes.

5.2.1. Elementos para el diseño de espesores, factores de diseño.

Dentro del diseño de pavimentos se consideran varios factores, los cuales influyen en el comportamiento de la estructura así como en su diseño. Salazar (1998), considera siete factores de diseño, los cuales se emplean en la presente investigación:

- Tránsito.
- Resistencia de diseño del concreto.
- Módulo de reacción de la subrasante.
- Tipo de acotamiento y juntas transversales.
- Periodo de diseño.
- Criterio por fatiga.
- Criterio por erosión.

Estos factores se desglosarán a continuación de acuerdo a la información recopilada de los estudios de mecánica de suelos, así como el aforo vehicular que se realizó en el lugar.

El tránsito es uno de los factores que más influyen en el diseño de un pavimento, y se define como el número de ejes que pasas a través de un determinado carril, el cual se clasifica por tipo y carga de eje.

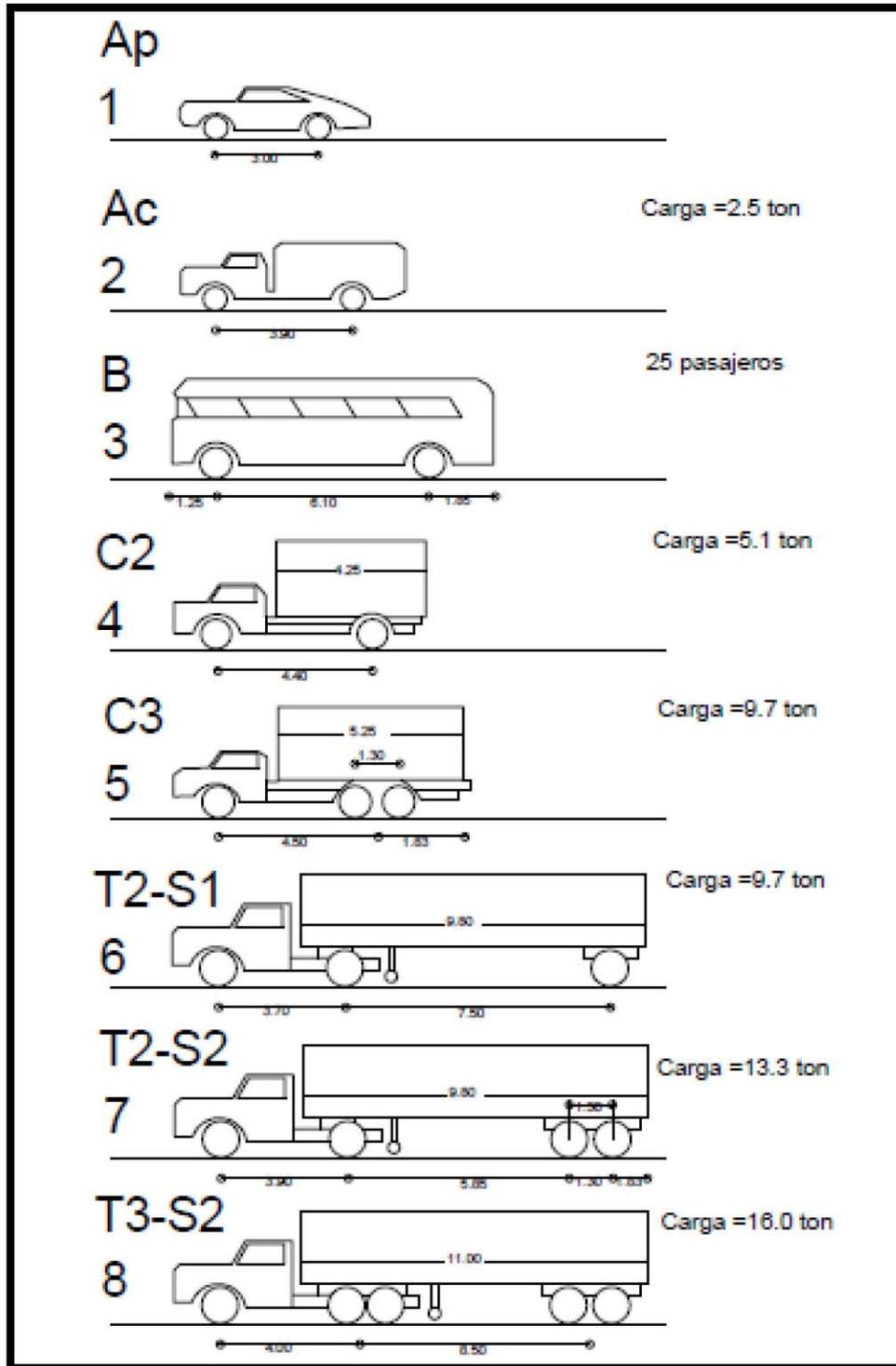


Imagen 5.1.- Vehículos de proyecto SCT.

Fuente: Crespo Villalaz; 2004: 55.

Para su cálculo se toman tres consideraciones importantes: la distribución de pesos de ejes por cada 1000 vehículos, las tasas de crecimiento de población, así como los factores de distribución de tránsito.

En esta investigación se realizó un aforo vehicular en las instalaciones de la Universidad Don Vasco A.C. para cada uno de los estacionamientos a diseñar. En el estacionamiento número 4, se tiene un total de 31 cajones; en el estacionamiento número 5 se tiene un total de 45 cajones; en el estacionamiento oriente se tiene un total de 37 cajones.

Con el aforo mencionado anteriormente se optó por diseñar el pavimento para el estacionamiento con mayor capacidad de vehículos, el cual fue el número 5. Para esto, se consideró un total de 45 x 4 automóviles, ya que para el diseño se considera la cantidad de autos que pasa por la franja de diseño, y así, se toma en cuenta la llegada de los vehículos al estacionamiento tanto como su retirada, pero siendo la universidad de turno matutino y vespertino, se toma el mismo proceso para los vehículos de la tarde, teniendo como resultado que por la franja de diseño pasarán el número máximo de vehículos 4 veces, lo que da un total de 180 vehículos.

De acuerdo con la imagen 5.1, la distribución de vehículos de esta investigación está dentro de la clasificación A_P , pero debido a que el método de la PCA se basa en la cantidad de vehículos con más de 6 ejes para el diseño de los pavimentos, se tomará un porcentaje de vehículos tipo C3 con respecto a la siguiente imagen:

Categoría de ejes	Descripción	Tráfico				
		TPDA	TPPD		Carga máxima por eje	
Cargados			%	Por día	Eje sencillo	Ejes dobles
1	Calles residenciales Caminos rurales y secundarios (de bajo a medio*)	200 - 800	1 - 3	Hasta 25	22	36
2	Calles colectoras Caminos rurales y secundarios (altos*) Arterias principales y caminos principales (bajos*)	700 - 5,000	5 - 18	40 - 1,000	26	44
3	Caminos primarios y arterias principales (medio*) Viaductos, vías rápidas periféricas, vialidades urbanas y rurales (de bajo a medio*)	3,000 - 12,000 en 2 carriles 3,000 - 50,000 ⁴ carriles	8 - 30	500 - 1,000	30	52
4	Arterias principales, carreteras principales, viaductos (altos*) Carreteras y vías urbanas y rurales (de medios a alto*)	3,000 - 20,000 2 carriles 3,000 - 150,000 ⁴ carriles o más	8 - 30	1,500 - 8,000 ⁺	34	60

Imagen 5.2.- Categorías de tráfico en función de cargas por eje.

Fuente: Salazar; 1998: 148.

Como se observa en la imagen 5.2, el porcentaje de tráfico pesado es de entre un 1% y un 3% para caminos secundarios, por lo tanto dado que el aforo dio un total de 180 vehículos, y tomando en cuenta un 3% de vehículos pesados (5 vehículos) la distribución de tránsito queda de la siguiente manera:

$$A_p = 97 \%, C_3 = 3 \%$$

En cuanto la resistencia del diseño concreto, se utilizó un concreto con módulo de ruptura de 42 kg/cm^2 , ya que el IMCYC, recomienda pavimentos con un módulo de ruptura de entre 42 y 46 kg/cm^2 .

El módulo de reacción "k" de la subrasante se obtiene de acuerdo al VRS obtenido de los estudios de mecánica de suelos, cuyo resultado fue de 3.47% y con apoyo de la imagen 2.11 se obtiene un valor k de 3.2014 kg/cm^3 . Con ayuda de este

se obtuvo el valor k corregido y posteriormente el esfuerzo equivalente de la losa, así como el factor de erosión.

En cuanto a los acotamientos y el diseño de juntas, no se tomará en cuenta un acotamiento pavimentado debido a que la estructura será para un estacionamiento; en cuanto a las juntas, estas no llevarán ningún tipo de pasajuntas, ya que trabajarán por trabazón debido a los agregados pétreos. Todas estas consideraciones con base en las normas N-CTR-CAR-1-02-004/02 y N-CTR-CAR-1-04-009/06 de la SCT.

Otro factor que se contempló es el periodo de diseño, el cual será para 20 años, y ligado a esto, regularmente se considera un factor de crecimiento de la población, pero dado que es un estacionamiento no se tomará en cuenta ya que el crecimiento de la población es indiferente, pues el cupo del estacionamiento será siempre el mismo.

El factor de seguridad de diseño se determina de acuerdo al tipo de carretera, según el criterio de la PCA:

Tipo de carretera	Factor de seguridad
Carreteras con alto volumen de tránsito, sin interrupción.	1.2
Carreteras y calles principales con tránsito pesado moderado.	1.1
Caminos locales, calles residenciales y otros, con poco tránsito pesado.	1.0

Imagen 5.3.- Factores de seguridad de diseño.

Fuente: Salazar; 1998: 143.

Para poder entrar en los valores de las imágenes 5.5 y 5.6 es necesario obtener un valor corregido de “k”, en el cual se tome en cuenta el valor “k” de la subrasante para después obtener dicho valor corregido.

Para ello se hizo uso de los valores de la imagen 5.4, en donde se ubica el tipo de base con que se esté diseñando, ya sea una base sin tratar, una base asfáltica, una base tratada con cemento o una base de concreto pobre..

Conforme al tipo de base, se selecciona el espesor con el cual se desea diseñar y, con el valor de la de la subrasante, entrar a la tabla y obtener el valor “k” de la subbase.

Espesor de bases sin tratar vs. Valor de Kc, kg/ cm ³				
Valor de k en la subrasante o terreno natural	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm
1.4	0.75	0.85	0.94	1.03
2.8	1.20	1.30	1.42	1.55
4.2	1.60	1.72	1.83	2.00
5.5	1.95	2.05	2.15	2.36
Espesor de base asfáltica vs. Kc, kg/ cm ³				
Valor de k en la subrasante o terreno natural	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm
1.4	2.32	3.10	3.90	4.70
2.8	4.00	5.50	6.80	8.00
4.2	6.15	7.70	9.25	10.90
5.5	7.85	9.72	11.60	13.50
Espesor de base tratada con cemento vs. Kc, kg/ cm ³				
Valor de k en la subrasante o terreno natural	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm
1.40	2.80	4.00	5.40	6.80
2.80	5.12	7.15	9.25	11.46
4.20	7.34	10.00	12.80	15.60
5.50	9.44	12.70	16.00	19.40
Espesor de base de concreto pobre vs. Kc, kg/ cm ³				
Valor de k en la subrasante o terreno natural	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm
1.4	2.88	4.32	5.70	7.25

Imagen 5.4.- Módulos de reacción aproximados, para distintos tipos de bases

Fuente: Salazar; 1998: 116.

Tomando en cuenta que el proyecto es un estacionamiento, se tomó en cuenta como un camino local o con poco tránsito pesado, por lo que el factor de seguridad a usar es de 1.0.

Cabe mencionar, que el volumen total de vehículos que circularán por los estacionamientos será el siguiente:

$$Vol.Total = \frac{TPDA(FP)}{N} (T_{cp}) \left(\frac{CCP}{100}\right) (365)(Pd)$$

Calculando este valor:

TPDA= 180 vehículos

Pd= 20 años, periodo de diseño

Fp= 1 (factor de proyección) usando la fórmula:

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

N= 2, número de carriles

r= 0%, tasa de crecimiento

Tcp= 3%, porcentaje de vehículos pesados

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

$$Vol.Total = \frac{(180)(1)}{2} (3) \left(\frac{1}{100}\right) (365)(20) = 19,710$$

Por lo que el valor de vehículos total será de 19,760 vehículos, valor que será utilizado para el cálculo de las repeticiones esperadas.

Espesora losa (cm)	K-Módulo de reacción sub-rasante (kg/cm ³)													
	2		4		6		8		10		15		20, +	
	Eje simple	Eje tándem	Eje simple	Eje tándem	Eje simple	Eje tándem	Eje simple	Eje tándem	Eje simple	Eje tándem	Eje simple	Eje tándem	Eje simple	Eje tándem
12	43.0	35.6	37.8	30.1	35.1	28.1	33.1	26.8	31.7	25.7	29.1	24.3	27.4	23.5
13	38.4	32.3	33.8	27.3	31.4	25.3	29.7	24.0	28.4	23.0	26.1	21.6	24.6	20.8
14	34.6	29.6	30.5	24.9	28.3	22.9	26.8	21.6	25.6	20.8	23.7	19.4	22.3	18.5
15	31.4	27.2	27.7	22.9	25.7	20.9	24.4	19.7	23.3	18.8	21.6	17.5	20.4	16.7
16	28.7	25.2	25.3	21.2	23.5	19.3	22.3	18.1	21.3	17.3	19.7	16.0	18.7	15.2
17	26.3	23.5	23.3	19.7	21.6	17.9	20.5	16.7	19.6	16.0	18.1	14.7	17.2	13.9
18	24.3	22.0	21.5	18.4	19.9	16.6	18.9	15.5	18.1	14.8	16.8	13.6	15.9	12.8
19	22.5	20.7	19.9	17.2	18.5	15.6	17.5	14.5	16.8	13.8	15.6	12.6	14.8	11.9
20	21.0	19.5	18.5	16.2	17.2	14.6	16.4	13.6	15.6	12.9	14.5	11.8	13.8	11.1
21	19.6	18.5	17.3	15.3	16.1	13.8	15.2	12.9	14.6	12.2	13.6	11.1	12.8	10.4
22	18.3	17.5	16.2	14.5	15.0	13.1	14.2	12.2	13.7	11.5	12.8	10.5	12.0	9.8
23	17.2	16.7	15.2	13.8	14.1	12.4	13.3	11.5	12.8	10.9	12.0	9.9	11.3	9.2
24	16.2	15.9	14.3	13.1	13.3	11.8	12.5	11.0	12.1	10.4	11.3	9.4	10.7	8.8
25	15.3	15.2	13.5	12.5	12.6	11.2	11.9	10.5	11.4	9.9	10.7	8.9	10.1	8.3
26	14.5	14.5	12.8	12.0	11.9	10.7	11.3	10.0	10.8	9.4	10.1	8.5	9.5	8.0
27	13.8	13.9	12.1	11.5	11.3	10.3	10.7	9.5	10.3	9.0	9.5	8.1	9.0	7.6
28	13.1	13.4	11.5	11.0	10.7	9.9	10.2	9.1	9.8	8.6	9.0	7.8	8.6	7.3
29	12.5	12.9	11.0	10.6	10.2	9.5	9.7	8.8	9.3	8.3	8.6	7.5	8.2	6.9
30	11.9	12.4	10.5	10.2	9.7	9.1	9.2	8.5	8.9	8.0	8.2	7.2	7.8	6.6
31	11.3	12.0	10.0	9.9	9.3	8.8	8.8	8.1	8.4	7.7	7.8	6.9	7.4	6.4
32	10.9	11.6	9.6	9.5	8.9	8.5	8.4	7.8	8.0	7.4	7.5	6.7	7.1	6.2
33	10.4	11.2	9.2	9.2	8.5	8.2	8.0	7.6	7.7	7.1	7.2	6.4	6.8	6.0
34	10.0	10.8	8.8	8.9	8.1	7.9	7.7	7.3	7.3	6.9	6.9	6.2	6.6	5.8

Imagen 5.5.- Esfuerzo equivalente en kg/cm² para acotamiento sin pavimentar.

Fuente: Salazar; 1998: 135.

Para el criterio de erosión y criterio de fatiga, se utilizaron las tablas que presenta el IMCYC, en las cuales se entra con el valor del módulo de reacción “k” corregido de la subrasante-subbase y se determinan de acuerdo al espesor mediante el cual se desee diseñar. Estos valores dependen de igual forma si existen acotamientos con o sin pavimentos y de si existen o no pasajuntas. Ya con los valores correspondientes se usaron los nomogramas de erosión y de fatiga para así poder determinar las repeticiones permisibles que tendrá el pavimento.

Mediante hojas de cálculo realizadas previamente, se procedió a realizar el cálculo de las 3 opciones que se presentarán para determinar cuál de éstas es la idónea. Las tres opciones se conforman por una losa de concreto de 15 cm de espesor teniendo sólo como diferencia el espesor de la subbase. La primera opción será una subbase de 10 cm de espesor; la segunda opción será una subbase de 15 cm de espesor y la tercera una subbase de 20 cm de espesor.

A continuación se desglosará la obtención de los valores mediante el método de la PCA para la mejor opción, la cual fue la 1.

El método utilizado como se mencionó antes, consiste en determinar el número de ejes sencillos y tándem por cada 1000 vehículos, para así obtener las cargas que serán aplicadas, y con apoyo del factor de erosión y la relación de esfuerzos se determina si el pavimento resiste o no.

Lo primero que se realizó fue la interpolación del valor “k” de la subrasante, (para este caso fue de 3.2014 kg/cm²) dentro de la imagen 5.4 para obtener una k corregida, la cual quedó como:

K Subrasante (kg/cm ³)	Espesor de la Subbase	K Subbase (kg/cm ³)
Eje Simple		
2.8		1.2
3.2014	10 cm	?
4.2		1.6
x= 1.315 kg/cm ²		

Imagen 5.6.- Interpolación para obtención de “k” corregida.

Fuente: Propia.

Para la obtención de los valores de esfuerzo equivalente, se tuvo que interpolar el factor “k” que se obtuvo de las pruebas dentro de los valores que se muestran en la imagen 5.4, para eje tándem como para eje sencillo. Después, para obtener la relación de esfuerzos, se dividió el valor del esfuerzo equivalente entre el módulo de ruptura que se usará (42 kg/cm^2), el cual da como resultado 0.779 para eje sencillo y 0.687 para eje tándem.

K Subrasante (kg/cm ³)	Espesor de la losa	Esfuerzo Equivalente (kg/cm ²)
Eje Simple		
1		33.35
1.3147	15	?
2		31.4
x= 32.736 kg/cm ²		
Eje Tandem		
1		29.4
1.3147	15	?
2		27.2
x= 28.708 kg/cm ²		

Imagen 5.7.- Interpolación para obtención del esfuerzo equivalente.

Fuente: Propia.

De igual manera, para obtener el factor de erosión, se interpoló el factor “k” que se obtuvo de nuestras pruebas dentro de los valores que se muestran en la imagen 5.7, para eje tándem como para eje sencillo. Los valores de estos factores fueron de 3.464 para eje sencillo y 3.644 para eje tándem.

K Subrasante (kg/cm3)	Espesor de la losa	Factor de Erosión
Eje Simple		
1		3.47
1.3147	15	?
2		3.45
x= 3.464		
Eje Tandem		
1		3.66
1.3147	15	?
2		3.61
x= 3.644		

Imagen 5.8.- Interpolación para obtención del factor de erosión

Fuente: Propia.

Con los valores de la relación de esfuerzos y el factor de erosión se prosiguió a entrar en los nomogramas para obtener el número de repeticiones permisibles tanto como para eje tándem y eje sencillo.

Espesor de la Losa Propuesto:		15	cm
Espesor de la subbase:		10	cm
"k" corregido de la subrasante-subbase para el espesor propuesto:		1.315	kg/cm3
Ejes Sencillos	Esfuerzo equivalente	32.736	kg/cm2
	Relación de esfuerzos	0.779	
	Factor de erosión	3.464	
Ejes Tandem	Esfuerzo equivalente	28.708	kg/cm2
	Relación de esfuerzos	0.684	
	Factor de erosión	3.644	

Imagen 5.9.- Resumen de valores obtenidos.

Fuente: Propia.

Para las repeticiones permisibles de análisis por fatiga se hizo uso de la imagen 5.10, posteriormente se trazó una línea entre el peso del eje tanto sencillo como tándem, y se unió con la relación de esfuerzos, esta línea se prolongó para así obtener la cantidad de repeticiones permisibles; de igual manera, y con apoyo de la imagen 5.11 se obtuvieron las repeticiones permisibles debidas a la erosión, donde se trazó una línea entre el peso de los ejes sencillos y tándem con el factor de erosión, de igual forma se prolongó dicha línea para poder obtener el número de repeticiones permisibles. Obtenidos estos valores, se procede a comparar el número de repeticiones esperadas con el número repeticiones permisibles, tomando en cuenta que la suma total de estas relaciones nunca debe exceder un 100% para cada caso.

Cabe mencionar, que las cargas ejercidas por los ejes sencillos son de 1 tonelada para los vehículos A_p y de 6 toneladas para los vehículos C3, y para los ejes tándem es de 17 toneladas para vehículos C3, considerando nuestro camino de tipo B. Estos valores se obtuvieron de la NOM-012-SCT-2-2014 de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, cuyas tablas se pueden observar en el anexo 3 de la presente investigación.

Con estos valores, se procede a determinar la mejor estructura de acuerdo a los diferentes espesores propuestos y los resultados obtenidos.

El llenado de las columnas de las hojas de cálculo se realizó de la siguiente manera:

La columna A se llena atendiendo a la clase del vehículo, conforme a lo que marca la NOM-012-SCT-2-2014 de la SCT.

En las columnas B y C se clasifican los ejes del vehículo; la primera se llena con el peso del eje (toneladas) sencillo o tándem según sea el caso, como lo marca la NOM-012-SCT-2-2014 de la SCT; en la segunda se colocan el número de ejes de vehículos sencillos o tándem, de acuerdo al aforo realizado.

Dentro de la columna D se pone el número total de ejes por cada 1000 vehículos; para obtener este valor se divide 1000 entre el TPDA, y se multiplica por la columna C.

La columna E contiene las repeticiones esperadas en la vida del proyecto, y se calcula multiplicando la columna D por el volumen total de vehículos esperados en la vida del proyecto, y se divide entre 1000.

Las columnas F y H contienen las repeticiones permisibles para fatiga y erosión respectivamente. Para el llenado de estas, se hizo uso de los nomogramas para análisis por fatiga y por erosión, apoyándose de los cálculos previos (ver imagen 5.9) así como del peso de los ejes de los vehículos, sencillo o tándem según sea el caso.

Para obtener el porcentaje de fatiga en la columna G, se dividió la columna E entre la columna F y se multiplicó por 100. Al final de esta columna, se realiza la sumatoria de todas las filas que contengan datos, incluyendo los ejes sencillos y tándem. La suma de estos valores no debe exceder el 100%.

De igual manera, para obtener el porcentaje de daño por erosión en la columna G, se dividió la columna E entre la columna H y se multiplicó por 100. Al final de esta columna, se realiza la sumatoria de todas las filas que contengan datos, incluyendo los ejes sencillos y tándem. La suma de estos valores no debe exceder el 100%.

Cabe mencionar que todos los pesos y nomenclaturas de los vehículos utilizadas para el llenado de la tabla, se encuentran en el anexo 3 de la presente investigación

En las siguientes páginas se muestran las hojas de cálculo realizadas para las diferentes opciones, en las cuales se observa las variaciones que se presentan debido a los diferentes espesores propuestos.

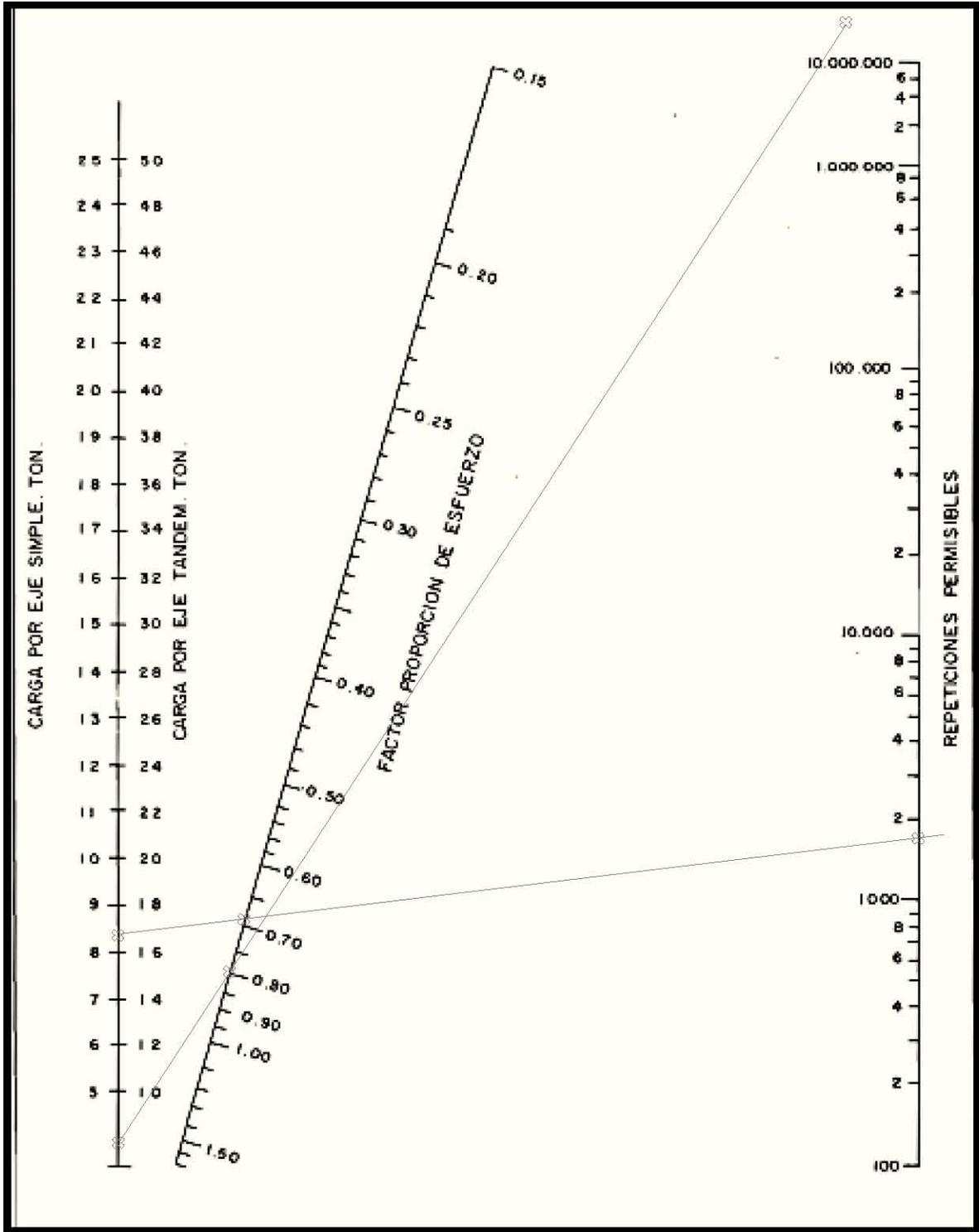


Imagen 5.10.- Nomograma para análisis por fatiga. Acotamiento con o sin pavimento.

Fuente: Salazar; 1998: 138.

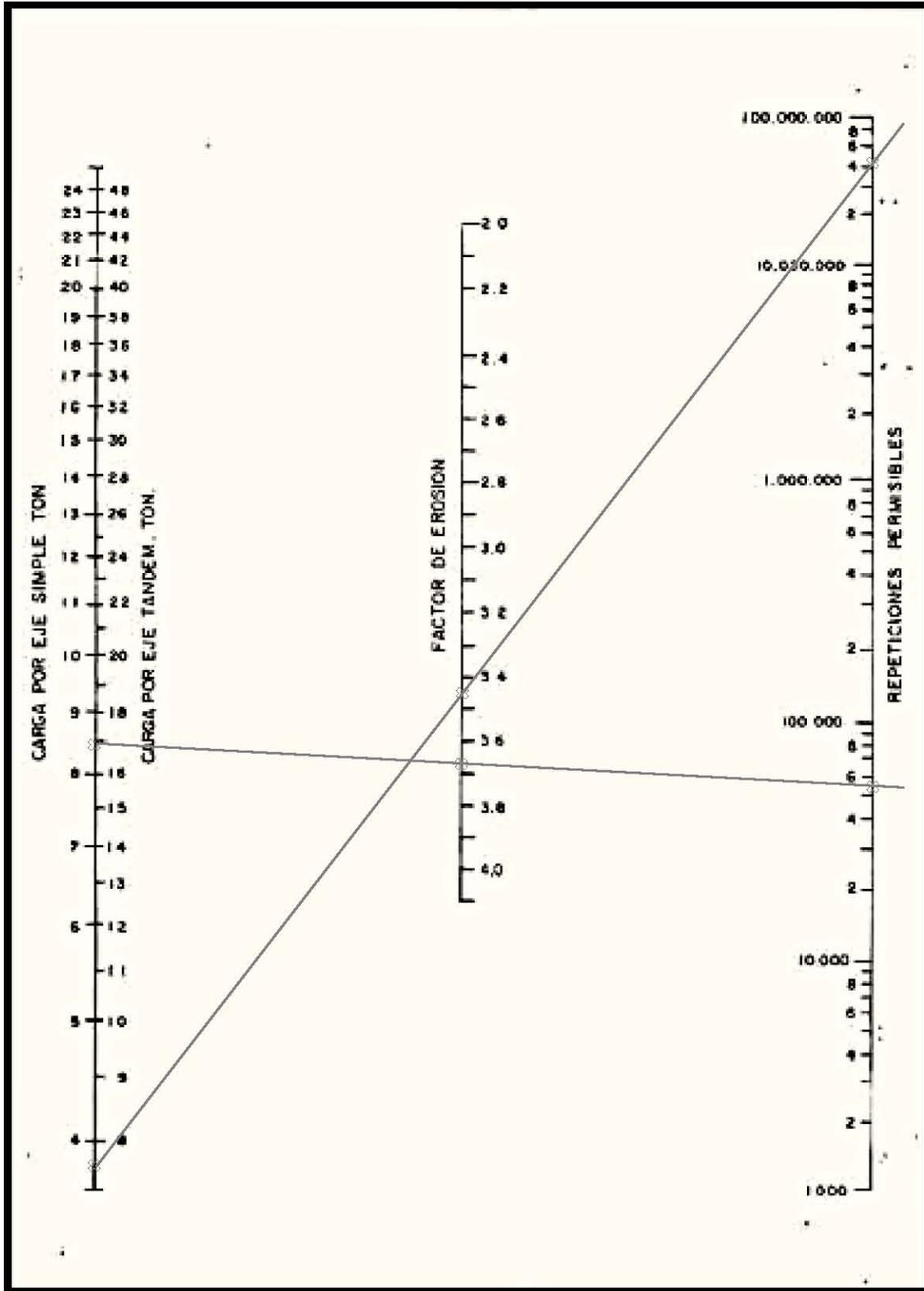


Imagen 5.11.- Nomograma para análisis por erosión. Acotamiento sin pavimento.

Fuente: Salazar; 1998: 143.

Espesor losa (cm)	K-Módulo de reacción sub-rasante (kg/cm ³)													
	2		4		6		8		10		15		20	
	Eje simple	Eje tándem	Eje simple	Eje tándem	Eje simple	Eje tándem	Eje simple	Eje tándem	Eje simple	Eje tándem	Eje simple	Eje tándem	Eje simple	Eje tándem
12	3.72	3.82	3.69	3.74	3.67	3.69	3.65	3.67	3.64	3.65	3.62	3.61	3.59	3.58
13	3.62	3.75	3.59	3.66	3.57	3.61	3.55	3.59	3.54	3.57	3.52	3.52	3.49	3.49
14	3.53	3.68	3.50	3.59	3.48	3.53	3.46	3.51	3.45	3.49	3.43	3.44	3.40	3.41
15	3.45	3.61	3.41	3.52	3.39	3.46	3.37	3.44	3.36	3.42	3.34	3.37	3.31	3.34
16	3.37	3.55	3.33	3.46	3.31	3.40	3.29	3.37	3.28	3.35	3.26	3.30	3.23	3.26
17	3.30	3.50	3.26	3.40	3.23	3.34	3.21	3.31	3.20	3.29	3.18	3.23	3.16	3.20
18	3.23	3.44	3.18	3.34	3.16	3.28	3.14	3.25	3.13	3.23	3.11	3.17	3.09	3.13
19	3.17	3.39	3.12	3.29	3.09	3.23	3.07	3.19	3.06	3.17	3.04	3.11	3.02	3.07
20	3.11	3.35	3.05	3.24	3.03	3.17	3.01	3.14	3.00	3.12	2.98	3.05	2.96	3.02
21	3.05	3.30	2.99	3.19	2.97	3.13	2.95	3.09	2.94	3.07	2.92	3.00	2.90	2.96
22	3.00	3.26	2.94	3.15	2.91	3.08	2.89	3.04	2.88	3.02	2.86	2.95	2.84	2.91
23	2.94	3.22	2.88	3.11	2.85	3.03	2.83	2.99	2.82	2.97	2.80	2.90	2.78	2.86
24	2.90	3.18	2.84	3.07	2.80	2.99	2.78	2.95	2.77	2.93	2.75	2.86	2.73	2.82
25	2.86	3.14	2.79	3.03	2.76	2.96	2.73	2.91	2.72	2.89	2.70	2.82	2.68	2.78
26	2.81	3.11	2.75	2.99	2.71	2.92	2.69	2.88	2.68	2.86	2.65	2.78	2.63	2.74
27	2.77	3.08	2.70	2.96	2.67	2.89	2.64	2.84	2.63	2.82	2.61	2.75	2.59	2.71
28	2.73	3.05	2.66	2.93	2.62	2.85	2.60	2.81	2.59	2.79	2.56	2.71	2.54	2.67
29	2.70	3.02	2.62	2.90	2.58	2.82	2.56	2.78	2.55	2.75	2.52	2.68	2.50	2.64
30	2.66	2.99	2.59	2.86	2.54	2.79	2.51	2.75	2.50	2.72	2.48	2.64	2.46	2.60
31	2.63	2.96	2.55	2.83	2.50	2.76	2.48	2.72	2.47	2.69	2.44	2.61	2.42	2.57
32	2.59	2.93	2.51	2.81	2.47	2.73	2.44	2.69	2.43	2.66	2.40	2.58	2.38	2.54
33	2.56	2.90	2.48	2.78	2.43	2.70	2.40	2.66	2.39	2.63	2.36	2.55	2.34	2.51
34	2.53	2.88	2.45	2.75	2.40	2.67	2.37	2.63	2.36	2.60	2.32	2.52	2.30	2.48

Imagen 5.12.- Factor de erosión. Junta sin pasajuntas. Acotamiento sin pavimentar.

Fuente: Salazar; 1998: 140.

DATOS GENERALES									
PROYECTO: Diseño de pavimento para estacionamientos 4, 5 y oriente de la Universidad Don Vasco A.C.									
Espesor propuesto losa concreto:	15.00	cm	Con uso de pasajuntas						
Espesor propuesto subbase:	10.00	cm	SI						
K de la subrasante (VRS= 3.47%):	3.2014	kg/cm3	NO X						
K del conjunto subrasante-subbase:	1.3147	kg/cm3	Con acotamiento						
Módulo de ruptura:	42.00	kg/cm2	SI						
Factor de seguridad:	1.00	Adimensional	NO X						
TRÁNSITO DE DISEÑO PROYECTADO EN PORCENTAJE									
Ap=	97%	Ac=	0%	B2,B3=	0%	TPDA:	180		
C2=	0%	C3=	3%	T2-S1=	0%	Tasa de crecimiento:	N/A		
T2-S2=	0%	T3-S2=	0%	T3-S3=	0%	Periodo de Diseño:	20 años		
CÁLCULO DEL VOLUMEN TOTAL DE VEHÍCULOS EN LA VIDA DEL PROYECTO									
TPDA=	180	Tránsito promedio diario anual.		$Vol. Total = \frac{TPDA(FP)}{N} (T_{cp}) \left(\frac{CCP}{100}\right) (365)(Pd)$					
FP=	1	Factor de Proyección		Vol. Total= 19710.00					
N=	2	Número de carriles							
r=	0%	Tasa de crecimiento							
Tcp=	3%	Porcentaje de vehículos pesados							
CCP=	1	Factor de corrección de tránsito en el carril de diseño							
(A)	(B)	(C)	(D)	(E)		(G)	(H)		(I)
Tipo de Vehículo	Peso Total (ton)	Composición de Tránsito	Núm. De Vehículos	Número de ejes por vehículo		Peso de los ejes (ton)			
				Delanteros	Traseros	Totales	Delanteros	Traseros	
EJES SENCILLOS									
A2	2.0	97%	175.0	175.0	175.0	350.0	1.0	1.0	
B2	15.5	0%	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	
C2	15.5	0%	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	
C3	23.0	3%	5.0	5.0	-	5.0	6	-	
T2-S1	24.5	0%	0.0	0.0	-	0.0	-	-	
T2-S2	31.5	0%	0.0	0.0	-	0.0	-	-	
T3-S2	39.0	0%	0.0	0.0	-	0.0	-	-	
T3-S3	43.0	0%	0.0	0.0	-	0.0	-	-	
100%			180.0						
EJES TANDEM									
C2	15.5	0%	0.0	-	0.0	0.0	-	-	
C3	23.0	3%	5.0	-	5.0	5.0	-	17	
T2-S1	24.5	0%	0.0	0.0	-	0.0	-	-	
T2-S2	31.5	0%	0.0	0.0	-	0.0	-	-	
T3-S2	39.0	0%	0.0	0.0	-	0.0	-	-	
T3-S3	43.0	0%	0.0	0.0	-	0.0	-	-	
(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)	(I)	
Tipo de Vehículo	Clasificación de ejes	Total de ejes	Total de ejes	Repeticiones	Repeticiones	Porcentaje de	Repeticiones	Porcentaje de	
	Peso del eje	Total de ejes	c/1000 vehículos	esperadas	admisibles	fatiga	admisibles	daño	
RESUMEN DE EJES SENCILLOS					ANÁLISIS EJES SENCILLOS				
A2	1.00	350.0	1944.44	38325.00	10000000.00	0.3833%	40000000.00	0.0958%	
B2	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	
C2	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	
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%	
C2	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	
C3	17.0	10.0	55.56	1095.00	1800.00	60.833%	55000.00	1.991%	
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%	
						61.22%	2.09%		
Espesor de la Losa Propuesto: 15 cm									
"k" corregido de la subrasante-subbase para el espesor propuesto: 1.3147 kg/cm3									
Ejes Sencillos									
Esfuerzo equivalente				32.7364 kg/cm2					
Relación de esfuerzos				0.7794					
Factor de erosión				3.4637					
Ejes Tandem									
Esfuerzo equivalente				28.7077 kg/cm2					
Relación de esfuerzos				0.6835					
Factor de erosión				3.6443					

Imagen 5.13.- Cálculo de opción 1, losa de 15 cm y subbase de 10 cm.

Fuente: Propia

DATOS GENERALES									
PROYECTO:		Diseño de pavimento para estacionamientos 4, 5 y oriente de la Universidad Don Vasco A.C.							
Espesor propuesto losa concreto:	15.00	cm	Con uso de pasajuntas						
Espesor propuesto subbase:	15.00	cm	SI						
K de la subrasante (VRS= 3.47%):	3.2014	kg/cm3	NO	X					
K del conjunto subrasante-subbase:	1.4204	kg/cm3	Con acotamiento						
Módulo de ruptura:	42.00	kg/cm2	SI						
Factor de seguridad:	1.00	Adimensional	NO	X					
TRÁNSITO DE DISEÑO PROYECTADO EN PORCENTAJE									
Ap=	97%	Ac=	0%	B2,B3=	0%	TPDA:	180		
C2=	0%	C3=	3%	T2-S1=	0%	Tasa de crecimiento:	N/A		
T2-S2=	0%	T3-S2=	0%	T3-S3=	0%	Periodo de Diseño:	20 años		
CÁLCULO DEL VOLUMEN TOTAL DE VEHÍCULOS EN LA VIDA DEL PROYECTO									
TPDA=	180	Tránsito promedio diario anual.		$Vol. Total = \frac{TPDA(FP)}{N} (T_{cp}) \left(\frac{CCP}{100}\right) (365)(Pd)$					
FP=	1	Factor de Proyección		Vol. Total=			19710.00		
N=	2	Número de carriles							
r=	0%	Tasa de crecimiento							
Tcp=	3%	Porcentaje de vehículos pesados							
CCP=	1	Factor de corrección de tránsito en el carril de diseño							
(A)	(B)	(C)	(D)	(E)		(G)	(H)		(I)
Tipo de Vehículo	Peso Total (ton)	Composición de Tránsito	Núm. De Vehículos	Número de ejes por vehículo		Peso de los ejes (ton)			
				Delanteros	Traseros	Totales	Delanteros	Traseros	
EJES SENCILLOS									
A2	2.0	97%	175.0	175.0	175.0	350.0	1.0	1.0	
B2	15.5	0%	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	
C2	15.5	0%	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	
C3	23.0	3%	5.0	5.0	-	5.0	6	-	
T2-S1	24.5	0%	0.0	0.0	-	0.0	-	-	
T2-S2	31.5	0%	0.0	0.0	-	0.0	-	-	
T3-S2	39.0	0%	0.0	0.0	-	0.0	-	-	
T3-S3	43.0	0%	0.0	0.0	-	0.0	-	-	
100%			180.0						
EJES TANDEM									
C2	15.5	0%	0.0	-	0.0	0.0	-	-	
C3	23.0	3%	5.0	-	5.0	5.0	-	17	
T2-S1	24.5	0%	0.0	0.0	-	0.0	-	-	
T2-S2	31.5	0%	0.0	0.0	-	0.0	-	-	
T3-S2	39.0	0%	0.0	0.0	-	0.0	-	-	
T3-S3	43.0	0%	0.0	0.0	-	0.0	-	-	
(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)	(I)	
Tipo de Vehículo	Clasificación de ejes	Total de ejes	Total de ejes	Repeticiones	Repeticiones	Porcentaje de	Repeticiones	Porcentaje de	
	Peso del eje	Total de ejes	c/1000 vehículos	esperadas	admisibles	fatiga	admisibles	daño	
RESUMEN DE EJES SENCILLOS					ANÁLISIS EJES SENCILLOS				
A2	1.00	350.0	1944.44	38325.00	10000000.00	0.3833%	40000000.00	0.0958%	
B2	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	
C2	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	
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%	
C2	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	
C3	17.0	10.0	55.56	1095.00	2000.00	54.750%	80000.00	1.369%	
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%	
						54.75%	1.46%		
Ejes Sencillos		Esfuerzo equivalente	32 5302	kg/cm2					
		Relación de esfuerzos	0.7745						
		Factor de erosión	3.4616						
Ejes Tandem		Esfuerzo equivalente	28 6853	kg/cm2					
		Relación de esfuerzos	0.6830						
		Factor de erosión	3.6100						

Imagen 5.14.- Cálculo de opción 2, losa de 15 cm y subbase de 15 cm.

Fuente: Propia

DATOS GENERALES									
PROYECTO: Diseño de pavimento para estacionamientos 4, 5 y oriente de la Universidad Don Vasco A.C.									
Esesor propuesto losa concreto:	15.00	cm	Con uso de pasajuntas						
Esesor propuesto subbase:	20.00	cm	SI						
K de la subrasante (VRS= 3.47%):	3.2014	kg/cm3	NO X						
K del conjunto subrasante-subbase:	1.5376	kg/cm3	Con acotamiento						
Módulo de ruptura:	42.00	kg/cm2	SI						
Factor de seguridad:	1.00	Adimensional	NO X						
TRÁNSITO DE DISEÑO PROYECTADO EN PORCENTAJE									
Ap=	97%	Ac=	0%	B2,B3=	0%	TPDA:	180		
C2=	0%	C3=	3%	T2-S1=	0%	Tasa de crecimiento:	N/A		
T2-S2=	0%	T3-S2=	0%	T3-S3=	0%	Periodo de Diseño:	20 años		
CÁLCULO DEL VOLUMEN TOTAL DE VEHÍCULOS EN LA VIDA DEL PROYECTO									
TPDA=	180	Tránsito promedio diario anual.		$Vol. Total = \frac{TPDA(FP)}{N} (T_{cp}) \left(\frac{CCP}{100}\right) (365)(Pd)$					
FP=	1	Factor de Proyección		Vol. Total= 19710.00					
N=	2	Número de carriles							
r=	0%	Tasa de crecimiento							
Tcp=	3%	Porcentaje de vehículos pesados							
CCP=	1	Factor de corrección de tránsito en el carril de diseño							
(A)	(B)	(C)	(D)	(E)		(G)	(H)		(I)
Tipo de Vehículo	Peso Total (ton)	Composición de Tránsito	Núm. De Vehículos	Número de ejes por vehículo		Peso de los ejes (ton)			
				Delanteros	Traseros	Totales	Delanteros	Traseros	
EJES SENCILLOS									
A2	2.0	97%	175.0	175.0	175.0	350.0	1.0	1.0	
B2	15.5	0%	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	
C2	15.5	0%	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	
C3	23.0	3%	5.0	5.0	-	5.0	6	-	
T2-S1	24.5	0%	0.0	0.0	-	0.0	-	-	
T2-S2	31.5	0%	0.0	0.0	-	0.0	-	-	
T3-S2	39.0	0%	0.0	0.0	-	0.0	-	-	
T3-S3	43.0	0%	0.0	0.0	-	0.0	-	-	
100%			180.0						
EJES TANDEM									
C2	15.5	0%	0.0	-	0.0	0.0	-	-	
C3	23.0	3%	5.0	-	5.0	5.0	-	17	
T2-S1	24.5	0%	0.0	0.0	-	0.0	-	-	
T2-S2	31.5	0%	0.0	0.0	-	0.0	-	-	
T3-S2	39.0	0%	0.0	0.0	-	0.0	-	-	
T3-S3	43.0	0%	0.0	0.0	-	0.0	-	-	
(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)	(I)	
Tipo de Vehículo	Clasificación de ejes	Total de ejes	Total de ejes	Repeticiones	Repeticiones	Porcentaje de	Repeticiones	Porcentaje de	
	Peso del eje	Total de ejes	c/1000 vehículos	esperadas	admisibles	fatiga	admisibles	daño	
RESUMEN DE EJES SENCILLOS					ANÁLISIS EJES SENCILLOS				
A2	1.00	350.0	1944.44	38325.00	10000000.00	0.3833%	10000000.00	0.0383%	
B2	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	
C2	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	
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%	
C2	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00%	
C3	17.0	10.0	55.56	1095.00	2100.00	52.143%	80000.00	1.369%	
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%	
						52.14%	1.37%		
Espesor de la Losa Propuesto: 15 cm									
"k" corregido de la subrasante-subbase para el espesor propuesto: 1.5376 kg/cm3									
Ejes Sencillos									
				Esfuerzo equivalente	32 3018	kg/cm2			
				Relación de esfuerzos	0.7691				
				Factor de erosión	3.4592				
Ejes Tandem									
				Esfuerzo equivalente	28.4862	kg/cm2			
				Relación de esfuerzos	0.6782				
				Factor de erosión	3.6331				

Imagen 5.15.- Cálculo de opción 3, losa de 15 cm y subbase de 20 cm.

Fuente: Propia

5.3. Diseño de juntas

Determinada la mejor opción de pavimento, y obtenido el espesor idóneo del concreto para la losa, se prosiguió por determinar el diseño de las juntas que se deberán realizar.

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 5.16.- Especificaciones para colocación de juntas.

Fuente: Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos; 2002: 99.

Como ya se mencionó en el capítulo uno, las juntas son un corte generado en el concreto mediante un disco de diamante, que tiene como función evitar la aparición de grietas o fisuras debidas a la contracción y expansión que sufre el concreto con los cambios de temperatura. Además ayudan a dividir el concreto en secciones adecuadas, a la transferencia de carga entre losas así como a evitar el fenómeno de alabeo entre losas.

El diseño de juntas se ve influido por diferentes factores como lo son: el espesor de la losa, el tránsito, la subbase, entre otras.

Hay diversos tipos de juntas, de las cuales se habló a detalle en el capítulo uno, por lo que no se adentrará más en ello.

En la imagen 5.15 podemos observar los valores requeridos para los diversos espesores de losas, que en este caso es de 15 cm, por lo tanto, tenemos un espaciamiento entre 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.

Es importante señalar que el pavimento no necesitará ningún tipo de refuerzo de acero, debido a que las cargas a las cuales se verá afectado durante su vida útil serán las mínimas y así, el espesor del concreto es suficiente para soportar las cargas.

Se pudo observar durante los diferentes cálculos que interactuando con diferentes espesores de la subbase, la resistencia del pavimento varía conforme estas cambian, buscando así el ajuste adecuado para que el pavimento trabaje de la manera adecuada.

Después de evaluar las diferentes opciones de pavimento propuestas, se observó que la mejor opción del pavimento fue aquella conformada por una subbase de 10 cm de espesor, sobre la cual se apoya una losa de concreto simple de 15 cm de espesor. Esta losa tendrá una separación entre juntas de 3.60 metros y cortes con un ancho de 0.50 cm y profundidad de 5.00 cm.

Finalmente, la estructura de pavimento propuesta, queda conformada de la siguiente manera:

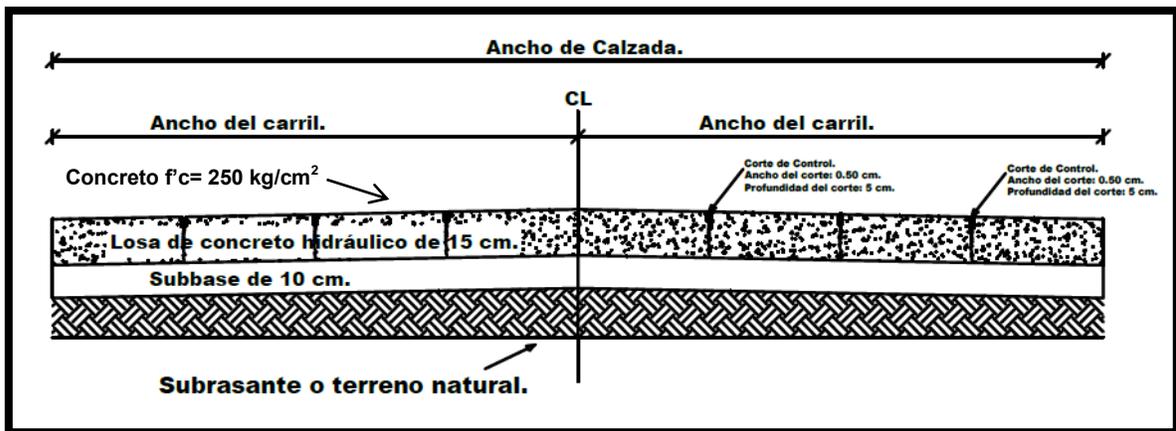


Imagen 5.17.- Diseño de estructura de pavimento propuesta.

Fuente: Propia.

CONCLUSIONES

Dentro de la presente investigación se planteó como objetivo general proponer el diseño adecuado de pavimentación en los estacionamientos 4,5 y oriente de la Universidad Don Vasco A.C., desde las capas inferiores (subrasante y subbase) hasta el área de rodamiento (Concreto hidráulico), el cual se cumplió adecuadamente mediante la investigación teórica y a través de cálculos realizados en Excel, lo que nos dio como resultado: un pavimento con una subbase de 10 cm, sobre la cual se apoya una carpeta de concreto hidráulico de 15 cm de espesor (opción 1). Esta opción fue la más adecuada debido a que es la que cercana al 100%, este porcentaje indica el daño por erosión y fatiga en el pavimento, y entre más cercano estén los valores de diseño al 100%, resulta más económico al momento de su construcción. Además, el pavimento contará con una separación entre juntas de 4.80 metros y cortes con un ancho de 0.67 cm y profundidad de 6.67 cm.

Asimismo, esta investigación tenía objetivos particulares, de los cuales el objetivo particular número 1 era definir el concepto de pavimento, el cual se cumplió, ya que se pudo definir que un pavimento es el conjunto de capas, comprendidas desde las terracerías a hasta la superficie de rodamiento que conforman una estructura capaz de soportar las cargas generadas por el tránsito que en ella van a transitar.

A su vez, el objetivo particular número 2 era definir el concepto de concreto hidráulico así como todos sus componentes, el cual se cumplió, pues se definió que el concreto hidráulico es una mezcla de cemento, agua, agregados pétreos finos y

gruesos, que en conjunto nos dan una mezcla con la consistencia y densidad deseadas; los componentes del concreto hidráulico son:

- Cemento.
- Agua.
- Agregados finos.
- Agregados gruesos.
- Aditivos.

El objetivo particular número 3 se cumplió de manera correcta, pues era definir el concepto de suelo, el cual se define como aquel conjunto de minerales, resultado del intemperismo y factores químicos que transformaron a rocas ya existentes.

Asimismo, el objetivo particular número 4, tenía como fin proponer el espesor adecuado en la losa de concreto hidráulico para el pavimento, el cual se cumplió de manera satisfactoria, ya que mediante los cálculos se obtuvo un espesor de 15 cm.

Finalmente, el objetivo particular número 5 se cumplió adecuadamente ya que era señalar los métodos más empleados en el diseño de pavimentos rígidos, de los cuales se mencionaron los dos más utilizados, el método de la American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO) y el de la Portland Cement Association (PCA).

Asimismo, se dio respuesta a la pregunta de investigación planteada en la introducción, la cual era: ¿Es la pavimentación a base de concreto hidráulico una buena opción para mejorar los estacionamientos 4,5 y oriente de la Universidad Don Vasco A.C.?, a lo que se obtuvo como respuesta, mediante la investigación

desarrollada, que es una buena opción, pues con el diseño realizado se tiene el pavimento óptimo para los estacionamientos y además le da mejor estética a las instalaciones de la universidad.

Durante el proceso de investigación se obtuvieron conocimientos de gran relevancia acerca de los diferentes tipos de juntas, conociendo que hay diversos tipos de juntas las cuales dependen de su colocación y fin en la estructura. Dichos tipos de juntas fueron: juntas de contracción, de dilatación y de construcción.

De igual forma, se conocieron los diferentes tipos de aditivos usados en el concreto, los cuales son de gran utilidad según las condiciones que se presenten en el ambiente. Dentro de los aditivos más utilizados se tienen los acelerantes y retardantes de fraguado del concreto.

BIBLIOGRAFÍA

CEMEX. (1999)

Guía del consumidor del concreto profesional de CEMEX.

CEMEX.

CEMEX. (2003)

Manual del Constructor de CEMEX.

CEMEX.

Coronado Iturbide, Jorge. (2002)

Manual Centroamericano para el diseño de pavimentos.

Secretaria de Integración Económica Centroamericana.

Crespo Villalaz, Carlos. (2012)

Vías de comunicación: caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos.

Ed. Limusa. México.

Galván Sierra, Joaquín. (2012)

Propuesta de pavimento rígido para las vialidades del fraccionamiento Campestre Zumpimito 2da. Etapa, en la ciudad de Uruapan, Michoacán.

Tesis inédita de la escuela de I.C., de la Universidad Don Vasco A.C., de la ciudad de Uruapan, Michoacán, México.

Gutiérrez de López, Libia. (2003)

El concreto y otros materiales para la construcción.

Universidad Nacional de Colombia. Colombia.

Hernández Sampieri, Roberto y Colaboradores. (1991)

Metodología de la investigación.

Ed. McGraw-Hill. México.

Juárez Badillo, Eulalio y Rico Rodríguez, Alfonso. (2005)

Mecánica de Suelos. Tomo 1.

Ed. Limusa. México.

Kraemer, Carlos y Colaboradores. (2004)

Volumen 2.

Ed. McGraw-Hill, España.

Olivera Bustamante, Fernando. (2009)

Estructuración de vías terrestres.

Ed. Patria. México.

Rico Rodríguez, Alfonso y Del Castillo, Hermilo. (2005)

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

Volumen 1.

Ed. Limusa, México.

Rico Rodríguez, Alfonso y Del Castillo, Hermilo. (2005)

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

Volumen 2.

Ed. Limusa, México.

Salazar Rodríguez, Aurelio. (1998)

Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos.

Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto.

Tamayo y Tamayo, Mario. (2003)

El proceso de la investigación científica.

Ed. Limusa. México.

OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN

<http://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-1-01-03.pdf>

<http://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-1-02-03.pdf>

<http://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-1-06-03.pdf>

<http://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-1-07-07.pdf>

<http://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-1-09-06.pdf>

<http://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-1-11-08.pdf>

<http://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-1-12-08.pdf>

<http://normas.imt.mx/normativa/N-CTR-CAR-1-02-004-02.pdf>

<http://normas.imt.mx/normativa/N-CTR-CAR-1-04-009-06.pdf>

http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Normas_Oficiales_Mexicanas/NOM-012-SCT-2-2014_sct_14nov14.pdf

<http://cgsign.blogspot.mx/2012/03/mapa-de-mexico-orografico-hidrografico.html>

<http://mr.travelbymexico.com/701-estado-de-michoacan/>

<https://es.wikipedia.org/wiki/Uruapan>

<http://transparenciauruapan.gob.mx/files/PMD20152018.pdf>

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/103871/DR_1614.pdf

ANEXOS

ANEXO 1
PRUEBAS DE MECÁNICA DE SUELOS

Tabla de pruebas de Valor Relativo de Soporte.

Fuente: Propia.

Pruebas de Valor Relativo de Soporte (VRS)			
Muestreo 1: Estacionamiento 4			Fórmula del VRS
Lecturas de Ensaye			$VRS = \frac{2da\ lectura}{1425} \times 100$
Def. (mm)	Lec. (mm)	Carga (kg)	Ecuación de ajuste para obtener la carga en kg
0.00	0.00	0.00	$L = 3.16X + (5.22)$ donde: X= lectura del instrumento
2.00	7.00	27.34	
4.00	14.00	49.46	
6.00	19.00	65.26	
8.00	27.00	90.54	
VRS (%) 2a lectura=		3.47	VRS Crítico(%) 2a lectura=
Muestreo 2: Estacionamiento 5			
Lecturas de Ensaye			Fórmula del VRS
Def. (mm) Lec. (mm) Carga (kg)			$VRS = \frac{2da\ lectura}{1425} \times 100$
0.00	0.00	0.00	Ecuación de ajuste para obtener la carga en kg
2.00	58.00	188.50	$L = 3.16X + (5.22)$ donde: X= lectura del instrumento
4.00	167.00	532.94	
6.00	282.00	896.34	
8.00	333.00	1057.50	
VRS (%) 2a lectura=		46.93	
Muestreo 3: Estacionamiento Oriente			
Lecturas de Ensaye			Fórmula del VRS
Def. (mm) Lec. (mm) Carga (kg)			$VRS = \frac{2da\ lectura}{1425} \times 100$
0.00	0.00	0.00	Ecuación de ajuste para obtener la carga en kg
2.00	39.00	128.46	$L = 3.16X + (5.22)$ donde: X= lectura del instrumento
4.00	111.00	355.98	
6.00	169.00	539.26	
8.00	193.00	615.10	
VRS (%) 2a lectura=		27.42	

ANEXO 2
TABLAS Y GRÁFICAS ADICIONALES PARA EL DISEÑO DE
PAVIMENTOS

(Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto)

Esfuerzo equivalente en kg/cm^2 para acotamiento pavimentado.

Espesor losa (cm)	K-Módulo de reacción sub-rasante (kg/cm^3)													
	2		4		6		8		10		15		20	
	Eje simple	Eje tándem	Eje simple	Eje tándem	Eje simple	Eje tándem	Eje simple	Eje tándem	Eje simple	Eje tándem	Eje simple	Eje tándem	Eje simple	Eje tándem
12	33.6	28.2	29.5	24.6	27.4	23.1	26.0	22.2	24.9	21.6	23.1	20.8	21.9	20.4
13	30.2	25.6	26.6	22.2	24.7	20.8	23.4	19.9	22.5	19.4	20.9	18.6	19.9	18.1
14	27.4	23.4	24.1	20.2	22.4	18.9	21.3	18.0	20.5	17.5	19.1	16.7	18.2	16.2
15	25.0	21.5	22.0	18.5	20.5	17.2	19.5	16.4	18.8	15.9	17.5	15.1	16.7	14.6
16	22.9	19.9	20.2	17.1	18.8	15.8	18.0	15.1	17.3	14.6	16.1	13.8	15.5	13.3
17	21.1	18.5	18.6	15.8	17.4	14.6	16.6	13.9	16.0	13.4	14.9	12.6	14.3	12.1
18	19.6	17.2	17.3	14.7	16.1	13.5	15.4	12.9	14.8	12.4	13.9	11.6	13.3	11.2
19	18.2	16.2	16.1	13.8	15.0	12.7	14.3	12.0	13.8	11.6	12.9	10.8	12.4	10.4
20	17.0	15.2	15.0	12.9	14.0	11.9	13.4	11.3	12.9	10.8	12.1	10.1	11.6	9.7
21	15.9	14.4	14.0	12.2	13.1	11.2	12.6	10.6	12.1	10.2	11.3	9.5	10.9	9.1
22	14.9	13.6	13.2	11.5	12.3	10.6	11.8	10.0	11.4	9.6	10.7	8.9	10.2	8.6
23	14.0	12.9	12.4	10.9	11.6	10.0	11.1	9.5	10.7	9.1	10.1	8.4	9.7	8.1
24	13.2	12.3	11.7	10.4	11.0	9.5	10.5	9.0	10.1	8.6	9.5	8.0	9.1	7.6
25	12.5	11.8	11.1	9.9	10.4	9.1	9.9	8.5	9.6	8.2	9.0	7.6	8.7	7.3
26	11.9	11.2	10.5	9.5	9.8	8.7	9.4	8.1	9.1	7.8	8.6	7.2	8.2	6.9
27	11.3	10.8	10.0	9.1	9.3	8.3	8.9	7.8	8.6	7.4	8.1	6.9	7.8	6.6
28	10.7	10.3	9.5	8.7	8.9	7.9	8.5	7.4	8.2	7.1	7.8	6.6	7.5	6.3
29	10.2	9.9	9.1	8.4	8.5	7.6	8.1	7.1	7.8	6.8	7.4	6.3	7.1	6.0
30	9.8	9.5	8.7	8.1	8.1	7.3	7.7	6.9	7.5	6.6	7.1	6.1	6.8	5.8
31	9.3	9.2	8.3	7.8	7.7	7.1	7.4	6.6	7.2	6.3	6.8	5.8	6.5	5.5
32	9.0	8.9	7.9	7.5	7.4	6.8	7.1	6.4	6.9	6.1	6.5	5.6	6.2	5.3
33	8.6	8.6	7.6	7.2	7.1	6.6	6.8	6.1	6.6	5.9	6.2	5.4	6.0	5.1
34	8.3	8.3	7.3	7.0	6.9	6.3	6.6	5.9	6.3	5.7	6.0	5.2	5.7	4.9

Factor de erosión. Junta con pasajuntas. Acotamiento sin pavimento.

Espesor losa (cm)	K- Módulos de reacción sub-rasante (Kg/cm ³)													
	2		4		6		8		10		15		20	
	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem
12	3.51	3.61	3.50	3.57	3.49	3.54	3.48	3.52	3.48	3.51	3.47	3.49	3.45	3.47
13	3.41	3.53	3.39	3.48	3.39	3.45	3.38	3.43	3.38	3.41	3.37	3.39	3.35	3.37
14	3.32	3.45	3.30	3.39	3.29	3.36	3.28	3.34	3.28	3.33	3.27	3.30	3.25	3.28
15	3.23	3.37	3.21	3.31	3.20	3.28	3.19	3.26	3.19	3.24	3.18	3.22	3.16	3.20
16	3.15	3.30	3.12	3.24	3.12	3.21	3.10	3.18	3.10	3.17	3.09	3.14	3.08	3.12
17	3.07	3.24	3.05	3.17	3.04	3.14	3.02	3.11	3.02	3.10	3.01	3.07	3.00	3.04
18	2.99	3.18	2.97	3.11	2.96	3.07	2.95	3.05	2.94	3.03	2.93	3.00	2.92	2.97
19	2.93	3.12	2.90	3.05	2.89	3.01	2.88	2.98	2.87	2.97	2.86	2.93	2.85	2.91
20	2.86	3.06	2.83	3.00	2.83	2.95	2.81	2.92	2.80	2.91	2.79	2.87	2.79	2.84
21	2.80	3.01	2.77	2.93	2.76	2.89	2.74	2.86	2.74	2.85	2.73	2.81	2.72	2.78
22	2.74	2.96	2.71	2.88	2.70	2.84	2.68	2.81	2.68	2.80	2.67	2.76	2.66	2.73
23	2.68	2.91	2.65	2.83	2.64	2.79	2.62	2.76	2.62	2.74	2.61	2.70	2.59	2.67
24	2.63	2.87	2.60	2.78	2.59	2.74	2.57	2.71	2.56	2.69	2.55	2.65	2.54	2.62
25	2.58	2.83	2.54	2.74	2.54	2.69	2.52	2.67	2.51	2.65	2.50	2.60	2.49	2.57
26	2.53	2.79	2.50	2.70	2.49	2.65	2.47	2.62	2.46	2.61	2.45	2.56	2.44	2.53
27	2.48	2.75	2.45	2.66	2.44	2.61	2.42	2.58	2.41	2.57	2.40	2.52	2.39	2.49
28	2.43	2.72	2.40	2.63	2.39	2.57	2.37	2.54	2.37	2.53	2.35	2.48	2.34	2.45
29	2.39	2.69	2.36	2.59	2.35	2.54	2.33	2.51	2.32	2.49	2.31	2.44	2.30	2.41
30	2.34	2.65	2.31	2.56	2.30	2.50	2.28	2.47	2.28	2.45	2.26	2.41	2.25	2.37
31	2.30	2.62	2.27	2.52	2.26	2.47	2.24	2.43	2.24	2.42	2.22	2.37	2.21	2.34
32	2.26	2.59	2.23	2.49	2.22	2.43	2.20	2.40	2.19	2.38	2.18	2.33	2.17	2.30
32	2.22	2.56	2.19	2.46	2.18	2.40	2.16	2.37	2.15	2.35	2.14	2.30	2.13	2.27
34	2.18	2.53	2.15	2.43	2.14	2.37	2.12	2.33	2.12	2.32	2.10	2.27	2.09	2.24

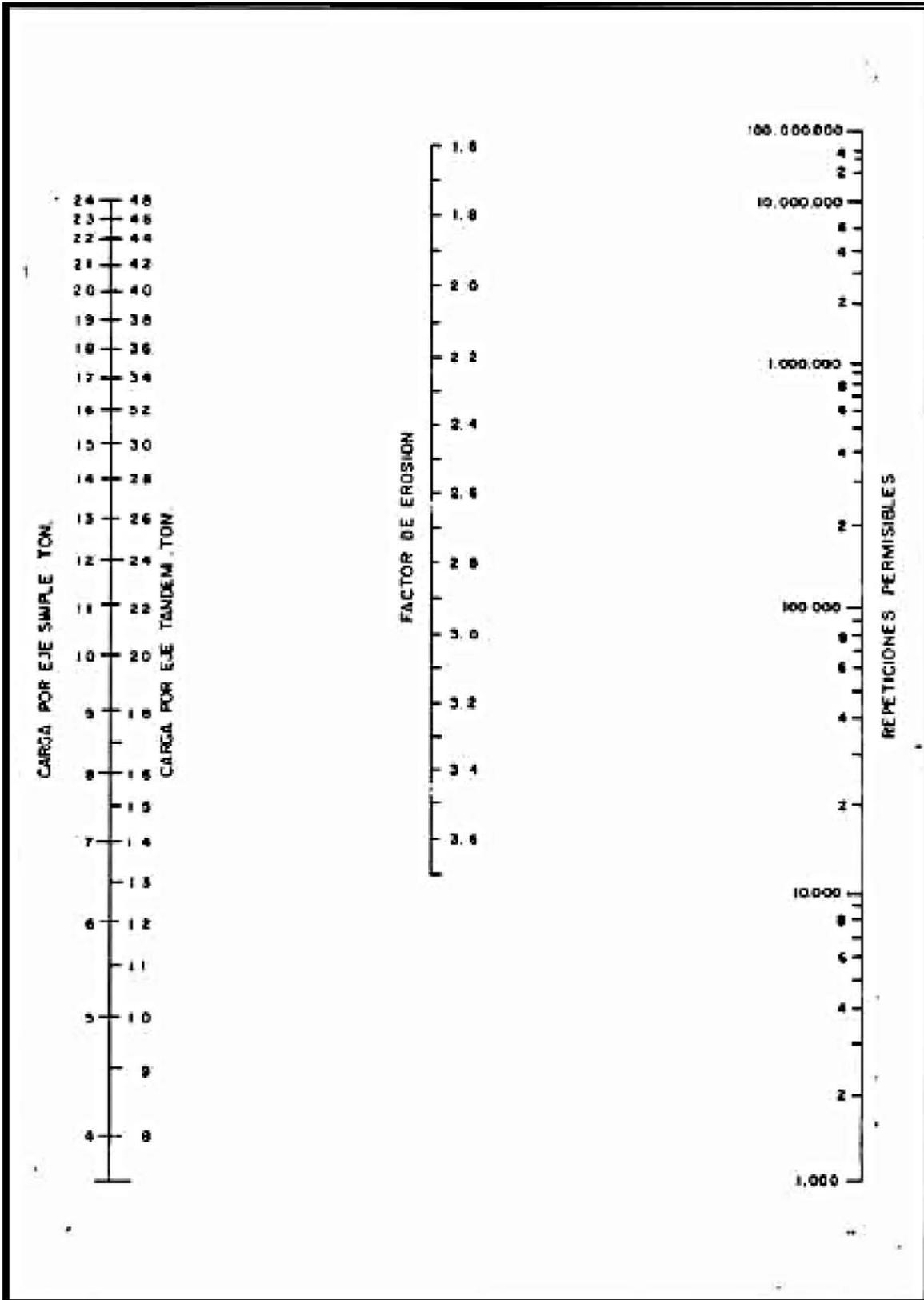
Factor de erosión. Junta con pasajuntas. Acotamiento pavimentado.

Espesor losa (cm)	K-Módulo de reacción sub-rasante (Kg/cm ³)													
	2		4		6		8		10		15		20	
	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem
12	3.07	3.09	3.02	2.99	3.00	2.93	2.97	2.90	2.96	2.88	2.94	2.84	2.92	2.83
13	2.97	3.02	2.92	2.92	2.90	2.86	2.87	2.83	2.86	2.80	2.84	2.76	2.82	2.74
14	2.88	2.96	2.83	2.85	2.81	2.79	2.78	2.76	2.77	2.73	2.75	2.68	2.73	2.66
15	2.80	2.89	2.75	2.79	2.73	2.72	2.70	2.69	2.69	2.66	2.67	2.61	2.65	2.59
16	2.72	2.84	2.67	2.73	2.65	2.66	2.62	2.63	2.61	2.60	2.59	2.55	2.57	2.52
17	2.64	2.78	2.60	2.68	2.58	2.60	2.55	2.57	2.54	2.54	2.52	2.48	2.49	2.45
18	2.57	2.73	2.53	2.62	2.51	2.55	2.48	2.51	2.47	2.48	2.45	2.42	2.42	2.39
19	2.51	2.69	2.47	2.57	2.44	2.50	2.41	2.46	2.40	2.43	2.38	2.37	2.36	2.33
20	2.44	2.64	2.41	2.53	2.38	2.45	2.35	2.41	2.34	2.38	2.32	2.31	2.29	2.28
21	2.38	2.60	2.35	2.48	2.32	2.40	2.29	2.36	2.28	2.33	2.26	2.26	2.23	2.22
22	2.33	2.56	2.30	2.44	2.27	2.36	2.24	2.32	2.23	2.29	2.21	2.21	2.18	2.17
23	2.27	2.52	2.24	2.40	2.21	2.31	2.18	2.27	2.17	2.24	2.15	2.17	2.12	2.12
24	2.23	2.48	2.19	2.36	2.16	2.28	2.13	2.24	2.12	2.20	2.10	2.13	2.07	2.08
25	2.18	2.43	2.14	2.33	2.11	2.24	2.09	2.20	2.08	2.17	2.05	2.09	2.02	2.03
26	2.14	2.39	2.09	2.29	2.06	2.21	2.04	2.17	2.03	2.13	2.01	2.06	1.97	1.99
27	2.10	2.35	2.05	2.26	2.02	2.17	2.00	2.13	1.99	2.10	1.96	2.03	1.93	1.95
28	2.06	2.32	2.01	2.23	1.98	2.14	1.95	2.10	1.94	2.07	1.92	1.99	1.89	1.91
29	2.03	2.28	1.97	2.19	1.94	2.11	1.91	2.07	1.90	2.04	1.88	1.96	1.85	1.87
30	1.99	2.25	1.93	2.16	1.90	2.08	1.87	2.04	1.86	2.01	1.83	1.93	1.81	1.83
31	1.96	2.21	1.89	2.13	1.86	2.05	1.83	2.01	1.82	1.96	1.80	1.90	1.77	1.80
32	1.92	2.18	1.86	2.11	1.83	2.03	1.80	1.99	1.79	1.95	1.76	1.87	1.74	1.76
33	1.89	2.15	1.82	2.08	1.79	2.00	1.76	1.96	1.75	1.92	1.72	1.85	1.70	1.73
34	1.86	2.12	1.79	2.05	1.76	1.97	1.73	1.93	1.72	1.90	1.69	1.82	1.67	1.70

Factor de erosión. Junta sin pasajuntas. Acotamiento pavimentado.

Espesor losa (cm)	K-Módulo de reacción sub-rasante (kg/cm ³)													
	2		4		6		8		10		15		20	
	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem	Eje simple	Eje tandem
12	3.25	3.29	3.20	3.19	3.18	3.13	3.17	3.11	3.16	3.09	3.13	3.04	3.11	3.03
13	3.16	3.23	3.11	3.12	3.09	3.06	3.08	3.04	3.06	3.02	3.03	2.97	3.01	2.95
14	3.08	3.17	3.03	3.06	3.00	2.99	2.99	2.97	2.98	2.95	2.95	2.90	2.93	2.87
15	3.00	3.11	2.95	3.00	2.92	2.93	2.91	2.91	2.90	2.88	2.87	2.83	2.85	2.80
16	2.93	3.06	2.88	2.94	2.85	2.88	2.84	2.85	2.82	2.82	2.79	2.77	2.77	2.74
17	2.87	3.01	2.81	2.89	2.78	2.82	2.77	2.79	2.75	2.77	2.72	2.71	2.70	2.68
18	2.80	2.97	2.74	2.84	2.71	2.77	2.70	2.74	2.69	2.71	2.66	2.65	2.64	2.62
19	2.74	2.92	2.68	2.80	2.65	2.72	2.64	2.69	2.62	2.66	2.59	2.60	2.57	2.57
20	2.69	2.88	2.62	2.76	2.59	2.68	2.58	2.64	2.56	2.62	2.53	2.55	2.51	2.51
21	2.63	2.84	2.57	2.71	2.53	2.64	2.52	2.60	2.51	2.57	2.48	2.50	2.46	2.47
22	2.58	2.80	2.51	2.68	2.48	2.59	2.47	2.56	2.45	2.53	2.42	2.46	2.40	2.42
23	2.53	2.77	2.46	2.64	2.43	2.55	2.42	2.51	2.40	2.48	2.37	2.41	2.35	2.37
24	2.48	2.74	2.42	2.60	2.38	2.52	2.37	2.48	2.36	2.45	2.33	2.38	2.31	2.33
25	2.44	2.71	2.37	2.57	2.34	2.49	2.33	2.45	2.31	2.42	2.28	2.34	2.26	2.29
26	2.40	2.68	2.33	2.54	2.30	2.46	2.28	2.41	2.27	2.38	2.24	2.31	2.22	2.25
27	2.36	2.65	2.29	2.51	2.26	2.43	2.24	2.38	2.22	2.35	2.20	2.27	2.17	2.21
28	2.33	2.62	2.25	2.49	2.22	2.40	2.20	2.35	2.18	2.32	2.16	2.24	2.13	2.18
29	2.29	2.60	2.22	2.46	2.18	2.37	2.16	2.33	2.14	2.30	2.12	2.21	2.09	2.14
30	2.26	2.57	2.18	2.43	2.15	2.35	2.12	2.30	2.11	2.27	2.08	2.18	2.06	2.11
31	2.22	2.55	2.15	2.41	2.11	2.32	2.09	2.27	2.07	2.24	2.04	2.15	2.02	2.07
32	2.19	2.52	2.11	2.38	2.08	2.29	2.05	2.25	2.03	2.22	2.01	2.13	1.98	2.04
33	2.16	2.50	2.08	2.36	2.04	2.27	2.02	2.22	2.00	2.19	1.98	2.10	1.95	2.01
34	2.13	2.48	2.05	2.34	2.01	2.25	1.98	2.20	1.97	2.17	1.94	2.07	1.92	1.98

Nomograma para análisis por erosión. Acotamiento Pavimentado.



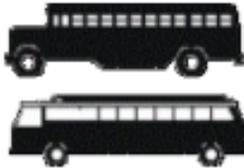
ANEXO 3

**TABLAS PARA LOS PESOS Y DIMENSIONES DE LOS VEHÍCULOS
DE ACUERDO CON LA NOM-012-SCT-2-2014**

Clasificación de los vehículos atendiendo a su clase, nomenclatura, número de ejes y llantas.

CLASE: VEHÍCULO O CONFIGURACIÓN	NOMENCLATURA
AUTOBÚS	B
CAMIÓN UNITARIO	C
CAMIÓN REMOLQUE	C-R
TRACTOCAMIÓN ARTICULADO	T-S
TRACTOCAMIÓN DOBLEMENTE ARTICULADO	T-S-R y T-S-S

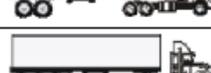
Clasificación de los vehículos atendiendo a su clase, nomenclatura, número de ejes y llantas.

AUTOBÚS (B)			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	VEHÍCULO
B2	2	6	
B3	3	8 o 10	
B4	4	10	

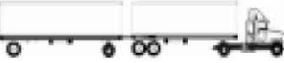
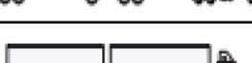
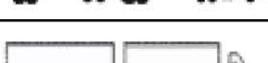
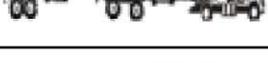
Clasificación de los vehículos atendiendo a su clase, nomenclatura, número de ejes y llantas.

CAMIÓN UNITARIO (C)			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	VEHÍCULO
C2	2	6	
C3	3	8-10	
CAMIÓN-REMOLQUE (C-R)			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	VEHÍCULO
C2-R2	4	14	
C3-R2	5	18	
C2-R3	5	18	
C3-R3	6	22	

Clasificación de los vehículos atendiendo a su clase, nomenclatura, número de ejes y llantas.

TRACTOCAMIÓN ARTICULADO (T-S)			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	CONFIGURACIÓN DEL VEHÍCULO
T2-S1	3	10	
T2-S2	4	14	
T2-S3	5	18	
T3-S1	4	14	
T3-S2	5	18	
T3-S3	6	22	

Pesos máximos autorizados por tipo de eje y camino (toneladas)

TRACTOCAMIÓN SEMIRREMOLQUE-REMOLQUE (T-S-R)			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	CONFIGURACIÓN DEL VEHÍCULO
T2-S1-R2	5	18	
T2-S2-R2	6	22	
T2-S1-R3	6	22	
T3-S1-R2	6	22	
T3-S1-R3	7	26	
T3-S2-R2	7	26	
T3-S2-R3	8	30	
T3-S2-R4	9	34	
T2-S2-S2	6	22	
T3-S2-S2	7	26	
T3-S3-S2	8	30	

Pesos máximos autorizados por tipo de eje y camino (toneladas)

CONFIGURACIÓN DE EJES		VEHÍCULO	TIPO DE CAMINO			
			ET4 Y ET2 A4 Y A2	B4 Y B2	C	D
	SENCILLO DOS LLANTAS	B	6,50	6,00	5,50	5,00
	MOTRIZ SENCILLO CUATRO LLANTAS	B	12,50	10,50	9,00	8,00
	MOTRIZ DOBLE TANDEM SEIS LLANTAS	B	17,50	13,00	11,50	11,00
	MOTRIZ DOBLE TANDEM OCHO LLANTAS	B	21,00	17,00	14,50	13,50

Pesos máximos autorizados por tipo de eje y camino (toneladas)

CONFIGURACIÓN DE EJES		VEHÍCULO O CONFIGURACIÓN	TIPO DE CAMINO			
			ET4 Y ET2 A4 Y A2	B4 Y B2	C	D
	SENCILLO DOS LLANTAS	C-R y T-S-R	6,50	6,00	5,50	5,00
		C y T-S	6,50	6,00	5,50	5,00
	SENCILLO CUATRO LLANTAS	C-R y T-S-R	10,00	9,50	8,00	7,00
		C y T-S	11,00	9,50	8,00	7,00
	MOTRIZ SENCILLO CUATRO LLANTAS	C-R y T-S-R	11,00	10,50	9,00	8,00
		C y T-S	12,50	10,50	9,00	8,00
	MOTRIZ DOBLE O TANDEM SEIS LLANTAS	C-R y T-S-R	15,00	13,00	11,50	11,00
		C y T-S	17,50	13,00	11,50	11,00
	DOBLE TANDEM OCHO LLANTAS	C-R y T-S-R	17,00	15,00	13,50	12,00
		C y T-S	19,00	15,00	13,50	12,00
	MOTRIZ DOBLE O TANDEM OCHO LLANTAS	C-R y T-S-R	18,00	17,00	14,50	13,50
		C y T-S	21,00	17,00	14,50	13,50
	TRIPLE TRIDEM DOCE LLANTAS	C-R y T-S-R	23,50	22,50	20,00	NA
		C y T-S	26,50	22,50	20,00	NA

NA = No Autorizado

Peso bruto vehicular máximo autorizados por clase de vehículo y camino.

VEHÍCULO	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	PESO BRUTO VEHICULAR (t)			
			ET y A	B	C	D
B2	2	6	19,0	16,5	14,5	13,0
B3	3	8	24,0	19,0	17,0	16,0
B3	3	10	27,5	23,0	20,0	18,5
B4	4	10	30,5	25,0	22,5	21,0

Peso bruto vehicular máximo autorizados por clase de vehículo y camino.

VEHÍCULO O CONFIGURACIÓN VEHICULAR	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	PESO BRUTO VEHICULAR (t)			
			ET y A	B	C	D
C2	2	6	19,0	16,5	14,5	13,0
C3	3	8	24,0	19,0	17,0	16,0
C3	3	10	27,5	23,0	20,0	18,5
C2-R2	4	14	37,5	35,5	NA	NA
C3-R2	5	18	44,5	42,0	NA	NA
C3-R3	6	22	51,5	47,5	NA	NA
C2-R3	5	18	44,5	41,0	NA	NA
T2-S1	3	10	30,0	26,0	22,5	NA
T2-S2	4	14	38,0	31,5	28,0	NA
T3-S2	5	18	46,5	38,0	33,5	NA
T3-S3	6	22	54,0	45,5	40,0	NA
T2-S3	5	18	45,5	39,0	34,5	NA
T3-S1	4	14	38,5	32,5	28,0	NA
T2-S1-R2	5	18	47,5	NA	NA	NA
T2-S1-R3	6	22	54,5	NA	NA	NA
T2-S2-R2	6	22	54,5	NA	NA	NA
T3-S1-R2	6	22	54,5	NA	NA	NA
T3-S1-R3	7	26	60,5	NA	NA	NA

ANEXO 4
PLANOS ILUSTRATIVOS DE DISEÑO

