

872715
4



Universidad Don Vasco, A. C.

----INCORPORACIÓN No. 8727-15----
a la Universidad Nacional Autónoma de México
Escuela de Ingeniería Civil

“COMPARATIVO ENTRE EL DISEÑO
DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO
E HIDRÁULICO PARA EL
PROYECTO BOULEVARD
PASEO DE LA REVOLUCIÓN
EN URUAPAN, MICHOACÁN”.

TESIS

Que para obtener el título de:

LICENCIADO EN INGENIERÍA CIVIL
presentan:

César Ignacio Madrigal Alarcón
José Antonio Paz Dávalos



Uruapan, Michoacán, 2003

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme terminar mi carrera.

A mis padres que son mi motivación y orgullo.

A toda mi familia por su apoyo.

A mis profesores por su dedicación y conocimientos.

Al Ingeniero Anastacio Blanco por su asesoría.

Al Ingeniero Esteban Brito Chávez por su ayuda incondicional.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

DEDICATORIA

A Dios por darme la bendición de vivir.

A mis padres por su amor y entrega .

A mis hermanas por su cariño.

A mis amigos por su tiempo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

	pag.
I.- CONDICIONES REGIONALES.	1
I.1.- Antecedentes.	2
I.1.1.- Ubicación.	2
I.1.2.- Topografía.	2
I.1.3.- Climatología.	3
I.2.-Geología general de la zona.	3
I.2.1.- Hechos y conceptos geológicos.	3
I.2.2.- Rocas características de la geología de la región de Uruapan.	4
I.2.3.- Geología específica de la vía "Paseo de la Revolución."	5
II.- MECÁNICA DE SUELOS.	8
II.1.- Objetivos de los estudios de mecánica de suelos.	9
II.2.- Clasificación y descripción de los suelos.	10
II.3.- Permeabilidad del suelo en la vía.	12
II.4.- Plasticidad de los suelos.	13
II.5.- Contracción volumétrica.	15
II.6.- Pruebas mecánicas para vías terrestres.	16
II.7.- Trabajos de muestreo de la obra.	18
II.8.- Profundidad de mantos freáticos bajo la vía.	24
II.9.- Drenaje superficial.	24
II.10.- Subdrenaje.	25
II.11.- Conclusiones geotécnicas.	26
II.12.- Identificación y localización de bancos de préstamo.	27
III.- DESCRIPCIÓN DE PAVIMENTOS.	36
III.1.- Definición de pavimento.	37
III.2.- Tipos de pavimentos.	37
III.3.- Funcionalidad de un pavimento.	38
III.4.- Recomendaciones de materiales.	38
III.5.- Estructuración de los dos tipos de pavimentos.	41
IV.- PAVIMENTOS FLEXIBLES.	42
IV.1.- Componentes constructivas de un pavimento flexible.	43
IV.2.- Introducción al diseño.	44
IV.2.1.- Condiciones de tránsito vehicular.	44
IV.3.- Descripción del método de la U.N.A.M.	45
IV.4.- Diseño del pavimento flexible.	48
IV.5.- Propuesta para la estructuración del pavimento tipo flexible.	54
IV.6.- Conclusiones y recomendaciones.	55
V.- PAVIMENTOS HIDRÁULICOS.	60
V.1.- Pavimentos de concreto hidráulico en vialidades urbanas.	61
V.2.- Descripción del método de la P.C.A. (Método de la fatiga).	64
V.3.- Juntas en pavimentos hidráulicos.	64

V.4.- Diseño del pavimento de concreto hidráulico (Con datos de aforo elaborado por la empresa contratada).	69
V.5.- Diseño del pavimento de concreto hidráulico (Con datos de aforo con fuente elaboración propia).	77
V.6.- Diseño de juntas.	82
VI.- COSTOS DEL PAVIMENTO Y PLUSVALÍA DE LOS TERRENOS.	90
VI.1.- Análisis de plusvalía en las propiedades beneficiadas.	91
VI.2.- Obtención de los porcentajes de incremento.	93
VI.3.- Costos de los dos tipos de pavimento.	98
VII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	101
BIBLIOGRAFÍA	106

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo de tesis tiene como propósito presentar una solución alterna al proyecto elaborado para la ampliación de la vía urbana "Paseo de la Revolución", en la ciudad de Uruapan Michoacán; dicha solución consta del diseño de un pavimento de tipo hidráulico, para el cual se analizarán las ventajas y desventajas que presentaría esta propuesta a corto y largo plazo, así como el análisis de la plusvalía de la zona beneficiada por el proyecto.

El tramo comprende kilómetro y medio, y va desde las calles Niza (Facultad de Agrobiología) hasta el centro comercial Soriana. Ubicado en la zona sur de la ciudad de Uruapan y que conecta con la carretera federal Uruapan – Nueva Italia. (Ver plano de ubicación, plano1).

El acelerado y no planificado crecimiento urbano de la ciudad de Uruapan a ocasionado un serio problema en la circulación vehicular, lo que ha orillado a mejorar los servicios e infraestructura urbana ya existentes, por tal situación, creemos que es de gran importancia aportar con soluciones que permitan mejorar no solo la vialidad sino todos los problemas que se presentan en nuestra ciudad.

En los primeros capítulos hablaremos sobre todos los estudios y pruebas necesarias que han sido desarrollados para llevar a cabo el proyecto, cabe resaltar que nos basaremos en los estudios que fueron realizados por la empresa ESMART, contratada para la construcción del proyecto existente en la vía. Posteriormente presentaremos nuestra alternativa de solución, en la cual mencionaremos las especificaciones, conclusiones y recomendaciones adecuadas para este tipo de estructuración.

Cabe mencionar que nuestra propuesta de pavimento se basa en un aforo vehicular que llevamos acabo en las horas pico del día, en las calles que cuentan con mayor volumen de tránsito y en diferentes días de la semana.

Al final del trabajo haremos mención a una de las partes mas importantes que son los costos de cada una de las propuestas, analizando los pros y los contras de cada una, así como dando nuestras conclusiones sobre la que hubiera sido la mejor solución; analizando también la plusvalía de los terrenos beneficiados por la construcción del a vía.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO I.- CONDICIONES REGIONALES

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

En este capítulo mencionaremos las condiciones regionales del municipio de Uruapan, así como su localización, topografía, climatología, etc. para poder dar un panorama general del sitio de la obra.

Posteriormente hablaremos de la geología general de la zona, ya que es importante conocer los diferentes tipos de rocas y materiales que componen el terreno donde estará ubicada la construcción del boulevard.

I.1.- ANTECEDENTES

EL MUNICIPIO DE URUAPAN

El municipio se localiza en el noroeste del estado, limita al Norte con los municipios de Charapan, Paracho y Nahuatzen; al sur con el municipio de Gabriel Zamora, al oriente con los municipios de Tingambato, Ziracuaretiro y Taretan y al poniente con los municipios de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Peribán y los Reyes.

El municipio de Uruapan tiene una extensión territorial de 1286 km², actualmente cuenta aproximadamente con 265, 699 habitantes y una tasa de crecimiento anual de 2.1%.

En lo relacionado al número de automóviles en la ciudad de Uruapan, se cuentan con 170,000 vehículos y un crecimiento vehicular anual de aproximadamente 3%.

I.1.1.- UBICACIÓN

La ciudad de Uruapan se localiza geográficamente a los 102° 03'30" de longitud oeste y a los 19° 25' de latitud norte y está a 1612 metros sobre el nivel del mar.

La ciudad se ubica en la provincia fisiográfica del eje neo-volcánico, en parte de las sub-provincias escarpa limítrofe del sur y la neo-volcánica tarasca, en la que se observan sistemas de sierras con características de sierra volcánica compleja con llanos; hacia el noroeste se encuentra una pequeña franja de malpais.

I.1.2.- TOPOGRAFÍA

Uruapan ocupa una meseta rodeada de cerros a excepción del lado oeste. El norte se localiza el cerro de "La Cruz" que es la elevación más importante con 2300 metros sobre el nivel del mar; al sur existen dos cerros: "Las Campanas" y "La Cruz del Arriero", y también ahí, se localizan las salidas de los escurrimientos pluviales; al este, una serie de lomeríos menores, y al oeste, únicamente el cerro de Jicalán.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

I.1.3.- CLIMATOLOGÍA

De acuerdo al sistema de clasificación climática de KOPPEN modificado el clima en Uruapan está incluido en la división de climas semi-cálidos, perteneciendo al más cálido de los templados húmedos, con temperatura media del mes más frío entre 3° centígrados y 18° centígrados y la más caliente mayor a 6.5° centígrados así como es el más húmedo con lluvias en verano, con una temperatura media del mes más caliente entre 6.5° centígrados y 22° centígrados, con variación isotermal menor a 5° centígrados; el mes más caliente del año se presenta antes de Junio, la temperatura media anual es de 19° centígrados.

La época de lluvias está comprendida entre los meses de julio a octubre, presentándose la mayor precipitación en el mes de septiembre con aproximadamente 380 milímetros, la precipitación anual es de 1630.6 milímetros. Los vientos soplan generalmente de sur a norte con una velocidad de 34 km/hr.

Fuente (INEGI, 2000)

I.2.- GEOLOGÍA GENERAL DE LA ZONA.

I.2.1.- HECHOS Y CONCEPTOS GEOLÓGICOS.

La región de Uruapan, Tancítaro y nuevo Parangaricutiro se caracterizan por la gran existencia de colinas o montañas que son formaciones geológicas de conos de material que se ha acumulado durante siglos en la superficie de la región por medio de erupciones volcánicas sucesivas.

Una erupción volcánica rompe en fragmentos de lava, formando el llamado material "piroclástico".

Una parte considerable de este material es un polvo fino lanzado a gran altura en el aire como parte de la erupción. Parte del material piroclástico consiste en fragmentos de mayor tamaño que al volar por el aire se enfrían y forman las "bombas volcánicas" características formadoras de depósitos de tezontles rojos y/o negros, algunos de gran porosidad o muy pesados, otra parte son las llamadas "escorias ó tezontles" de tamaño medio de forma irregular ó redondas, gruesas como gravillas y por último el material que forman los polvos y arenas finas denominadas "cenizas volcánicas".

Rocas características derivadas de erupciones volcánicas serían la lava, la obsidiana, las escorias, la piedra pómez, las cenizas volcánicas y los tezontles.

Por otra parte la zona de Uruapan, presenta una clara diferencia entre materiales ígneos derivados de la actividad volcánica y materiales derivados del proceso de sedimentación tales como las areniscas que se han ido formando por

consolidación y cementación de materiales fragmentados o precipitados de diversos materiales en solución.

1.2.2.- ROCAS CARACTERÍSTICAS DE LA GEOLOGÍA DE LA REGIÓN DE URUAPAN.

Tobas:

Rocas de orden ígneo, cenizas volcánicas consolidadas, de fragmentos muy pequeños lanzados muy altos en el aire por explosiones volcánicas que se sedimentan. Los fragmentos de tobas son en su mayoría pequeños trozos de vidrio con puntas agudas con contenido de cristales de cuarzo y feldspatos así como fragmentos de piedra pómez y pedazos de lava sólida.

Rocas sedimentarias: se han formado por la compactación y cementación de los sedimentos formados esencialmente por lutitas, areniscas y conglomerados; su composición es variable y se definen según sea el tamaño de los granos. Se presenta físicamente en capas descritas a continuación.

Conglomerados:

Están compuestas por gravas redondas y cementadas, pueden tener diversas composiciones, los guijarros son duros y muy resistentes a la meteorización.

Areniscas:

Los granos de arenas cementadas son comúnmente de cuarzo, si las areniscas son angulares y presentan una gran variedad de tamaño y de granulometría desordenada significa que fueron depositadas rápidamente sin mucho transporte por el viento o por el agua.

En cambio si son muy redondas, significa que han sido transportadas de grandes distancias.

El material cementante de las areniscas es generalmente calcitas, óxido ferroso o arcillas.

El cementante predominante de las areniscas de Uruapan es esencialmente óxido ferroso que disuelto en ácido clorhídrico nos da un color amarillo.

Loess:

Es una capa estratificada conformada por lodos compactados y sus principales componentes son minerales de arcilla. Se distinguen por su blandura y capas muy delgadas.

Algunas lutitas son bastantes porosas y muy retenedoras de humedad, sin embargo los poros no están comunicados y el agua no las satura. Es de grano tan fino que a simple vista no se revela su composición y su origen geológico. Este material es un magnífico cementante natural en la formación de capas flexibles.

I.2.3.- GEOLOGÍA ESPECÍFICA DE LA VÍA "PASEO DE LA REVOLUCIÓN."

Conforme a los datos obtenidos en los sondeos exploratorios de la estratigrafía del suelo de la vía y los propósitos del reconocimiento geológico y el origen de los materiales existentes en el subsuelo, se evaluaron en este reconocimiento las propiedades físicas del mismo, considerándose en forma especial la contracción y expansión del suelo, la capacidad de soporte para el pavimento y la plasticidad del suelo y su compactación considerándose las siguientes propiedades de caracterización:

POSICIÓN FISIOGRÁFICA:

Tierra alta consistente en montañas, lomeríos con suelos derivados en el lugar por la descomposición o desintegración de la roca madre subyacente formando suelos primarios, residuales o sedimentarios. También por la emisión de partículas finas producto de la actividad volcánica y arrastres hídricos de areniscas depositadas en capas diferenciadas.

PENDIENTE NATURAL DEL TERRENO DE LA VÍA:

Equivalente a aproximadamente un metro de desnivel vertical por cada 100 metros de longitud, considerándose una pendiente ligera en una sola dirección.

MICRORELIEVE:

Comprende las irregularidades de la superficie sobre la vía y se puede considerar un relieve de zanjonés provocados principalmente por la erosión hídrica pluvial.

EROSIÓN:

Dadas las condiciones actuales de la vía de pendiente ligera, existen dos tipos de erosión: la primera de tipo laminar moderada que sin embargo puede eliminar hasta un 40% del suelo superficial apareciendo en algunos puntos el subsuelo limoso, y el otro tipo de erosión sería concentrado en cárcavas o zanjonés que de no estar protegidos por cubierta vegetal serán fuentes importantes de erosión.

DRENAJE EXTERNO: Esguerramiento

El drenaje superficial ocurre cuando el agua permanece en la superficie de la vía por algún tiempo, y dado que el suelo de la vía es de naturaleza aluvial sedimentario con ligera pendiente, se considera que el drenaje superficial es eficiente, sin embargo se debe tener especial cuidado con la acumulación excesiva o encharcamiento en las laterales de la vía para evitar asentamientos de la carpeta flexible por falla del suelo.

**TERRIS CON
FALLA DE ORIGEN**

ESTRATIGRAFÍA GENERAL DE LA VÍA

El suelo de la vía en estudio en su capa superficial tiene un espesor de tipo decreciente ya que empieza en un espesor de mas 85cm. a la altura de la glorieta, se adelgaza sensiblemente a la altura del centro comercial "Soriana" y "Lázaro Cárdenas", se incrementa ligeramente al terminar la vía en el entronque con la carretera federal, las profundidades del primer estrato tomados fuera de la vía son de 85-45-25-40-25 y 40cms lo que nos da un promedio general de 40cms de capa, de areniscas, lo que nos indica la fuerte erosión de los laterales de la vía actual por falta de un mantenimiento adecuado de los taludes.

Dado que la primer capa tiene un promedio de 30-60cms de profundidad se le considera un suelo somero.

ESTRUCTURA DEL SUBSUELO

En la disposición de las partículas en la masa del mismo; es un término totalmente diferente al de estructura del suelo.

La estructura del suelo depende del contenido de materia orgánica, contenido de cal, sodio, de arcillas, arcillas coloidales o finas y por supuesto de contenido de humedad.

Las capas encontradas bajo el subsuelo de la vía tienen, la primera una estructura de granos simples en donde cada grano de suelo es una unidad por si misma, caso típico de arenas y gravas, en tanto la segunda capa presenta características de migajón de agregados muy porosos lo que indica una buena estructura granular poroso.

CONSISTENCIA DEL SUELO

Este término se refiere a la dureza o suavidad de los agregados del suelo. El suelo bajo la vía tiene una consistencia moderadamente dura debido a la presencia de dos capas en la estratigrafía del perfil.

La trabajabilidad del terreno con maquinaria es buena.

DRENAJE INTERNO

Dadas las características físicas del terreno, tenemos lo que se llama un drenaje interno imperfecto, ya que la segunda capa presenta características muy particulares de un alto límite líquido lo que le permite almacenar un nivel de humedad temporal alto durante la temporada de lluvias sin detrimento de la estabilidad del estrato que por condiciones naturales del mismo va liberando lentamente la humedad excedente conservando su humedad durante el resto del año.

CAPACIDAD DE RETENCIÓN DEL AGUA

La cantidad de agua almacenada por unidad de volumen del suelo depende principalmente de la textura y estructura del suelo para las condiciones particulares de construcción de caminos.

En nuestro caso particular y en especial la segunda capa del perfil tiene un límite líquido muy alto por lo cual en la mayoría de la vía se puede incrementar el volumen de agua a partir de la humedad natural en los espacios vacíos de limos inorgánicos sin que se presenten problemas de inestabilidad en el sustrato. Se considera en términos generales que este suelo puede soportar incrementos de hasta un 50% más de la humedad natural sin perder sus propiedades de cohesión debido principalmente a las cargas de tensión superficial que se generan al interior de la masa del suelo.

CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA

El suelo analizado bajo la vía no presenta contenido de materia orgánica o es despreciable en los laterales de la misma.

CONTENIDO DE CARBONATOS DEL SUELO

No se encontró carbonatos de calcio en el perfil de construcción por el origen geológico de las capas encontradas en el suelo.

CONTENIDO DE SALES DE SODIO EN EL SUELO

No se encontraron sales de sodio en el suelo.

fuelle (Empresa ESMART, 2000)

CAPÍTULO II.- MECÁNICA DE SUELOS

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

A continuación se tratará uno de los puntos más importantes de la tesis como es la mecánica de suelos; se presentará todos los estudios y pruebas que han sido realizados para llegar a identificar y clasificar los suelos, para conocer las condiciones de apoyo del terreno de la vía.

II.1.- OBJETIVOS DE LOS ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS

Los suelos son una acumulación heterogénea de partículas minerales no cementadas, producto de la desintegración mecánica o descomposición química de las rocas lo que da como resultado una inmensa variedad de tipo de suelos, cuyo comportamiento será diferente en cada una de las sollicitaciones a que se someta.

Debido a que las propiedades del suelo pueden ser variables en el tiempo y el espacio, la única manera que tiene el Ingeniero Civil de determinar el posible comportamiento del suelo, es mediante la realización de pruebas de laboratorio que reproduzcan de la manera más real las condiciones a que estará sujeto el suelo; por lo que es obvio la necesidad que se tiene de contar, tanto en la etapa de proyecto, como durante la ejecución de la obra de que se trate con datos firmes, seguros y abundantes respecto al suelo en estudio, lo que da al proyectista una concepción razonable y exacta de las propiedades físicas del suelo que deben de ser consideradas en su análisis.

El suelo es un conjunto con organización definida y propiedades que varían vectorialmente. En la dirección vertical generalmente sus propiedades cambian mucho más rápidamente que en la horizontal.

El concepto "Suelo" utilizado en el presente estudio considera las propiedades "vectoriales" del mismo. Se conoce que el suelo cambia sus propiedades mucho más rápidamente en la "dirección vertical" que en la horizontal.

El suelo tiene estratos y este es un hecho del que se hace abundante aplicación para los estudios de mecánica de suelos.

Por otra parte, el agua contenida en el suelo, tiene un papel fundamental en el comportamiento mecánico de este, y debe considerarse como parte integral del suelo.

Los suelos de la región de Uruapan tienen un origen mixto derivado de la acción volcánica antigua caracterizada por la emisión de gravillas, areniscas y limos (cenizas), características de las zonas altas y frías.

Estas capas de diversos materiales volcánicos, además de los suelos transportados por el agua y el viento, conforman la geología general de la región de Uruapan.

TRABAJO CON
FALLA DE ORIGEN

Es por eso muy necesario que el material conserve su contenido natural de humedad para evitar variaciones en la consistencia y estabilidad del estrato, ya que a menor o mayor humedad natural, el material se contraerá o expandirá según sea el caso.

Fuente (Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 1978)

Por lo anterior, es de suma importancia diseñar un sistema eficiente de drenaje para evitar la sobresaturación del subsuelo de la vía.

II.2.- CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS SUELOS

De una manera general podemos decir que el suelo se compone de cinco tipos básicos, grava, arena, limo, arcilla y suelos orgánicos; y varias de sus combinaciones.

En la naturaleza, los suelos raramente existen por separado como tipo de base, sino que se encuentran compuestos. De ahí que la identificación y clasificación de los suelos en el campo se basen en el reconocimiento de los tipos de los suelos y de las características de sus componentes.

Describir cada uno de los tipos en que se divide el suelo es la manera de poder identificarlos en el campo más rápidamente; por lo que a continuación se anotarán las principales características de cada uno de los cinco tipos:

GRAVA

Está formada por grandes granos minerales con diámetros mayores de la malla No. 4 de plg. (4.76 mm) aprox. Las piezas grandes se llaman fragmentos de rocas. El símbolo genérico es la letra G, y puede haber gravas limpias (con poco o nada de partículas finas), las cuales se pueden clasificar como gravas bien graduadas (GW), y gravas mal graduadas (GP); o gravas con finos (cantidad apreciable de finos), las cuales pueden ser gravas limosas (GM), o gravas arcillosas (GC).

ARENA

Se componen de partículas minerales naturales que varían desde la malla No. 4, hasta 0.002 plg. (0.074 mm) de diámetro. Se dice que es una arena cuando mas de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4, y su símbolo genérico es la letra S. Las arenas también pueden ser limpias, las cuales se clasifican como arenas bien graduadas (SW) y arenas mal graduadas (SP); o arenas con fino las cuales pueden ser arenas limosas (SM) y arenas arcillosas (SC).

LIMO

Está constituido de partículas minerales naturales, mas pequeñas de 0.002 plg. Las cuales carecen de plasticidad y tienen poca o nula resistencia en estado seco. Los limos son los finos no plásticos, inherentes, inestables en presencia de agua y tienen la tendencia de ponerse en suspensión cuando se saturan, son medianamente impermeables, difíciles de compactar y ampliamente susceptibles a hinchamientos por heladas, cambian de volumen con cambios de forma, y en seco

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

pueden pulverizarse fácilmente bajo la presión de los dedos; los limos se diferencian entre sí por el tamaño y forma de los granos. Su símbolo genérico es la letra M.

ARCILLA

Contiene partículas de tamaño coloidal que produce su plasticidad. La plasticidad y resistencia en estado seco están afectados por la forma y la composición mineral de las partículas.

Tienen baja resistencia a la deformación cuando están húmedas, pero al secarse forman masas duras; son impermeables, difíciles de compactar cuando están húmedas, algunas arcillas sufren de acuerdo a los cambios de su contenido de humedad grandes expansiones y contracciones, la diferencia entre las arcillas en el campo se lleva a cabo por la prueba de resistencia en estado seco, la cual mide la resistencia de la arcilla a quebrarse y pulverizarse. Su símbolo genérico se indica con la letra C.

MATERIA ORGÁNICA

Está compuesta por vegetales parcialmente descompuestos, como sucede con la toba, en materia vegetal finamente dividida, en los limos orgánicos y arcillas orgánicas. Los suelos orgánicos son de color gris oscuros o negro y generalmente tienen un olor característico a descomposición.

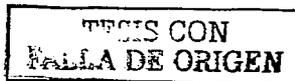
El sistema de clasificación de suelos (SUCS), se basa en el reconocimiento del tipo y predominio de los constituyentes, considerando tamaños de grano, graduación, plasticidad y compresibilidad el cual nos ofrece criterios para la identificación en el campo, en aquellos casos que no se disponga de equipo de laboratorio para efectuar las pruebas necesarias para una identificación estricta. Estos criterios, simples y expeditos, se describen a continuación de una manera general.

Una muestra representativa del suelo (quitándole las partículas mayores de 3", 76.2 mm), se clasifica inicialmente como suelo grueso o suelo fino, estimando si el 50% de las partículas pueden o no verse individualmente a simple vista.

IDENTIFICACIÓN EN CAMPO DE SUELOS GRUESOS

Se les llama suelos gruesos a aquellos que contienen más del 50% de partículas gruesas, los cuales se identifican en el campo sobre la base prácticamente visual. Si se extiende una muestra seca del suelo sobre una superficie plana, puede observarse en forma aproximada su graduación, tamaño de partícula, forma y composición mineralógica.

Si el suelo que predomina es grueso se identifica como grava o arena si el 50% o más de sus granos son mayores o menores que la malla No. 4 (4.76 mm).



IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE SUELOS FINOS

Los suelos que contienen más de 50% de partículas menores de lo que el ojo pueden distinguir, son suelos finos. La determinación de que si los finos son limos ó arcillosos, se hace por medio de las tres pruebas manuales que son: prueba de dilatación (reacción al agitado), prueba de tenacidad (consistencia cerca del límite plástico), prueba de resistencia en estado seco.

Las principales bases de criterio para identificar suelos finos en el campo, son la investigación de las características de dilatancia, tenacidad y de resistencia en estado seco. El color y olor del suelo pueden ayudar, especialmente en suelos orgánicos.

Fuente (Terrazas S, 1996)

DENSIDAD DEL SUELO Y POROSIDAD DEL MISMO.

En términos comunes la densidad es la dureza o suavidad de la masa del suelo y se usa en el sentido de consistencia, trabajabilidad o estructura de los suelos.

La densidad del suelo se mide por el peso específico aparente o peso volumétrico (peso por unidad de volumen) o sea el peso del suelo seco en el lugar (en gramos) dividido por el volumen del mismo suelo en centímetros cúbicos.

II.3.- PERMEABILIDAD DEL SUELO EN LA VÍA

La permeabilidad del suelo es su capacidad de absorber agua en todo su espesor; es sumamente importante en mecánica de suelos.

Para medir la permeabilidad del suelo se usó el método de laboratorio de medida del peso volumétrico de los dos horizontes principales en diferentes estaciones para obtener una buena medida de la permeabilidad relativa del mismo.

Para profundizar en el concepto de permeabilidad del suelo, nos remitiremos analizar los siguientes conceptos:

Generalidad y definiciones de la plasticidad.

Límite líquido.

Límite plástico.

Índice plástico.

Contracción lineal.

Valor relativo de soporte.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

II.4.- PLASTICIDAD DE LOS SUELOS

Existen suelos que al ser remoldeados artificialmente cambiando su contenido de humedad, si esto es necesario, cambian o adoptan una consistencia característica que desde muy remotas épocas se le llamo plástica. Este término se refiere a la relación específica entre la plasticidad y las propiedades fisico-químicas determinantes del comportamiento mecánico de las arcillas.

Por generalización del concepto al estudio mecánico de los diferentes tipos de suelo, se ha confirmado que la plasticidad de un suelo es debida a su contenido de partículas mas finas de forma laminar.

La forma laminar de un suelo ejerce una influencia importante en la compresibilidad del suelo, para fines prácticos en mecánica de suelos definimos "plasticidad" como la propiedad de un material por la cual este es capaz de soportar deformaciones rápidas sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse o agrietarse.

Terzaghi y otros investigadores han revelado que la plasticidad de los suelos se debe a las cargas eléctricas de las partículas laminares que generan los campos e influyen en las moléculas bipolares del agua. La interacción del agua sólida y viscosa es grande e influye en las partículas del suelo determinando su plasticidad final.

ESTADOS DE CONSISTENCIA. LÍMITES DE PLASTICIDAD.

Se ha determinado que la plasticidad no es una propiedad permanente de las arcillas, sino un hecho circunstancial y dependiente del contenido de agua. Ejemplificando, una arcilla muy seca puede tener la consistencia de un ladrillo y una obvia nula plasticidad, y esa misma arcilla saturada con agua puede comportarse como un lodo semilíquido o incluso de una suspensión líquida. Es entre estos dos límites que la arcilla se comporta plásticamente.

De este comportamiento cualquier suelo se deriva dos parámetros ampliamente usados en mecánica de suelos que según el contenido de agua de un suelo y su orden decreciente hacen al propio suelo estar en cualquiera de los siguientes estados de consistencia: (Atterberg).

- 1.- Estado líquido con las propiedades y apariencia de una suspensión.
- 2.- Estado semilíquido con las propiedades de un fluido viscoso.
- 3.- Estado plástico en que el suelo se comporta plásticamente.
- 4.- Estado semisólido, en que el suelo tiene la apariencia de un sólido, pero disminuye su volumen al ser secado.
- 5.- Estado sólido en que el volumen del suelo no varía al secado.

Las anteriores fases son estados por los que pasa el suelo al irse secando y no hay a la fecha frontera entre estados y para manejar los conceptos se han

TESIS CON
PALA DE ORIGEN

generado los llamados límites de consistencia, llamados universalmente "límite líquido" y "límite plástico" quedando entre estos el llamado "índice plástico".

LÍMITE LÍQUIDO

Para determinar el límite líquido de un suelo se usa una prueba de laboratorio de mecánica de suelos llamada "Límites de Consistencia de Atterberg".

La técnica de comprobación se hace con el uso de un aparato llamado "copa esférica de Casagrande", cuyas dimensiones son radio interior de 54mm, espesor de 2mm, y un peso de 200+20gr, incluyendo un tacón de bronce del mismo material de la copa. El aparato incluye una manivela que eleva la copa precisamente un centímetro de altura y la prueba se realiza como sigue:

Se coloca una muestra del suelo húmedo dentro de la copa, se le hace una ranura trapecial con un ranurador laminar o espátula dependiendo de la textura del suelo. En nuestro caso (arenas limosas y limos). La prueba se debe efectuar en un cuarto húmedo para evitar datos erróneos por evaporación. La prueba consiste en someter la copa a un número controlado de golpes y que la ranura del suelo se cierre a lo largo de $\frac{1}{2}$ " (1.27cms).

El límite líquido se determina conociendo 3 o 4 contenidos de agua diferentes aplicados por el laboratorista en su vecindad con los correspondientes números de golpes. La ordenada, de la curva corresponde a la abscisa de 25 golpes, es el contenido de agua correspondiente al límite líquido.

Para trazar la gráfica se usa un papel especial con contenidos de agua en escala aritmética y número de golpes en escala logarítmica generando una curva llamada de fluidez, que es casi una recta cerca del límite líquido.

El estudio correspondiente de mecánica de suelos muestra las gráficas de límite líquido de las capas estratigráficas para su correspondiente análisis.

Como observación adicional, se recomienda registrar valores entre los 6 y los 35 golpes determinando al menos 6 puntos entre 6 y 15 golpes y 3 entre 23 y 32, en pruebas de rutina basta con 4 puntos.

Las conclusiones de la prueba de límite líquido es que la fuerza que se opone a la fluencia o caída de los lados de la ranura proviene de la resistencia al esfuerzo cortante del suelo por lo que el número de golpes requerido para cerrar la ranura es una medida de esa resistencia al correspondiente contenido de agua.

En el caso de suelos no plásticos (arenosos) de mayor permeabilidad que las arcillas, las fuerzas de impacto producen un flujo de agua hacia fuera, disminuyendo su resistencia al esfuerzo cortante. Así, tenemos que por pruebas se considera que el límite líquido de un suelo plástico corresponde a una resistencia real de 25gr/cm² y obviamente la de un suelo arenoso es mucho

menor, debiéndose calcular con precisión el valor relativo de soporte de las arenas y limos en gr/cm^2 .

LÍMITE PLÁSTICO.

La prueba es muy simple, consiste en hacer rollitos de suelo de $1/8"$ (3mm) de diámetro. La formación de rollitos se hace en hojas de papel secos para acelerar la pérdida de humedad, también se hacen sobre una capa de vidrio. Cuando los rollitos llegan a su diámetro, se doblan y presionan formando una pasta que se vuelve a rolar hasta que en los 3mm justos ocurra el agrietamiento o desmoronamiento, en ese momento que se determina rápidamente el contenido de humedad que es el límite plástico en porcentaje de humedad.

ÍNDICE PLÁSTICO

Es la diferencia del porcentaje de contenido de humedad entre límite líquido y el límite plástico de una muestra de suelo. Si observamos las muestras analizadas en los sondeos de la vía en proyecto, encontramos lo siguiente:
hidratado.

Lo que nos lleva al análisis correspondiente del siguiente parámetro denominado contracción volumétrica.

II.5.- CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA

En un método que consiste en medir en laboratorio el peso y el volumen de una muestra de suelo totalmente seca, en ese momento se puede decir que el límite de contracción sería la humedad de la muestra seca si tuviese sus espacios vacíos llenos de agua.

El método usado para determinar la contracción volumétrica fue desarrollado por K. Terzaghi, brillante investigador mundial de mecánica de suelos y consiste en términos muy generales en usar un equipo clásico de desplazamiento de mercurio de un recipiente al que se incorpora una muestra de suelo seco, a continuación por presión diferencial se desplaza a otro recipiente el mercurio obteniéndose así el volumen en cm^3 de la muestra de peso seco y así como el peso correspondiente a la misma muestra.

Así, dependiendo del peso y volumen de una muestra dada es posible obtener el límite de contracción de los diferentes materiales.

La fórmula general utilizable en esta determinación del laboratorio sería:

$$I_c\% = 100 \frac{w - w_s - (v_1 - v_2) \gamma_w}{W_s}$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

V1= Volumen de la muestra húmeda, igual al volumen de cápsula de muestreo.

W = Peso de la muestra húmeda.

V2 = Volumen de la muestra seca.

Ws= Peso de la muestra seca.

Yw = Peso específico del material de la muestra.

La determinación del límite de contracción lineal es un parámetro que es necesario conocer ya que de su correcta observación y aplicación podemos conocer como se comportaría un material cualquiera en condiciones de humedad natural o inducida y en condiciones de suelo seco o pérdida de humedad por causas atribuibles principalmente a condiciones climáticas.

En el análisis de la gráfica correspondiente a las muestras del suelo tomadas sobre la vía, encontramos que la capa "a" de 0 a 90 decreciendo a +40cm al final de la construcción, la contracción lineal es prácticamente similar y va de un 4.5% a 4% en los dos primeros sondeos, bajando a prácticamente a 0 en las muestras 5 y 6 ascendiendo al punto original de 4% en la última muestra.

Si observamos con detalle los perfiles del suelo en el estudio de mecánica de suelos, encontramos que los sondeos del 1 al 4 nos dan un contenido variable de arenas mezcladas con limos, los que les confiere un cierto índice de plasticidad muy limitado por cierto entre límite líquido y plástico y un nuevo índice plástico en los sondeos 5 y 6 por ser suelos inertes arenosos saturados hasta el límite líquido y cero plasticidad por su origen arenoso total.

Fuente (Empresa ESMART, 2000)

II.6.- PRUEBAS MECÁNICAS PARA VÍAS TERRESTRES

VALOR RELATIVO DE SOPORTE

El objetivo es hacer la determinación del VRS de un material para calcular el espesor mínimo de la capa o capas que deberán colocarse encima del material estudiado (suelo natural, terracerías o sub-base), a fin de que las cargas vivas que se apliquen no produzcan esfuerzos que puedan ocasionar deformaciones permanentes perjudiciales. Estas pruebas deberán verificarse siempre en condiciones de humedad cercanas a las más desfavorables que pudiera alcanzar el material para una compactación dada.

Esta prueba tiene aplicación al caso de caminos ya construidos cuando se considere que los suelos que los conforman son susceptibles de adquirir mayor humedad que pueda originar una disminución apreciable del VRS.

Los pasos necesarios para verificar la prueba se detallan a continuación en su orden respectivo:

1.- Obtención de la humedad óptima de porter o proctor compactación de varios especímenes con la carga unitaria de 140.6 kg/cm² a diversas humedades.

2.- Determinación de las resistencias a la penetración.

La preparación de la muestra consiste en ser llevada al laboratorio desde exponerse al sol, extendiendo todo el material sobre una superficie limpia y tersa, la cual permita la fácil disgregación y manejo de la muestra.

A la muestra por analizar se le tamiza por la malla de 1" y no deberá ser menor de 30kg.

PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

La prueba consiste en medir la resistencia a la penetración en especímenes de material compactado por medio de cargas aplicadas con una máquina de compresión, para reproducir los pesos volumétricos que correspondan a diferentes grados de compactación, empleando las humedades que se especifican en la siguiente tabla:

GRADO DE COMPACTACIÓN %	VARIANTE 1	VARIANTE 2
	Buen drenaje y precipitación baja a Media	Drenaje deficiente y precipitación media a alta
100	Wo	Wo
95	Wo	Wo + 1.5
90 - 75	Wo	Wo + 3.0

Tabla 2.1

*Pesos volumétricos a diferente grado de compactación (V.R.S.)"

Fuente: Mecánica de suelos, instructivo para ensayos de suelos

VALOR RELATIVO DE SOPORTE MODIFICADO

La carga registrada para penetración de 2.54mm (0.1"), se debe expresar como un porcentaje de la carga estándar de 1360 kg/m., y si la prueba estuvo bien ejecutada, el porcentaje así obtenido es el VRS correspondiente a la muestra ensayada.

PESOS VOLUMÉTRICOS SECOS MÁXIMOS (PROCTOR Y PORTER)

Prueba "Proctor"

Esta prueba conocida bajo el nombre de prueba de compactación de "Proctor", se refiere a la determinación del peso por unidad de volumen, así como de la resistencia o la penetración de un suelo que ha sido compactado por un procedimiento definido para distintos contenidos de humedad.

El objetivo de esta prueba es determinar el peso volumétrico máximo que puede alcanzar el material durante la construcción o en caminos ya construidos, relacionando el peso volumétrico ya obtenido en el lugar (de campo) con el peso volumétrico máximo Proctor (de laboratorio).

La prueba Proctor reproduce en el laboratorio el tipo de compactación que se obtiene con los rodillos pata de cabra, es decir, una compactación uniforme de la parte inferior hacia la superficie de la capa compactada.

Esta prueba está limitada a los suelos que pasen totalmente la malla No. 4 o a lo más tengan un retenido de 10% en esta malla, pero que pasen totalmente por la malla de 3/8" y tengan un índice plástico mayor de 6.

No debe efectuarse, además, en las arenas de río, arenas de mina, arenas producto de una trituración de tezontles francamente arenosos, y en general en todos aquellos materiales que carecen de cementación.

Prueba Porter

Esta prueba tiene dos objetivos básicos:

1) Determinar el peso volumétrico máximo que puede alcanzar el material para un procedimiento definido de compactación así como la humedad óptima a que deberá hacerse dicha compactación.

2) Determinar el grado de compactación alcanzado por el material de que se trate, ya sea durante la construcción o bien en caminos ya construidos, relacionando con el peso volumétrico máximo obtenido con esta prueba el peso volumétrico determinado en el lugar.

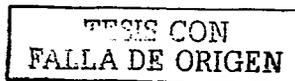
El tipo de compactación de carga estática, que se aplica en la presente prueba, puede compararse en forma hasta cierto punto relativa con el tipo de compactación que se obtiene con los rodillos lisos seis neumáticos, es decir, como compactación que va de la superficie hacia abajo.

Esta prueba está limitada a los suelos que pasen totalmente por la malla de 1". Deberá efectuarse también en los suelos finos en que la prueba de compactación por impacto pueda verificarse, es decir, en las arenas de río o de mina, arenas producto de trituración, tezontles francamente arenosos, y en general en todos los materiales que carezcan de cementación.

Fuente (Terrazas S, 1996)

II.7.- TRABAJOS DE MUESTREO DE LA OBRA

Para la observación y muestreo de los diferentes estratos del subsuelo, en tanto en el área de ampliación como en la superficie de pavimento en servicio, se han



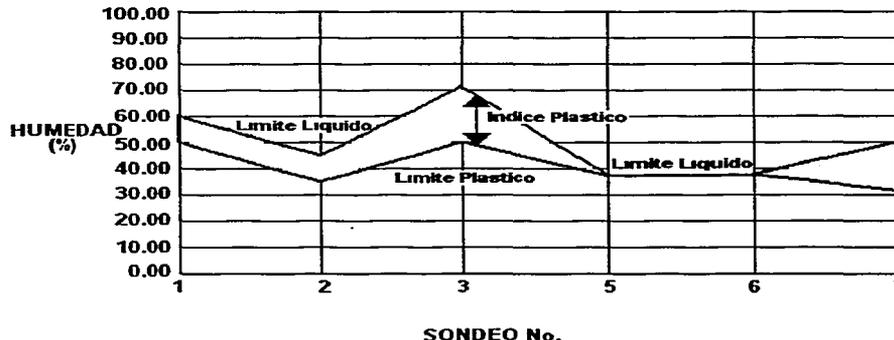
ubicado un total de diez sondeos: siete en el área sin pavimento y tres en el camino actual. En croquis anexo se señala la ubicación de los mismos.

El programa de exploración incluyó el muestreo alterado de cada una de las capas encontradas por medio de pozos a cielo abierto, excavados en la zona de ampliación a tramo virgen, hasta una profundidad del orden de 1.50mts y en el área pavimentada a una profundidad tal que nos permita verificar la estructura y calidad de los materiales existentes.

En el laboratorio se determinaron las propiedades físicas y mecánicas de las muestras recuperadas y se clasificaron de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos lo cual define el perfil estratigráfico. (ver tema II.11)

Hasta la profundidad de exploración señalada se han observado básicamente dos estratos, el primero corresponde a un depósito de material de relleno areno limoso y limo arenoso de baja compresibilidad, su color es café a café oscuro y su espesor varía de entre 0.30 y 0.90 metros, para un promedio de 0.45mts. La variación en sus propiedades índice más importantes como es el caso de sus límites de consistencia que indican el potencial plástico del material, puede apreciarse en la gráfica que se muestra a continuación:

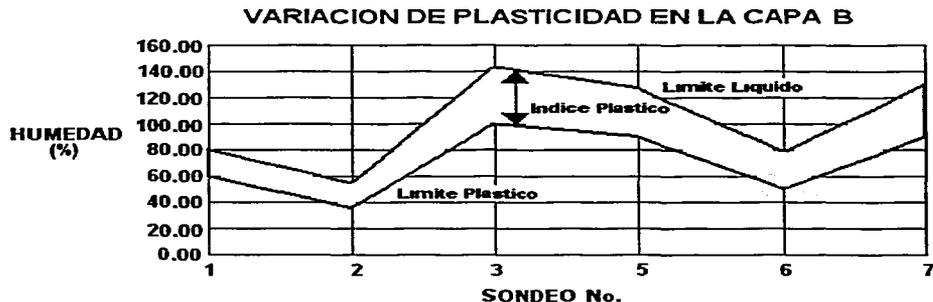
VARIACION DE PLASTICIDAD EN LA CAPA (A)



Gráfica 2.1 "Variación de plasticidad en la capa (A)"
Fuente: Estudios realizados por la empresa ESMART

El segundo estrato que propiamente podría considerarse como el primer depósito natural se localizó entre las profundidades de 0.25 y 0.90 metros, y va mas allá de la profundidad de exploración programada que fue de 1.50 metros. Este estrato corresponde a un limo o ceniza volcánica inorgánica de alta compresibilidad (MH), color café a café amarilloso muy ligero o de baja densidad. Tiene la propiedad de

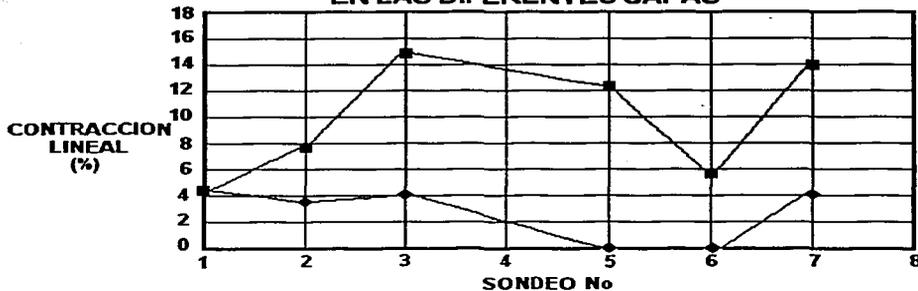
asimilar altos contenidos de humedad en su estructura interna sin presentar inestabilidad. Su humedad natural, es muy cercana a la del límite plástico, lo que indica que se encuentra con humedades cercanas a su humedad óptima. En consecuencia también este limo reporta límites líquidos altos, en varios casos, muy cercanos al 150%. Las propiedades cohesivas de este estrato dependen de su contenido de humedad natural, dado a que internamente se generan fuerzas considerables de tensión superficial. La desventaja principal que se presenta cuando sube o baja dicho contenido de humedad, es que pierde su consistencia, lo que significaría fuertes variaciones volumétricas, lo que obliga a mantener un adecuado sistema de drenaje pluvial, con la finalidad de desalojar oportunamente los volúmenes de agua. Analizando el potencial expansivo de estos limos, haciendo variar su humedad inicial de 85.40% a una humedad final de 122.22%, se registró una expansión libre de 1.01% y una presión de expansión registrada en anillo de carga, prácticamente despreciable de 0.024 ton/m². Las propiedades índice que hemos mencionado, pueden apreciarse más a detalle en la gráfica que se presenta enseguida:



Gráfica 2.2 "Variación de plasticidad en la capa (B)"
Fuente: Estudios realizados por la empresa ESMART

Complementando el análisis de plasticidad de los diferentes estratos observados en la exploración y considerando que se trata de un parámetro de mucha influencia en el comportamiento de la futura estructura de pavimento, se ha efectuado la determinación de la contracción lineal la cual se grafica enseguida:

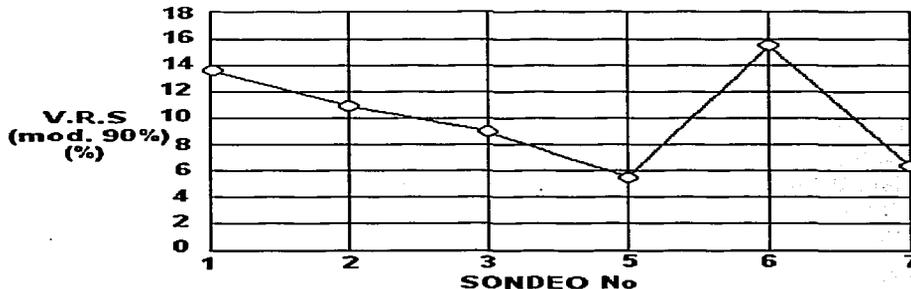
VARIACION DE LA CONTRACCION LINEAL EN LAS DIFERENTES CAPAS



Gráfica 2.3 "Variación de la contracción lineal en las diferentes capas"
Fuente: Estudios realizados por la empresa ESMART

Finalmente, pensando en que seguramente el desplante de la nueva estructura se efectuará en la segunda capa marcada de la estratigrafía, se han evaluado sus propiedades mecánicas a través de la prueba de Valor Relativo de Soporte, la cual se realizó bajo condiciones de compactación y humedad controlada; la primera compactando al 90% del peso volumétrico seco máximo y la segunda elevándola hasta 3% por arriba de la humedad óptima, los resultados se grafican enseguida:

VARIACION DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE EN LA CAPA DE DESPLANTE



Gráfica 2.4 "Variación del valor relativo de soporte en la capa de desplante"
Fuente: Estudios realizados por la empresa ESMART

El área pavimentada cuenta con dos carriles de circulación, en los que se observa una estructura de pavimento flexible compuesta por una carpeta asfáltica cuyo espesor formado por una sucesión de 2 o 3 capas de espesor entre 6 y 11cm, en su conjunto reporta un espesor promedio de 23.3cm. La última capa es de aplicación reciente y superficialmente presenta buen estado, con algunas zonas de ligero agrietamiento.

La carpeta asfáltica se encuentra dispuesta sobre una capa de material de banco con propiedades como:

Límite líquido: 23.10%
Contracción lineal: 1.00%
Valor relativo de soporte: 88.20%

Esta capa presenta un espesor que varía entre 16 y 24cm para un promedio de 21.7cm en la mayor parte del área. De acuerdo con la verificación completa de su calidad, se tiene que su curva granulométrica se ubica entre la zona 1 y 2, lo que le atribuye propiedades mecánicas preferentemente de una sub-base.

Finalmente subyacente a la capa de material de banco se encontró la capa de terreno natural el cual ya hemos descrito sus propiedades índice y rangos de variación.

También conforme al sondeo y análisis granulométrico de los materiales del subsuelo encontrados en la vía, no se reportan arcillas expansivas, como las derivadas principalmente de silicatos de aluminio, magnesio, hierro y otros cationes hidratados con estructura cristalográfica muy bien definida y colocados en capas laminares visibles.

La no presencia de arcillas expansivas facilitará el proceso de construcción de la vía eliminando el efecto de contaminación indeseable por arcillas del tipo Montmorillonitas, Caolinitas ó Iilitas.

Así tenemos que la primera capa de suelo de la vía de 0 a 90cm decreciendo a 40cm tiene un peso volumétrico de 1.3629 gr/cm³, en tanto la segunda capa formada por limos inorgánicos tiene un peso volumétrico que varía de 0.978 gr/cm³ (valor mas alto) equivalente a 978 kg/cm³ hasta un mínimo de 0.732 gr/cm³ (valor mas bajo) equivalente a 732 kg/m³.

Entonces la densidad de la primera capa es de más de 1.36 gr/cm³ y la densidad de la segunda capa va de 0.98 gr/cm³ hasta 0.73 gr/cm³ en su valor más bajo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MUESTRA 1

Límite líquido 60% contenido de humedad.
Límite plástico 50% contenido de humedad.
Índice plástico = 10% contenido de humedad.

Esto significa que nuestra muestra tiene o debe tener un contenido de humedad mínimo de 50% y máximo de 60% y dentro de ese rango de 10% de humedad, (índice plástico del suelo presenta trabajabilidad y conserva sus características de estabilidad

MUESTRA 2

Límite líquido = 75% contenido de humedad.
Límite plástico = 55% contenido de humedad.
Índice plástico = 20% contenido de humedad.

La muestra de referencia fue identificada como un limo inorgánico de alta compresibilidad, peso volumétrico de 771 kg/m³.

Este tipo de material asimila altos contenidos de humedad sin variar su estabilidad. Los límites líquidos son altos, respecto al contenido natural de humedad.

En términos prácticos el despalme de la nueva vía será en este estrato debido a que la primera capa "a" tiene un espesor promedio de 45cm. Es obvio que la subrasante del proyecto quedará alojado en esta capa de tipo limo inorgánico

CARACTERÍSTICAS DEL SUBSUELO DE LA VÍA

Primer capa

Clasificación "SM" consistente en arenas limosas con mezcla de arena y limo caracterizada por finos no plásticos o finos con escasa plasticidad. Las características generales de comportamiento son su valor como cimentación, es de regular a bueno, no apto para cimentación como base de pavimento flexible, compresibilidad muy escasa y expansión también muy baja, drenaje intenso de regular a malo, peso seco unitario de 1200 a 1350kg/m³, y su modulo k de 200-300lbs por pie cúbico.

Segunda capa

Clasificación "MH", consistentes en limos inorgánicos o suelos limosos o arenosos finos, micáceos o diatomáceos, suelos muy elásticos, su valor como cimiento es malo y no tiene valor considerable como base muy alta compresibilidad, el drenaje va de regular a malo, peso seco unitario de 700 a 1000kg/m³, su modulo k de 100-200lbs por pie cúbico.

Dadas las características del suelo encontrado se ha determinado sustituirlo por una carpeta flexible de 3 capas consistente en una subrasante de 20cm y base y

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

sub-base de 15cm cada una, más una carpeta de rodamiento de 10cm compactada de concreto asfáltico según diseño.

Conforme a las características del subsuelo encontrado en la vía, nos encontramos con un perfil del grupo VII en donde la capa inferior a los 50cm, esta constituido por una capa de limo inorgánico de color café amarillo de alta compresibilidad, con muy alto contenido de humedad natural y límites líquido y plástico también altos. Se concluye que en tanto no se cambien las propiedades de esta capa por medios mecánicos, las capas mencionada tiene la característica de ser moderadamente permeable.

Fuente (Laboratorio de ingeniería y control de calidad, 2000)

II.8.- PROFUNDIDAD DE MANTOS FREÁTICOS BAJO LA VÍA

La exploración de los pozos de sondeo de la vía no mostró aguas freáticas al nivel de excavación máxima de 1.5 mts., sin embargo el material del subsuelo conserva un alto contenido de humedad natural. Esta zona es llamada de aeración, también considerando que la época del año es de tiempo seco (diciembre) y no es representativa del nivel de precipitación de la región, que varía de 1600-1800 mm por año; en la temporada de lluvias (mayo a septiembre), es necesario tomar todas las precauciones necesarias para conservar libres los costados de la vía de acumulación nociva de agua de lluvia o de otras fuentes, diseñando para el efecto una red eficiente de drenaje superficial y de subdrenaje a lo largo de toda la vía especialmente en las partes bajas o columpios de la misma.

El agua subterránea aparece en dos zonas diferentes, llamadas de Aeración (caso actual de la vía) y la de saturación. En la zona de Aeración los poros del suelo están parcialmente saturados de agua y parcialmente de aire y en la zona de saturación el agua llena totalmente los vacíos del suelo. El lugar geométrico de unión de la zona de aeración y la zona de saturación se le llama precisamente nivel freático.

Dadas las condiciones particulares del subsuelo de la vía proyectada, sobre todo en la segunda capa de limos muy compresibles es particularmente importante conservar las características de la zona de aeración casi inalterables. Para tal efecto se recomienda que el diseño de la red de drenaje superficial y de cruces de la vía sea muy eficiente para no acortar la vida útil de diseño de construcción estimada en un periodo de 25 años.

II.9.- DRENAJE SUPERFICIAL

El drenaje superficial de esta vía en particular deberá contemplar la construcción de alcantarillas de tubería de concreto del tipo transversal con sección acorde con el gasto de escurrimiento histórico y/o calculado en función del crecimiento de la mancha urbana. Se proponen estructuras de tipo de transiciones de entrada y

salida para encauzarlos a los desagües naturales o artificiales ya existentes o por construir conforme a la topografía de la zona.

Las alcantarillas de tubería de concreto y transiciones deberán ser colocados antes de la construcción de la carpeta (hidráulica) considerando los datos de ingeniería de tránsito sobre la vía, como las cargas vivas representadas por el peso vehicular y las cargas muertas representadas por el peso propio y el efecto del suelo subyacente alrededor del tubo rígido.

Para construir las alcantarillas de drenaje pluvial, se deberán excavar la trinchera conforme a un cálculo básico de cargas sobre el punto y sucesión de la vía, definir el diámetro conforme al gasto calculado, considerar la suma de cargas vivas y muertas sobre la alcantarilla y proceder a la construcción abajo del nivel de la subrasante de proyecto que en nuestro caso particular se encuentra 50cm abajo del nivel del terreno natural.

II.10.- SUB-DRENAJE

No se recomienda construir ninguna obra de bombeo o abatimiento de agua de la segunda capa o estrato geológico de la vía y es muy recomendable evitar construcción de estaciones de bombeo de agua paralelos a la vía en una distancia no menor a los 500 metros a cada lado de la vía.

Fuente (Empresa ESMART, 2000)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

II.11.- CONCLUSIONES GEOTÉCNICAS

ESTUDIO DEL SUBSUELO PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS

OBRA: Blvd. paseo de la revolución

LOCALIZACIÓN: Uruapan, Michoacán

RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS DEL SUBSUELO

Sondeo No.	Capa	Profundidad (mts)	Propiedades Índice (%)					Prop. Mecánicas		Clasificación (SUCS)	Granulometría			Peso Vol. Max Kg/m³
			Límite Líquido	Límite Plástico	Índice Plástico	Humedad Natural	Contracción Lineal	V.R.S. Std. (%)	V.R.S. Mod. (90%) (%)		Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)	
1	A	0.00 - 0.90	60.53	49.53	10.86	26.02	4.7			SM	30	34	36	883
	B	0.90 - 1.50	78.52	59.62	18.91	64.07	4.6		13.6	MH	0	20	80	

Sondeo No.	Capa	Profundidad (mts)	Propiedades Índice (%)					Prop. Mecánicas		Clasificación (SUCS)	Granulometría			Peso Vol. Max Kg/m³
			Límite Líquido	Límite Plástico	Índice Plástico	Humedad Natural	Contracción Lineal	V.R.S. Std. (%)	V.R.S. Mod. (90%) (%)		Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)	
2	A	0.00 - 0.50	44.73	33.88	10.84	31.67	3.5			ML	0	32	68	1362
	B	0.50 - 1.50	53.81	32.82	20.99	35.59	7.6		10.9	MH	8	32	60	

Sondeo No.	Capa	Profundidad (mts)	Propiedades Índice (%)					Prop. Mecánicas		Clasificación (SUCS)	Granulometría			Peso Vol. Max Kg/m³
			Límite Líquido	Límite Plástico	Índice Plástico	Humedad Natural	Contracción Lineal	V.R.S. Std. (%)	V.R.S. Mod. (90%) (%)		Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)	
3	A	0.00 - 0.30	71.91	49.21	22.7	35.41	4			SM	23	34	43	771
	B	0.30 - 1.50	142.02	100.6	41.42	113.45	14.8		9	MH	0	8	92	

Tablas 2.2 "Resumen de características del subsuelo"

Fuente: Laboratorio de Ingeniería y control de calidad S.A. de C.V.

Ver localización de los sondeos al final del capítulo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

II.12.- IDENTIFICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE BANCOS DE PRÉSTAMO

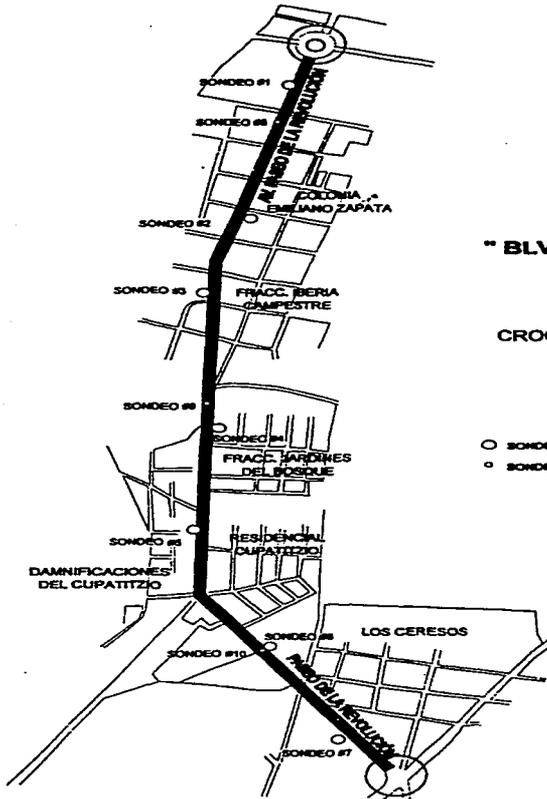
Para cumplir con los requerimientos técnicos de diseño de la "Estructura de pavimento de tipo flexible" del estudio del diseño de pavimentos, según el criterio del Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M., se localizaron dos bancos de material de mina ubicados: el primero en la carretera Uruapan-Paracho, desviación al predio las canoas, distante 9 km., del sitio de construcción, material que será usado para la construcción de la subrasante con un espesor de proyecto de 20cm., el material está constituido de tezontle rojo con algo de material fino y se compacto en pruebas de laboratorio al 90% de su peso volumétrico seco máximo.

El segundo banco apropiado para la construcción de la sub-base y la base se denomina "El panadero", ubicado a 24 km., del sitio de construcción sobre la carretera Uruapan-Ziracuaretiro, cuyo material consiste en una grava-arena de color negro de origen volcánico de peso volumétrico suelto de 1213 kg/m³ y de 1621 kg/m³ máximo seco con una humedad óptima del orden del 8.8% y la compactación será del orden del 95% para la sub-base y base del pavimento flexible.

Con respecto al subdrenaje de la vía y las características geológicas de las capas, no se recomienda la construcción de drenes de abatimiento de humedad de las capas o evacuación del nivel freático.

Fuente (Empresa ESMART, 2000)

Ver localización y pruebas de los bancos de materiales al final del capítulo



ESTUDIO DEL SUBSUELO
PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS

" BLVD. PASEO DE LA REVOLUCIÓN "
URUAPAN, MICH.

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN DE SONDEOS

- SONDEOS UBICADOS EN AREAS SIN PAVIMENTAR
- SONDEOS UBICADOS EN AREA DE PAVIMENTO EN SERVICIO

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



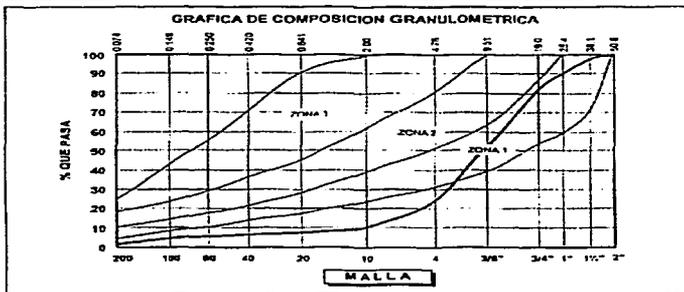
RESUMEN DE PROPIEDADES

OBRA: BLVD. PASEO DE LA REVOLUCION
FECHA: DICIEMBRE DEL 2000
LOCALIZACION: UBUAPAN, MICH.
ENSAYE: T-227B

MATERIAL PARA CAPA DE: SUBRASANTE () SUB-BASE () BASE ()
DESCRIPCION MATERIAL: LEZONILE ROJO CON ALGO DE FINO
DEPOSITO MUESTREADO: BANCO "GUADALUPE II"
UBICACION DEL BANCO: CARRETERA A PARACHO DESVIACION DERECHA CAMINO A LAS CAÑAS

PESO VOLUMETRICO Kg/m³

SECO SUELTO	736
SECO MAXIMO	1358
HUMEDAD OPTIMA %	17.4
TIPO DE PRUEBA	PORTER



COMPOSICION GRANULOMETRICA

MALLA	% RETENIDO
50.8	98
38.1	100
30.8	98
25.4	90
19.0	82
9.51	52
4.76	24
2.00	10
0.841	7
0.420	6
0.250	5
0.149	4
0.074	1

V.R.S. (ESTANDAR) % 140.2
EXPANSION % 0.00
VALOR CEMENTANTE Kg/cm³
EQUIVALENTE DE ARENA % 93.0

PRUEBAS EN MATERIAL MAYOR QUE LA MALLA N^om 9.51
ABSORCION % 15.0
DENSIDAD 1.62
DURABILIDAD

PRUEBAS SOBRE MATERIAL TAMIZADO POR LA MALLA N^om 0.420
LIMITE LIQUIDO % 34.95
LIMITE PLASTICO % N.P.
INDICE PLASTICO % N.P.
EQUI NUM. DE CAMPO %
CONTRACCION LINEAL % 0.0
CLASIFICACION S.U.C.S. GP (GRAVA MAL GRADUADA)

OBSERVACIONES:

JEFE DE LABORATORIO: ING. JOSÉ ANTONIO VÁZQUEZ VÁZQUEZ

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

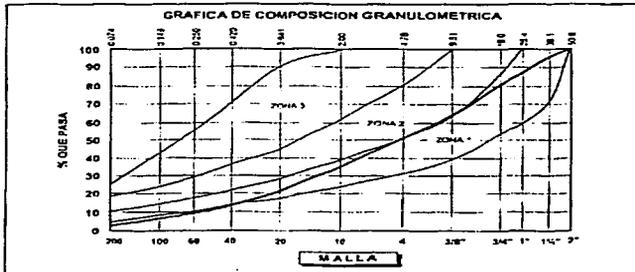


RESUMEN DE PROPIEDADES

OBRA: BLVD. FASE Q. DE LA REVOLUCION	FECHA: DICIEMBRE DEL 2000
LOCALIZACION: URUAPAN, MICH.	ENSAYE: T-2275

CUI / MATER:	MATERIAL PARA CAPA DE:	SUBRASANTE []	SUB-BASE []	BASE []
DESCRIPCION MATERIAL: GRAVA ARENA COLOR NEGRO DEPOSITO ORIGINARIO: BANCO "PANADERO" UBICACION DEL RAMBO: CAMINO A ZIRACUAPETRO DESVIACION (FRECHA DE 150 MTS).				

PESO VOLUMETRICO Kg/m ³	
SECO SUELTO	1213
SECO MAXIMO	1621
HUMEDAD OPTIMA %	8.6
TIPO DE PRUEBA	PORTER



COMPOSICION GRANULOMETRICA	MALLA	% RETENIDO
	50 #	36.1
	20 #	100
	30 #	96
	25 #	87
	19 #	81
	9.5 #	64
	4.75 #	31
	2.00 #	35
	0.841 #	21
0.420 #	13	
0.250 #	9	
0.149 #	6	
0.075 #	2	

V. P.S. (ESTANDAR) %	125.8
EXPANSION %	0.00
VALOR CEMENTANTE Kg/cm ²	
EQUIVALENTE ARENA %	88.6

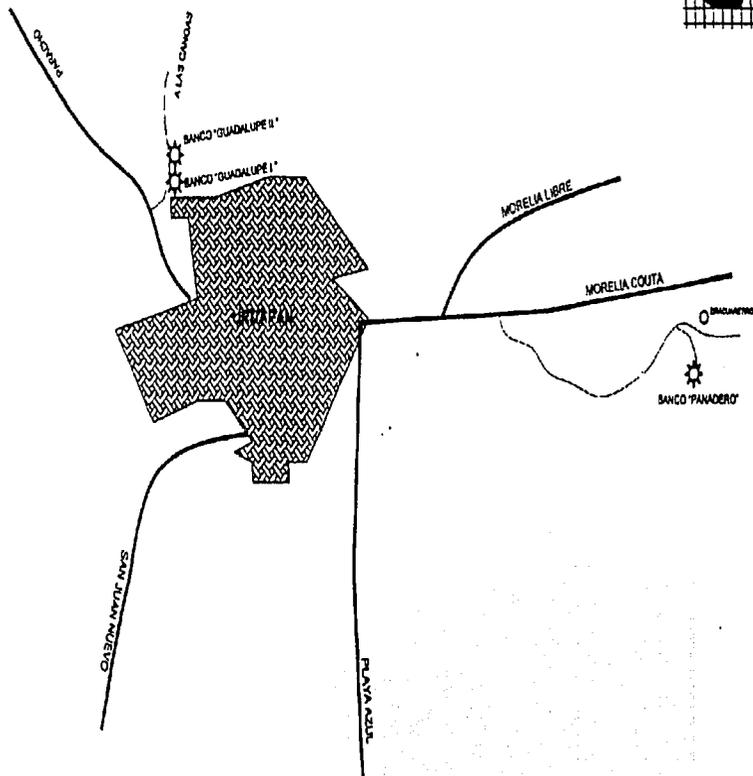
PRUEBAS EN MATERIAL MAYOR QUE LA MALLA Num 9.51	
ABSORCION %	8.6
DENSIDAD	1.74
DURABILIDAD	

PRUEBAS SOBRE MATERIAL TAMIZADO POR LA MALLA Num 0.420	
LIMITE LIQUIDO %	28.91
LIMITE PLASTICO %	N.P.
INDICE PLASTICO %	N.P.
EQUI. HUM. DE CAMPO %	
CONTRACCION LINEAL %	0.0
CLASIFICACION S.U.C.S.	GM (GRAVA LIMOSA)

OBSERVACIONES:

JEFE DE LABORATORIO: ING. JOSE ANTONIO VAZQUEZ VÁZQUEZ

TESIS CON
 MALLA DE ORIGEN



PROSIS CON
FALLA DE ORIGEN

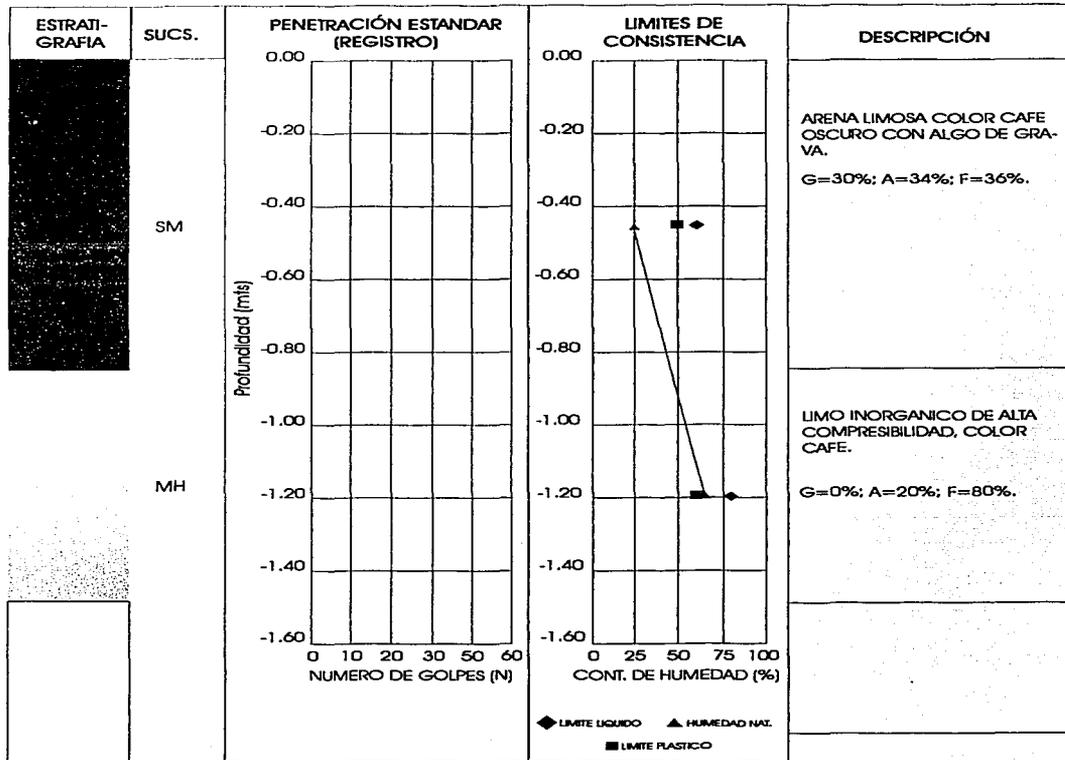
CROQUIS DE LOCALIZACION DE BANCOS DE MATERIAL



ESTUDIOS DE SUBSUELO PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS
ESTRATIGRAFIA

OBRA: BOULEVARD "PASEO DE LA REVOLUCIÓN"
LOCALIZACIÓN: URUAPAN, MICHOACAN.

FECHA: DICIEMBRE DEL 2000
SONDEO: 1



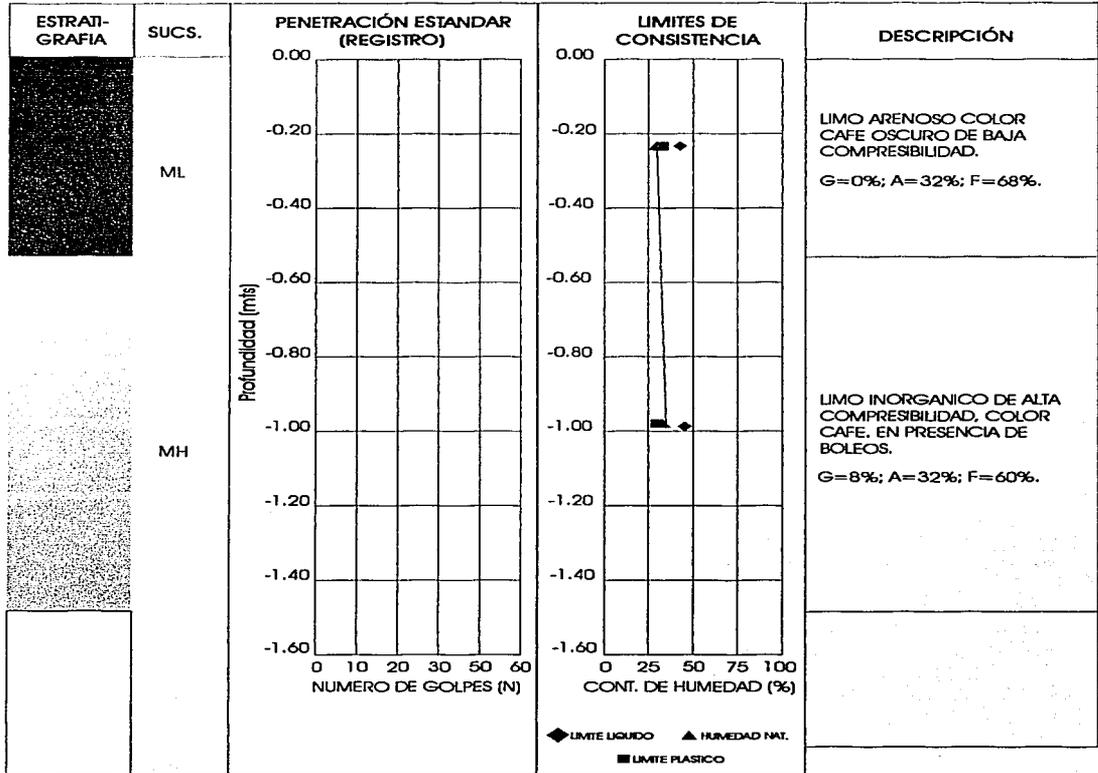
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



**ESTUDIOS DE SUBSUELO PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS
ESTRATIGRAFIA**

OBRA: BOULEVARD "PASEO DE LA REVOLUCIÓN"
LOCALIZACIÓN: URUAPAN, MICHOACAN.

FECHA: DICIEMBRE DEL 2000
SONDEO: 2



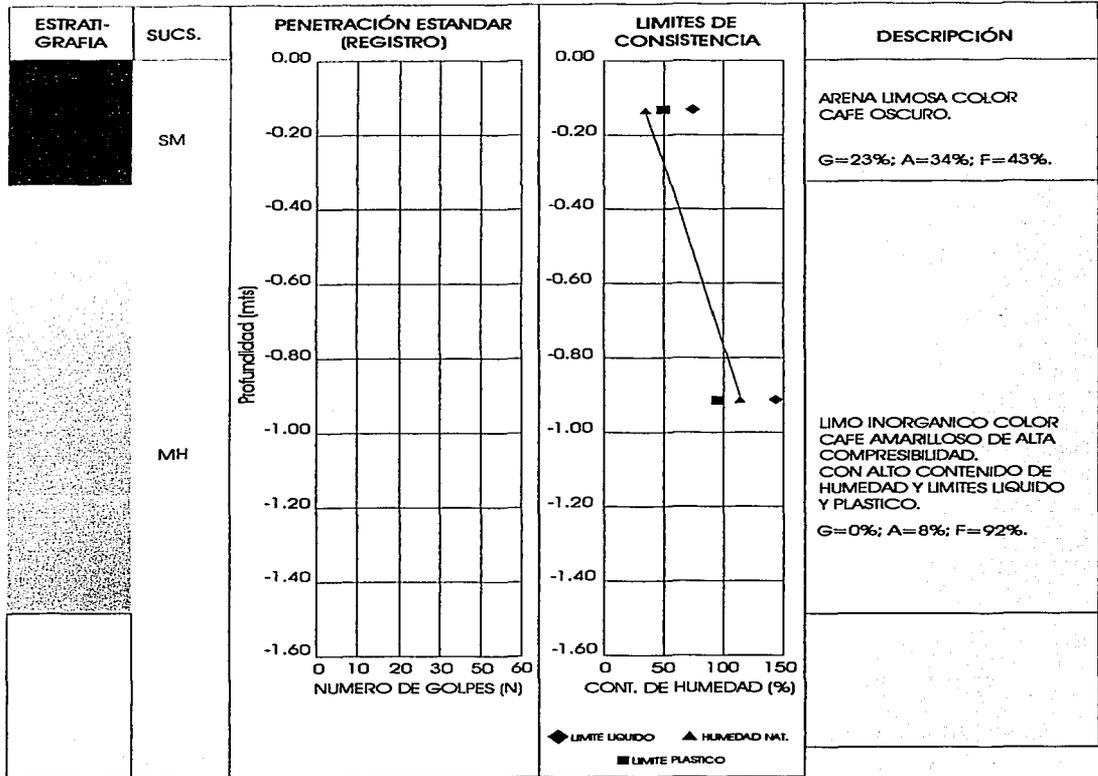
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



ESTUDIOS DE SUBSUELO PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS
ESTRATIGRAFIA

OBRA: BOULEVARD "PASEO DE LA REVOLUCIÓN"
LOCALIZACIÓN: URUAPAN, MICHOACAN.

FECHA: DICIEMBRE DEL 2000
SONDEO: 3



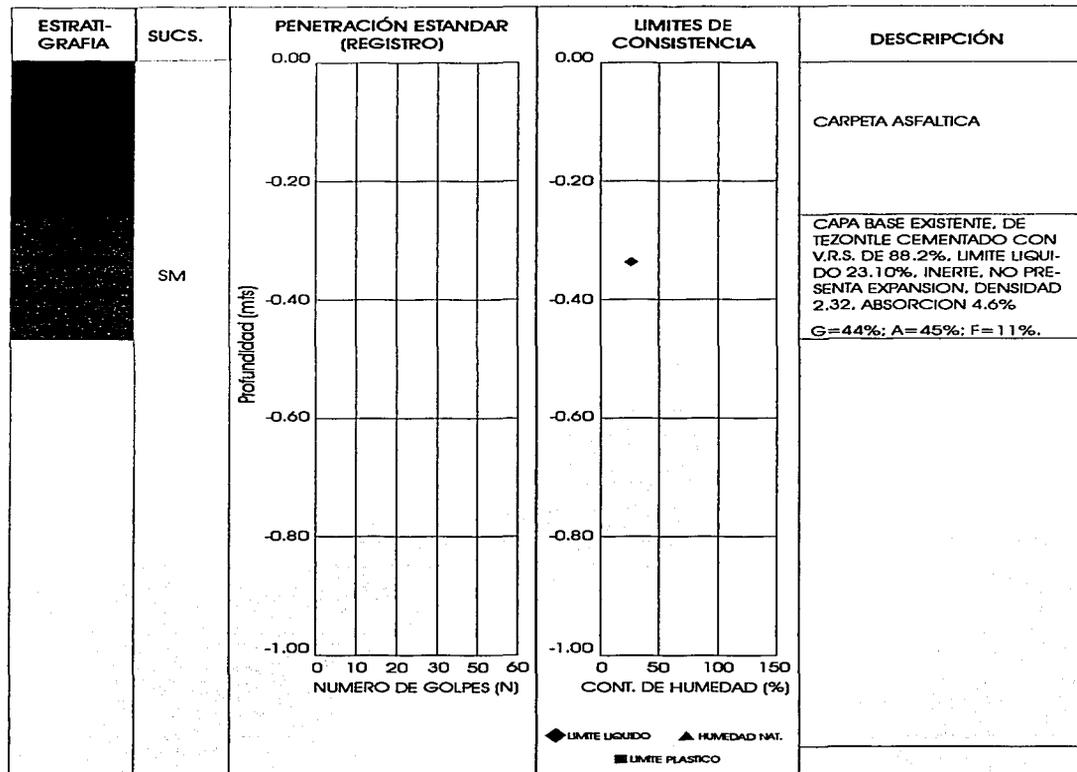
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



ESTUDIOS DE SUBSUELO PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS
ESTRATIGRAFIA

OBRA: BOULEVARD "PASEO DE LA REVOLUCIÓN"
LOCALIZACIÓN: URUAPAN, MICHOACAN.

FECHA: DICIEMBRE DEL 2000
SONDEO: 8



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO III.- DESCRIPCIÓN DE PAVIMENTOS

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El objetivo de este capítulo es conocer el significado de pavimento, los diferentes tipos de pavimentos, la diferencia que existen entre cada uno de ellos y las diferentes capas que lo componen.

Se mencionarán también algunas recomendaciones dadas por la SCT, para llevar un mejor control de calidad de las diferentes capas de material granular que componen al pavimento.

III.1.- DEFINICIÓN DE PAVIMENTO

Pavimento es un conjunto de capas comprendidas entre la subrasante y rasante o carpeta de una obra vial, cuya finalidad es proporcionar una superficie de rodamiento uniforme resistente al tránsito de los vehículos y al intemperismo producido por los agentes naturales y/o cualquier otro agente perjudicial. Estructuralmente un pavimento tiene la función de transmitir los esfuerzos a la subrasante de tal manera que el pavimento no se deforme de manera superficial.

Entiéndase por subrasante a la superficie de una terracería terminada, siendo esta última el conjunto de cortes y terraplenes de una obra vial.

III.2.- TIPOS DE PAVIMENTOS

Existen 2 tipos de pavimentos: el Rígido y el Flexible.

Los pavimentos rígidos están constituidos por losas de concreto hidráulico, con una resistencia relativamente alta entre 210 a 350 kg/cm² a los 28 días. Normalmente en puentes-canal o alcantarillado se usa concreto reforzado. Las losas son pequeñas del orden de 4 a 8 mts., en concreto armado y de 100 ó más metros de losas pretensadas.

Los pavimentos flexibles están conformados por una carpeta bituminosa o asfáltica apoyada generalmente sobre 2 capas no rígidas llamadas base y sub-base; la calidad de estas capas es descendente hacia abajo.

En lo general, cualquier suelo natural es aprovechable para terracerías con excepción de suelos muy orgánicos o aquellos muy expansibles de alto rebote elástico.

Cuando el material de la terracería sea de mala calidad, se hace necesario el uso de una capa subrasante de material de mejor calidad que sirva de transición entre esta y el pavimento.

Si el material de terracerías es de mejor calidad, la capa subrasante estará formada por el propio material, mejorando su calidad con un tratamiento físico, principalmente en lo referente a la compactación.

III.3.- FUNCIONALIDAD DE UN PAVIMENTO

Las funciones de un buen pavimento son ofrecer una buena y resistente superficie de rodamiento con la rugosidad necesaria para garantizar una buena fricción con las llantas de los vehículos, con color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos y debe poseer la resistencia adecuada para soportar las cargas impuestas por el tránsito vehicular sin fallas y deformaciones que no sean permanentes y que garanticen un tráfico sin complicaciones así como soportar los ataques del intemperismo.

Las características de resistencia y deformabilidad, se satisfacen con capas que permitan distribuir los esfuerzos que llegan a la subrasante en niveles tolerables que no produzcan falla, ni asentamiento ó deformaciones laterales.

Para tal efecto, las capas del pavimento deben ser de materiales friccionantes que son los más adecuados para funcionar estructuralmente, constituyendo el cuerpo de un buen pavimento flexible.

La capacidad natural de carga de los materiales friccionantes es baja en la superficie por falta de confinamiento, razón por la cual se requiere que sobre la base, exista una capa de material cohesivo y con resistencia a la tensión, esta capa es la carpeta asfáltica que debe (además de su resistencia), cubrir las condiciones de una buena superficie de rodamiento y señalados.

Por tanto, en pavimentos flexibles se debe buscar cohesión en la parte superficial y fricción al interior del pavimento flexible.

Fuente (Empresa ESMART, 2000)

III.4.- RECOMENDACIONES DE MATERIALES

En lo correspondiente a construcción de pavimentos la Secretaría de Comunicaciones y Transportes hace recomendaciones en lo relativo a revestimientos, sub-base, bases, carpetas asfálticas y losas de concreto hidráulico.

Revestimientos

Los revestimientos son capas de materiales seleccionados, generalmente no compactados que se tienden sobre las terracerías a fin de servir como superficies de rodamiento. Los materiales seleccionados que deben de emplearse en revestimientos pueden ser los siguientes tipos:

Materiales que no requieren tratamiento. Son los poco o nada cohesivos, como limos, arenas y gravas, que al extraerlos quedan sueltos y que no contienen más de 5% de partículas mayores de 3".

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Materiales que requieren ser disgregados. Son los cohesivos como tepetates, caliches, conglomerados, aglomerados y rocas muy alteradas que al extraerlos resultan con terrones que pueden disgregarse y que no contienen más del 5% de partículas mayores de 3".

Materiales que requieren ser triturados parcialmente y cribados. Son los poco o nada cohesivos como mezclas de gravas, arenas y limos, que al extraerlos quedan sueltos y que contienen entre el 5% y 25% de materiales mayores de 3" y que requieren ser cribados por la malla de 3".

La construcción de los revestimientos debe comenzarse cuando las terracerías estén terminadas.

Sub-bases y Bases

Los materiales seleccionados que se emplean en la construcción de sub-bases y bases deben ser de los tipos que se indican a continuación:

Materiales que no requieren tratamiento. Son los poco o nada cohesivos como limos, arenas y gravas, que al extraerlos quedan sueltos y que no contienen más de 5% de partículas mayores de 2".

Materiales que requieren ser disgregados. Son los tezontles y los cohesivos como tepetates, caliches, conglomerados, aglomerados y rocas muy alteradas que al extraerlos resultan con terrones que pueden disgregarse y que no contienen más del 5% de partículas mayores de 2".

Materiales que requieren ser cribados. Son los poco o nada cohesivos como mezclas de gravas, arenas y limos, que al extraerlos quedan sueltos y con contenido entre el 5% y 25% de materiales mayores de 2" y deben ser cribados por la malla de 2" para eliminar este material.

Materiales que requieren ser triturados parcialmente y cribados. Son materiales poco o nada cohesivos, como mezclas de gravas, arenas y limos, que al extraerlos quedan sueltos y contienen más del 25% de partículas mayores de 2"; deben triturarse y cribarse por la malla de 1 ½".

Materiales que requieren trituración total y cribado a través de la malla de 1 ½". Son los que provienen de piedra extraída de mantos de roca, piedra de pepena, piedra suelta de depósitos naturales o desperdicios.

Carpetas asfálticas

Los materiales pétreos que se emplean en la construcción de carpetas deben ser de los tipos que se señalan enseguida:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Materiales que requieren ser cribados. Son los poco o nada cohesivos que al extraerlos quedan sueltos y que:

- a) Deben ser cribados por una malla para eliminar el desperdicio de tamaños mayores de 1", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ " ó $\frac{1}{4}$ ".
- b) Por dos mallas, para eliminar el desperdicio de tamaños mayores de 1" y $\frac{3}{4}$ " y los tamaños menores que en cada caso se especifiquen.
- c) Por tres mallas para eliminar el desperdicio de tamaños mayores de 1" y $\frac{3}{4}$ " y obtener además materiales con tamaños máximos de $\frac{1}{2}$ " y $\frac{1}{4}$ ".
- d) Por varias mallas, para producir los materiales pétreos necesarios para la construcción de carpetas por el sistema de riego.

Materiales que requieren ser triturados parcialmente y cribados. Son aquellos poco o nada cohesivos, o también materiales cohesivos que al extraerlos resultan con terrones que pueden disgregarse y que según su composición granulométrica contienen partículas mayores que la dimensión requerida.

Materiales que requieren ser triturados totalmente y cribados. Pueden provenir de piedra extraída de mantos de roca, de piedra de pepena ó de piedra suelta de depósitos naturales o desperdicios.

Un proyecto siempre debe de especificar cuales materiales deben lavarse para eliminar arcilla, materia orgánica y otros materiales extraños al pétreo.

Losas de concreto hidráulico

Los materiales que se empleen en su construcción pueden ser: cemento Portland, cemento Portland-puzolánico, cemento Portland de escorias y cemento de escorias, agregado fino, agregado grueso, agua, aditivos, acero, accesorios para juntas y materiales para relleno de juntas.

Fuente (Mier Suárez, 1987)

III.5.- ESTRUCTURACIÓN DE LOS DOS TIPOS DE PAVIMENTOS

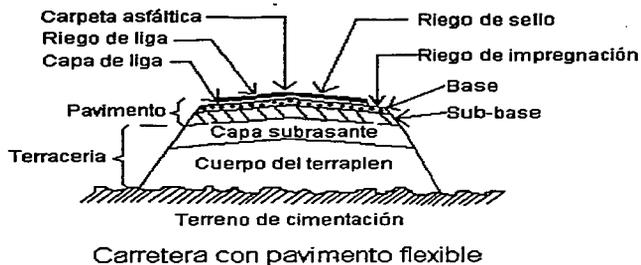


Figura 3.1 "Estructuración pavimento flexible"
Fuente: "Introducción a la Ingeniería de Caminos"



Figura 3.2 "Estructuración pavimento rígido"
Fuente: "Introducción a la Ingeniería de Caminos"

CAPÍTULO IV.- PAVIMENTOS FLEXIBLES

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

A continuación presentaremos las diferentes capas que componen un pavimento de tipo flexible, así como el diseño de la estructura del pavimento asfáltico (método de la UNAM) propuesto por la empresa ESMART para la obra Ampliación Paseo de la Revolución.

IV.1.- COMPONENTES CONSTRUCTIVOS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE

- A) **Carpeta:** Debe proporcionar una superficie de rodamiento adecuada con textura y color convenientes, resistir la abrasión del tráfico y hasta donde sea posible impedir el paso del agua al interior del pavimento.
- B) **Base:** La función de una base consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a la sub-base y subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito. También debe ser capas de drenar el agua que se introduzca a través de la carpeta o por los acotamientos e impedir la asunción capilar. Desde el punto de vista económico, permite reducir el espesor de la carpeta asfáltica.
- C) **Sub-base:** Se puede construir con el mismo material de la base o material de menor calidad, desde luego a menor calidad del material mayor espesor de la sub-base.

La sub-base sirve para absorber deformaciones perjudiciales en la subrasante, por ejemplo, cambios volumétricos asociados a cambios de humedad impidiendo que se refleje en la superficie del pavimento.

Sirve además como capas de transición entre la base y la subrasante, actúa como filtro de la base e impide su incrustación en la subrasante.

- D) **Subrasante:** Juega un papel importante en el comportamiento de un pavimento flexible debido a que es determinante en el espesor final de un pavimento.

Para estimar el espesor de la subrasante, es preciso conocer las características del material de la vía para formar las terracerías.

En nuestro caso los sondeos de material se hicieron lateralmente a la vía a poca distancia de la misma. Los sondeos mostraron cierta uniformidad en los dos estratos existentes, sin embargo analizadas las muestras alteradas en laboratorio se determinó que el material de la subrasante no es mecánicamente confiable por lo cual se optó por diseñar la subrasante con material procedente de banco de préstamo consistente en tezontles gruesos con algo de finos que sustituyen con gran ventaja al material natural bajo la vía.

El tránsito vehicular es otro parámetro muy importante a considerar para el diseño de la subrasante, hay que considerar en el diseño de un pavimento flexible que la

magnitud de las cargas puede llegar a 8 toneladas por eje y las presiones de inflado de las llantas son del orden de 4.6 kg/cm² equivalente a 60-90 pulgadas por pulgada cuadrada en transporte tipo medio pesado.

La frecuencia de las cargas generan el concepto de repetición y de manera práctica el número de repeticiones en una vía urbana es del orden de millones de pasos en un año.

El efecto de fatiga en un pavimento flexible bien construido es menos notable que en pavimentos rígidos, sin embargo, el efecto de muchas repeticiones produce deformaciones acumuladas de caracteres plásticos o rebote elástico en suelos susceptibles.

IV.2.- INTRODUCCIÓN AL DISEÑO

El método tradicional de diseño y cálculo de pavimentos flexibles considera las cargas aplicadas sobre el cuerpo de pavimentos en condiciones estáticas y uniformemente distribuidas.

El Instituto de Ingeniería de la UNAM, ha elaborado un método gráfico más completo ajustado a los requerimientos de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte de México, que considera desde el inicio diversos parámetros de diseño y un pavimento constituido de 3 capas flexibles y una carpeta asfáltica como superficie de rodamiento, además de un cuerpo de terracería que se liga con la subrasante.

La gráfica es una modificación en base a la fórmula de Boussinesq, con valores ajustados a las condiciones de nuestro país y con un criterio de aplicación de cargas mucho más amplia que el método tradicional de diseño de pavimentos flexibles, además de un factor de seguridad más alto en la resultante de espesores.

LOS ESTUDIOS PREVIOS A REALIZAR SON:

IV.2.1.- CONDICIONES DE TRÁNSITO VEHICULAR

Se parte de datos de aforos de los tramos o cruceros más saturados de tráfico en las horas pico de días hábiles o aforos vehiculares de 24 horas de varios días hábiles al mes para obtener un promedio.

Hechos los aforos correspondientes se clasifica el porcentaje de vehículos ligeros como automóviles, el transporte urbano y el de carga.

Obtenidos los porcentajes de carga y tipo de vehículo se recurre al manual de proyecto geométrico de carreteras de la SCT para estimar el volumen horario y obtener el porcentaje del tránsito diario promedio anual.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Con las consideraciones anteriores se procede a calcular el "TDPA" o "Tránsito Diario Promedio Anual", factor que la SCT recomienda para vías urbanas y suburbanas.

Se procede enseguida a calcular el tránsito diario anual sobre la vía por medio de la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \text{VHP} &= k (\text{tdpa}) \\ \text{TDPA} &= \text{vhp}/k \\ \text{Donde } k &= \text{factor para vías urbanas y suburbanas} \\ \text{vh} &= \text{vehículos por hora} \\ \text{TDPA} &= \text{vehículos por hora (vh)} * \text{factor } k(\text{sct}) \end{aligned}$$

CONDICIONES DE CIMENTACIÓN

En muchos casos se han de cimentar estructuras o pavimentos sobre suelo compresibles que contiene finos, estratos de arena o limo alternados con arcillas finalmente estratificadas.

El Dr. Arthur Casagrande hizo notar que en este tipo de suelos, las láminas de arena o limo actúan como refuerzo del conjunto que restringe la deformación horizontal de las arcillas.

En nuestro caso en particular, el subsuelo de la vía Paseo de la Revolución está formada por dos estratos bien definidos, el primero de arena o limos de baja compresibilidad y un segundo estrato de alta compresibilidad cuyo comportamiento mecánico se ajusta a la descripción del Dr. Casagrande.

IV.3.- DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE LA U.N.A.M.

Análisis de parámetros a considerar para ingresar a la gráfica del instituto de la UNAM.

Considerando que en situaciones reales, el tránsito vehicular es repetitivo y cada paso de un vehículo ejerce sobre el pavimento una carga determinada dependiendo del peso del vehículo, tenemos que determinar mediante aforos vehiculares, cuántos vehículos y de que tipo pasan en un periodo determinado de tiempo.

En función del aforo y para nuestro caso, se obtuvo que el tráfico estuvo constituido por un:

Tipo de vehículo

Frecuencia relativa del vehículo

A2 Automóviles

%

B2 Transporte urbano

%

C2 Transporte de carga

%

Total %

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Si sumamos el número de pasos de los vehículos de distinto tipo, obtendremos un número determinado de carga ó el que un pavimento diseñado con un cierto espesor podría resistir antes de fallar, definiendo dicha falla como una deformación permanente del orden de 1" (2.52 cm.) en un 20% del área con pavimento. Más allá de este límite, la vía se ira deteriorando rápidamente salvo que sea sometida a reparación y mantenimiento intenso.

Según la teoría clásica de análisis de carga en diversas condiciones de distribución de esfuerzos, planteados por Boussinesq, el valor relativo de soporte debe contribuirse en todo el espesor de la sección resistente del pavimento, de tal manera que las cargas verticales se distribuyan por capas conforme a la teoría clásica de Boussinesq.

Es entonces evidente que existe una relación directa entre repeticiones de la carga, el espesor de proyecto del pavimento y la vida útil esperada del pavimento.

Con los datos obtenidos se elabora una tabla considerando ya el método del Instituto de Ingeniería de la UNAM, considerando el tránsito equivalente que se obtiene del análisis del manual de proyecto geométrico de carreteras de la SCT para vías urbanas y suburbanas.

Cuando no se cuentan con aforos de 24 horas, la tabla obtenida de dicho manual se proyecta en el estudio de diseño de pavimentos flexibles elaborado por el laboratorio de mecánica de suelos.

Una vez calculado el tránsito equivalente, se procede a evaluar "el valor relativo de soporte esperado en campo" o VRSz donde z es el espesor calculado de las diversas capas del pavimento flexible.

Así mismo, el terreno natural de la vía presenta características propias por lo cual hay que realizar pruebas de laboratorio, sometiendo al suelo a pruebas de compactación a un mínimo del 90% y controlando la humedad en un rango arriba en un 3% a la humedad óptima, dándole conforme al criterio experto del analista a un nivel de confianza que puede variar de un 75% a un 90% según el tipo de material analizado, este factor se le denomina "C".

Las pruebas del VRS del terreno natural dan por consecuencia una distribución gráfica conforme a las conclusiones de las pruebas, obteniéndose un valor relativo de soporte de proyecto para diversas muestras de suelo compactadas al 90% de su peso volumétrico seco máximo y una humedad relativa superior en un 3% a la humedad óptima (analizar gráfica correspondiente) obteniendo el valor VRS del proyecto que en nuestro caso dio 7.3% al 80% de confianza.

Entrada a la gráfica

Para ingresar a la gráfica de diseño estructural de carreteras con pavimento flexible se usarán los siguientes parámetros:

a).- Logaritmo de Σ de "L" ó número medio que sea más frecuente, en nuestro caso se usó el logaritmo 6.8 para curvas de igual resistencia relativa para condiciones normales de carga.

b).- Posteriormente ingresamos el valor de soporte medio obtenido mediante pruebas de laboratorio, obteniéndose un valor de 7.30.

c).- El cruce de la curva de diseño para condiciones normales y el valor VRSz (valor calculado mediante la fórmula $VRSz = VRS (1-cv)$, nos da un valor cuyo cruce nos da el valor "z" total para el espesor total del pavimento.

En nuestro caso obtenemos un espesor de 52 cm. que se ajustará finalmente a las condiciones de diseño de la Secretarías de Comunicaciones y Transportes para pavimentos flexibles que norma los espesores mínimos de cada una de las capas de un pavimento flexible dependiendo del tipo específico de cada proyecto en particular.

Los resultados de diseño del pavimento se explican y detallan en el estudio anexo de mecánica de suelos.

El incremento de tránsito conforme al incremento de las ciudades se considera el crecimiento del parque vehicular de un 2 a un 5% acorde al crecimiento de la población según datos del INEGI.

Usando el método de propuesta por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, se consideran los siguientes parámetros de diseño:

a).- Número de repeticiones de carga que en pavimento puede resistir antes de fallar, se representa como sumatoria del (1)

La falla se define como la aparición de una deformación permanente de 1" (2.5cm) en un 20% del área pavimentada.

Los esfuerzos verticales deben distribuirse en el espesor de toda la sección resistente compuesta del pavimento análogamente a los esfuerzos normales verticales, (según la teoría de Boussinesq analizada anteriormente) al esfuerzo aplicado verticalmente se le denomina valor relativo de soporte "VRS".

Se asume entonces una vida útil deseada conforme al número de repeticiones o sumatoria de 1 y con el valor relativo de soporte de cada capa se podrá estimar el espesor correspondiente.

Así mismo con los datos de tránsito, se realiza el cálculo de tránsito equivalente, resumido en tablas de cálculo, identificando el tipo de vehículos tenemos:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tipos de vehículos:

A2= Automóviles
 B2= Transporte urbano
 C2= Transporte de carga

Frecuencia relativa de la vía

95%	(2422 automóviles)		
4%	(119	")
1%	(5	")
Total 100%	(2546	")

Posteriormente se toman los parámetros básicos de ingeniería de tránsito obtenidos y se procede a diseñar en base a los siguientes parámetros.

n= Años de servicio ó vida útil de 10-20-30 años

r= Tasa de crecimiento anual de tránsito

tdpa= Tránsito Diario Promedio Anual

IV.4.- DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE**ESTUDIO DE TRÁNSITO****TRÁNSITO ACTUAL**

Para realizar la asignación del tránsito del Blvd. Paseo de la revolución, se partió en primera instancia del volumen de tránsito y composición, registrado en los aforos vehiculares realizados en la hora de máxima demanda, para las intersecciones de mayor importancia localizadas dentro en la vialidad en estudio, los cuales a continuación se presenta:

- o Crucero Blvd. Paseo de la revolución – Plan de San Luis
- o Crucero Blvd. Paseo de la revolución – Ricardo Flores Magón

De estos aforos direccionales, se concentró y tomó en cuenta la mayor carga vehicular, y es el que el Blvd. recibe en el sentido Norte – Sur, Sur – Norte, del cruceo con Ricardo Flores Magón. En la tabla siguiente se resume y presenta el volumen de tránsito registrado por las horas de máxima demanda de un día hábil de la semana:

Aforos direccionales en H.M.D. 12:20 p.m. – 13:20 p.m.

Crucero	Volumen total en la intersección	Acceso	A	B	C	total por acceso
Blvd. Paseo de la revolución y Ricardo Flores Magón	2546	Norte-Sur	980	74	3	1057
		Sur-Norte	1442	45	2	1489

Tabla 4.1 "Aforo vehicular"

Fuente: Estudios realizados por la Empresa ESMART

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

NOTA: No se tomó en cuenta las unidades de transporte identificados en los datos de aforo proporcionados, como motos y otros por ser o producir una acción de daño menor a los ya considerados en la estructura de pavimento a diseñar.

La composición del tránsito para el periodo de 12:20 p.m. – 13:20 p.m. está formada aproximadamente por el 95% de los automóviles, 4% de transporte público y 1% de transporte de carga.

Ahora, considerando que en caminos urbanos y suburbanos los volúmenes horarios se mantienen constantes durante todo el año y tomando como referencia lo establecido en el manual de proyecto geométrico de carreteras de la S.C.T. donde se considera que el volumen horario para fines de proyecto se encuentra entre el 8% y 16% del tránsito promedio diario anual, valor que dependerá de las consideraciones económicas al hacer el balance entre beneficios y costos de construcción.

Para este caso en especial, que no se cuenta con un aforo de 24 horas que nos pudiera servir para determinar el TDPA, se decidió tomar el factor de 8%, factor que el manual recomienda para vías urbanas y suburbanas.

Con las consideraciones anteriores se procedió a calcular el TDPA sobre el Blvd. De la siguiente manera:

- o El volumen horario registrado en la H.M.D. = 2546 veh/hr. (Dos sentidos).
- o El factor k utilizado = 8%

Utilizando la ecuación: $VHP = K(TDPA)$

Y por tanto: $TDPA = VHP/K$

Sustituyendo valores:

$$TDPA = 2546/0.08 = 31825 \text{ vehículos mixtos.}$$

INCREMENTOS DE TRÁNSITO

Una vez calculado el tránsito promedio diario para el Blvd. Podrá realizarse el análisis para el pronóstico del volumen de tránsito futuro, para lo cual se tomará en cuenta como se dijo una tasa de crecimiento anual del 3%.

DISEÑO

El número total de carriles de circulación será de ocho, y de acuerdo con lo expresado en el apartado anterior, la frecuencia relativa acorde con la clasificación vehicular realizada, como ya se mencionó anteriormente quedo resumida en:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TIPO DE VEHÍCULO**FRECUENCIA RELATIVA (%)**

A2	95.0
B2	4.0
C2	1.0

Una vez definidos los tipos de vehículos y la frecuencia relativa con la que harán uso de la vialidad, de acuerdo con las características del proyecto, presentamos el diseño correspondiente.

Para el cálculo de las capas del pavimento, se tomara como base el método de diseño propuesto por el Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Entre las ideas fundamentales que se manejan en este método está, en primer lugar, el manejar un número de repeticiones de carga (ΣL) que el pavimento diseñado con un cierto espesor podrá resistir antes de fallar, definiendo la falla como la aparición de una deformación permanente de 2.5cm. (1") en un 20% del área pavimentada. En segundo lugar se acepta que el V.R.S. debería distribuirse en el espesor de la sección resistente del pavimento en forma análoga a como se distribuyen los esfuerzos normales verticales según la teoría de Boussinesq.

Así, la relación entre espesor y V.R.S. se admite que es una típica curva Boussinesq en la que se puede entrar fijando al pavimento una vida útil deseada (ΣL) y con el V.R.S. de cada capa se podrá estimar el espesor correspondiente.

Ya con los datos de tránsito que hasta aquí se han mencionado podrá realizarse el calculo de tránsito equivalente al cual se resume en la tabla siguiente:

Fuente (Empresa ESMART, 2000)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CÁLCULO DEL TRÁNSITO EQUIVALENTE

OBRA: BLVD. PASEO DE LA REVOLUCION.
LOCALIZACIÓN: URUAPAN, MICHOACÁN.

Fecha: Diciembre del 2000

Tipo de vehículo	Composición del Tránsito %	Coeficiente de distribución de vehículos cargados y vacíos	Composición del tránsito cargados o vacíos	Coeficientes de Daño				Número de ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton			
				Carpeta z=0	Base z=15	Sub-base Z=30	Sub-rasante z=60	Carpeta	Base	Sub-base	Sub-rasante
A2	95	Cargados 1.0	0.950	0.004	-	-	-	0.0038	-	-	-
		Vacíos 0.0		0.004	-	-	-		-	-	
A'2	-	Cargados 0.6	0.040	0.536	0.640	0.023	0.015	-	-	-	
		Vacíos 0.4		0.536	0.002	-	-	-	-		
B2	4	Cargados 1.0	-	2.000	1.010	0.902	0.899	0.0800	0.0404	0.0361	0.0360
		Vacíos 0.0		2.000	0.492	0.258	0.194				
C2	-	Cargados 0.5	-	2.000	1.070	0.936	0.899	-	-	-	
		Vacíos 0.5		2.000	0.044	0.006	0.004	-	-		
C3	1	Cargados 0.8	0.008	1.999	1.190	0.756	0.756	0.0160	0.0095	0.0060	0.0060
		Vacíos 0.2		1.999	0.083	0.020	0.011				
T3-S2	-	Cargados -	-	5.000	3.491	2.250	2.249	-	-	-	
		Vacíos -		5.000	0.113	0.023	0.012	-	-		
T3-S3	-	Cargados -	-	6.000	5.239	4.746	5.758	-	-	-	
		Vacíos -		6.000	0.154	0.040	0.023	-	-		
Sumas	100		1.000								

DATOS DE PROYECTO

n = años de servicio: 25

r = tasa de crecimiento anual: 3%

TDPA = tránsito diario medio anual: 31825

CD carril de proyecto: 0.3

(ocho carriles en total)

Ejes equivalentes para

tránsito unitario

TDPA inicial en el

carril de proyecto

Coefficiente de acumu-

lación de tránsito

Sumatoria L

Logaritmo L

0.1038	0.0501	0.0422	0.0420
9547.5	9547.5	9547.5	9547.5
13307.6	13307.6	13307.6	13307.6
13186998	6363657	5357639	5340105
7.12	6.8	6.73	6.73

Tabla 4.2 "Cálculo de tránsito equivalente"

Fuente: Estudios realizados por la Empresa SMART

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

OBSERVACIONES: El tránsito diario medio anual, se ha estimado de acuerdo con el volumen horario registrado en la hora de máxima demanda, afectado por un factor $k=8\%$, que el manual de proyecto geométrico de carreteras que la S.C.T. recomienda para vías urbanas y suburbanas en el caso de no contar con un aforo de 24 horas

De acuerdo con las características de la vialidad proyectada, se considera que el diseño estructural de esta se debe hacer mediante el uso de la gráfica que represente condiciones normales de diseño, utilizando los datos de tránsito ya obtenidos.

Z = 0 cm; 13,186,998 ejes equivalentes
 Z = 15 cm; 6,363,657 ejes equivalentes
 Z = 30 cm; 5,357,639 ejes equivalentes
 Z = 60 cm; 5,340,105 ejes equivalentes

Una vez que ya se ha calculado el tránsito equivalente acumulado, para sub-base y terracerías así como para carpeta y base, se procederá al cálculo de los espesores de las diferentes capas que conformarán la estructura del pavimento utilizando para ello la curva de igual resistencia. Se hará dicho cálculo mediante el método gráfico tomando en consideración los VRSz esperados en campo, los cuales se mencionan a continuación.

Fuente (Empresa ESMART, 2000)

Para el caso del terreno natural, las características mecánicas fueron evaluadas bajo condiciones controladas de humedad (óptima + 3%) y compactación (90%) considerando además un nivel de confianza del 80%, resultando el V.R.S. de diseño del orden de 7.3%, según se aprecia en la gráfica que a continuación se presenta:

EVALUACIÓN DEL V.R.S. PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS.
OBRA: BLVD. PASEO DE LA REVOLUCION.
LOCALIZACIÓN: URUAPAN, MICHOACÁN.

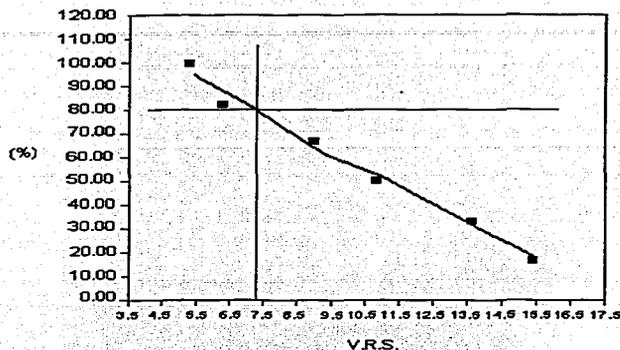
Número de pruebas: 6

Fecha: Diciembre del 2000

Prueba Número	VRS modificado Ordenado %	Valores iguales o mayores	% de valores iguales o mayores
1	5.4	6	100.00
2	6.3	5	83.3
3	9.0	4	66.67
4	10.9	3	50.00
5	13.6	2	33.33
6	15.4	1	16.67

**TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN**

V.R.S. de proyecto: 7.30%



Gráfica 4.1 "Variación del V. R. S."

Fuente: Laboratorio de Ingeniería y control de calidad

OBSERVACIONES: El valor relativo de soporte corresponde a muestras compactadas al 90% de su peso volumétrico seco máximo y una humedad superior en 3% a la humedad óptima.

El VRS de proyecto corresponde al 80%.

De acuerdo con estos datos, y con la gráfica de tránsito equivalente ya mencionada, el espesor protector necesario sobre el terreno natural será del orden de 52.0 centímetros como mínimo. Dicho espesor calculado, cabe aclarar, que resulta de esta magnitud, pese al alto volumen de tránsito vehicular involucrado, a raíz de que el mismo esta compuesto, según datos de aforo, por un 95% de vehículos tipo "A", los cuales utilizan coeficientes de daño en proporción a los esfuerzos inducidos a la estructura del pavimento.

Tal espesor resultante podría distribuirse en varias capas y, pensando en sugerir una distribución práctica, recurriremos a la recomendación que en este sentido emite la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), la cual norma los espesores mínimos para cada una de las capas que conformarán la estructura del pavimento.

Los espesores de las sub-bases son muy variables y dependen de cada proyecto específico, pero suele considerarse 12 o 15 centímetros como la dimensión mínima constructiva, al igual que para la sub-base, la capa base también suele considerarse que 12 o 15 cm, es el espesor mínimo que conviene construir.

Tomando en cuenta las recomendaciones de la SCT para el manejo de espesores de las diferentes capas se propone estructurar el pavimento con tres capas (subrasante, sub-base y base), involucrando un espesor de 20.0 centímetros para la subrasante y 15.0 centímetros para las capas de sub-base y base. La propuesta completa de la estructura se presenta enseguida:

Fuente (Empresa ESMART, 2000)

IV.5.- PROPUESTA PARA LA ESTRUCTURACIÓN DEL PAVIMENTO TIPO FLEXIBLE.

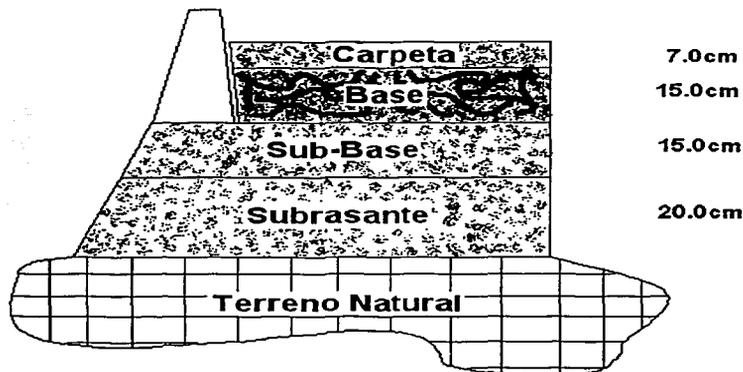


Figura 4.1 "Propuesta para la estructuración del pavimento tipo flexible"
Fuente: Elaboración propia

Carpeta Asfáltica

Preferentemente concreto asfáltico.

Base

De acuerdo con las especificaciones de la SCT es recomendable un material con propiedades como:

curva granulométrica preferentemente en zona 1, valor relativo de soporte mínimo de 100%, límite líquido máximo de 30%, contracción lineal máxima de 4.5%.

Podrá utilizarse el material procedente del banco "Panadero" ubicado en el camino a Ziracuaretiro desviación derecha 150 metros. El cual consiste en una grava-arena color negro de origen volcánico, de buena densidad.

Compactar al 95% de su peso volumétrico máximo.

Sub-base

De acuerdo con las especificaciones SCT es recomendable un material con propiedades como:

curva granulométrica preferentemente en zonas 1 ó 2, valor relativo de soporte mínimo de 50%, contracción lineal máxima de 4.5%.

Se sugiere utilizar el mismo material propuesto para la formación de la capa base. Compactar al 95% de su peso volumétrico seco máximo.

Sub-rasante

Podrá utilizarse el material procedente del banco "Guadalupe II", ubicado en desviación carretera a Paracho, desviación derecha camino a las Canoas. Se trata de un Tezontle rojo con algo de fino. Compactar al 90% de su peso volumétrico seco máximo.

Terreno natural

Después de efectuar el corte suficiente para efectuar la estructura del pavimento, de acuerdo con los niveles de rasante proyectados ó como mínimo de 20 centímetros, se recomienda escarificar en un espesor mínimo de 20 centímetros para uniformizar calidad y humedad del material de desplante. Compactar al 90% de su peso volumétrico máximo.

NOTA: La estructura de un pavimento en servicio compuesta por un sistema de reencarpetamientos que alcanza a la fecha un espesor promedio del orden de 23 centímetros y una capa de base única de espesor variable entre 16 y 25 centímetros; dadas las exigencias de carga vehicular a que estará sometida, resultará insuficiente para estar en funcionalidad en el transcurso de la vida útil que se proyecta.

En consecuencia se tiene en el mejor de los casos el reestructurar el pavimento de acuerdo con la sección propuesta, habiendo necesidad de eliminar la superficie de rodamiento, pudiendo reutilizar la capa de relleno existente sólo a nivel de sub-base y realizar los procesos de terracerías para alojar la nueva estructura, tal como se ha indicado.

Otra alternativa que de paso hará acortar el servicio útil de la vialidad, es la de someterla a rehabilitación, habiendo necesidad de reacondicionar la superficie dañada por medio de procesos de reencarpetamiento. Una última propuesta que presentamos es la de someter la carpeta existente a un proceso de reciclado, con la finalidad de aprovechar todo su espesor para transformarla como una base comúnmente conocida como base negra y posteriormente colocar la carpeta de concreto asfáltico proyectada.

IV.6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez efectuadas todas las pruebas a las muestras recolectadas y analizando sus resultados, se sabe que en la zona que no está pavimentada existe una estratigrafía uniforme, integrada básicamente por dos capas o estratos, siendo la

primera un material producto de rellenos con espesor entre 0.25 y 0.90 metros clasificado en su mayor parte por arenas limosas y limos arenoso de baja compresibilidad; con espesor considerado continuo y que va más allá de la superficie programada de exploración en 1.50 metros.

1.- La estructura diseñada en base a las características del terreno y condiciones de tránsito vehicular es la siguiente:

CAPA	ESPESOR
Carpeta asfáltica	0.07 m.
Base	0.15 m.
Sub-base	0.15 m.
Subrasante	0.20 m.

2.- Para el caso de las zonas que actualmente se encuentran sin pavimento, la nueva estructura se colocará luego de efectuar el corte suficiente para alojarla de acuerdo al proyecto de niveles de rasante siempre y cuando este corte no sea menor de 20 centímetros con tal de eliminar cualquier contaminante de tipo vegetal que se encuentre en la superficie. Es conveniente que, en la superficie resultante se efectúe un escarificado con profundidad de 20 centímetros con la finalidad de uniformizar la calidad y humedad del material y compactar hasta lograr el 90% de su peso volumétrico seco máximo.

En el caso del área que actualmente se encuentran en servicio, se mencionó que la estructura existente es insuficiente para soportar un volumen de tránsito de la magnitud proyectada, por lo que se recomendó reforzar la estructura de acuerdo con la sección de proyecto presentada, con la posibilidad de reutilizar la capa de material de banco existente sólo a nivel de sub-base, habiendo necesidad de excavar lo suficiente para alojar la nueva estructura de acuerdo con los niveles de proyecto. Otra de las alternativas mencionadas, pero que implica el acortar la vida de servicio de la vialidad, es la de rehabilitar la superficie dañada en su momento.

Y finalmente se indicó el someter los 23 centímetros de encarpetamientos, a un proceso de reciclado y darle el tratamiento adecuado al material escarificado, para que funcione como una base negra y, posteriormente colocar sobre de dicha base la carpeta asfáltica proyectada.

3.- Los materiales que se utilicen en la estructura de pavimento deben cumplir con las especificaciones de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes para materiales que se pretendan usar en carreteras. De acuerdo con tales especificaciones, la estructura se conformará con materiales de banco que reúnan las características siguientes:

BASE:

Granulometría: Curva preferentemente en la zona 1.
Límite Líquido: 30% máximo
Contracción Lineal: 4.5% máximo
V.R.S.: 100% mínimo
Equivalente de arena: 50% mínimo

Podrá utilizarse para la formación de esta capa, el material procedente del banco "Panadero", el cual está ubicado en el camino a Ziracuaretiro con desviación derecha a 150 metros; y consiste en una grava arena color negro de origen volcánico.

SUB-BASE:

Granulometría: Curva preferentemente en la zona 1 ó 2
Límite Líquido: 30% máximo
Contracción Lineal: 4.5% máximo
V.R.S.: 50% mínimo

Se sugiere utilizar el mismo material de banco propuesto para la capa base.

SUB-RASANTE:

Granulometría: Curva en la zona 1 ó 2
Contracción lineal: 6.0 máximo
V.R.S.: 30% mínimo
Expansión: 3% mínimo

Podrá emplearse el material procedente del banco Guadalupe II, el cual consiste en una grava mal graduada de origen volcánico, color rojo.

4.- La compactación que deberá lograrse en cada una de las capas será:

Terreno natural: 90%
Subrasante: 90%
Sub-base: 95%
Base: 95%

5.- Ya con la capa base seca, se deberá realizar un barrido enérgico para retirarle el material suelto y el exceso de polvo de la superficie y abrir su textura. Inmediatamente después se le dé un riego de producto asfáltico de tipo emulsión de rompimiento lento a razón 1.5 lt/m², esperando el tiempo suficiente para que penetre cuando menos 5mm o bien que se compruebe que exista adherencia con la base.

6.-La capa de rodamiento se construirá de concreto asfáltico, esta mezcla será elaborada con materiales pétreos de preferencia triturados y que tengan afinidad con el producto asfáltico (AC-20).

TRABAJOS CON
FALLA DE ORIGEN

7.- La curva granulométrica del material pétreo que se utilice en la carpeta, debe cumplir con los requerimientos establecidos por la SCT para concretos asfálticos. El tamaño máximo de las partículas del material no deberá ser mayor de 19mm. (3/4"). La contracción lineal no deberá exceder de 2% y el desgaste de los ángeles no será mayor de 40%.

8.- Antes de tender la carpeta se debe colocar un riego de liga a razón de 0.5 lt/m² utilizando para tal efecto emulsión de rompimiento rápido.

9.- Aunque la mayoría de las veces no es necesario, se recomienda colocar un riego de sello a razón de 1.2 litros de emulsión por metros cuadrado y cubrirlo inmediatamente con material pétreo del tipo 3E (con tamaños de 1/4" a 3/8"), aplicando una ligera compactación con plancha.

10.- Es conveniente que la emulsión asfáltica utilizada en los diferentes procesos sea diseñada de acuerdo al tipo de material pétreo para asegurar la afinidad entre los dos elementos.

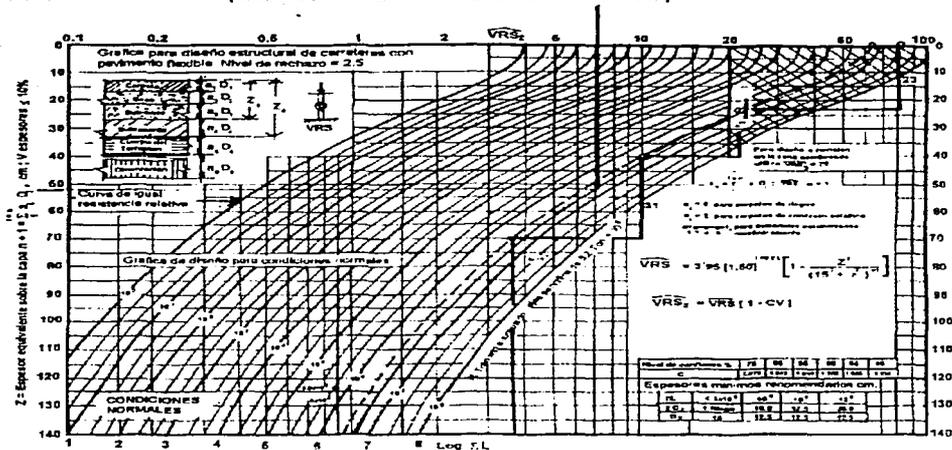
11.- Se recomienda tener especial cuidado en las instalaciones hidráulicas y sanitarias cercanas a las áreas pavimentadas con el fin de conducir las adecuadamente y evitar en todo momento una posible descarga (agua pluvial) sobre la superficie de rodamiento o bien una sobre saturación de las capas de material de banco y terreno natural que vendrían a disminuir notablemente su capacidad de soporte.

Fuente (Laboratorio de ingeniería y control de calidad y Empresa ESMART, 2000)

GRÁFICA DE LA U.N.A.M. PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

GRAFICA DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE CARRETERAS CON PAVIMENTO FLEXIBLE

(INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNAM)



\overline{VRS} = Valor relativo de soporte requerido por la estructura

V = Coeficiente de variación del VRS en campo

\overline{VRS}_z = Estimación del valor relativo de soporte crítico esperado en campo.

C = Factor que depende del nivel de confianza establecido.

\overline{VRS} = Valor relativo de soporte medio esperado en campo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO V.- PAVIMENTO HIDRÁULICO

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

En este capítulo damos a conocer nuestra propuesta de estructuración para la vía, donde presentamos el desarrollo del diseño del pavimento hidráulico (método de la PCA).

V.1.- PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO EN VIALIDADES URBANAS

Los pavimentos de concreto hidráulico consisten en losas construidas en el sitio sobre una estructura de capas de material granular, la cual puede o no ser estabilizada. El conjunto se puede apoyar en una capa subrasante opcional, convenientemente preparada.

Fuente (Apuntes de la materia de pavimentos II, 1994)

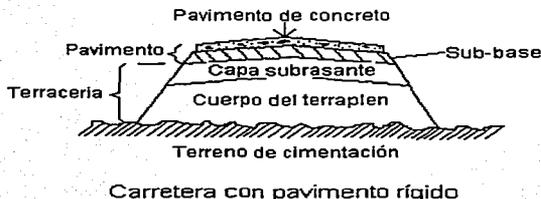


Figura 5.1 "Estructuración pavimento rígido"
Fuente: "Introducción a la Ingeniería de caminos"

METODOLOGÍA DE DISEÑO

Existen diversos criterios para el dimensionamiento de los espesores de las capas del pavimento.

En todo proyecto de pavimentos rígidos son tres los parámetros principales:

- 1) Tránsito vehicular
- 2) Resistencia del concreto, módulo de ruptura (resistencia a la flexión)
- 3) Características del terreno de apoyo

El estudio de estos parámetros ha permitido desarrollar metodologías de diseño tomando en cuenta a la vez el conocimiento derivado de diferentes fuentes como son: Estudios teóricos (Westergaard, otros), modelos y tramos de prueba (Illinois, EE.UU.) y pavimentos en operación.

El conocimiento del comportamiento mecánico de los materiales es conveniente, para dimensionar a la estructura o a un elemento estructural. Dicho comportamiento se puede conocer en base a las solicitaciones que obren y los esfuerzos que se produzcan en la estructura.

RESISTENCIA DEL CONCRETO

Partimos de la hipótesis de que las losas de concreto hidráulico trabajan libremente o simplemente apoyadas, bajo la consideración anterior, cuando la losa está sometida a carga debida al tránsito vehicular, se acepta que la losa trabaja a flexocompresión.

Si la losa trabaja a flexocompresión se generan en ella esfuerzos de compresión en la parte superior y de tensión en la parte inferior, de estos esfuerzos, los de compresión son bajos ya que el concreto los resiste sobrado, los críticos son los esfuerzos de tensión para los cuales habremos de diseñar nuestro pavimento.

En los pavimentos rígidos la resistencia del concreto se mide en términos de la resistencia a la tensión por flexión, esta resistencia se determina mediante la propiedad denominada "Módulo de ruptura (MR)" la cual se obtiene en el laboratorio mediante ensayos.

CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LA CAPA DE APOYO

Cuando se diseña un pavimento se pretende siempre representar las condiciones de apoyo lo más racional. Para ello, se tendrá en cuenta que lo que servirá de apoyo a la losa de concreto será el conjunto formado por la estructura que se compone de capas de material granular. De esta manera el conjunto quedará representado por un módulo de reacción combinado.

Desde el punto de vista estructural, el segundo elemento en importancia después de la losa de concreto hidráulico es la capa de apoyo. La resistencia de la capa de apoyo (capa subrasante) se le conoce con el nombre de "Modulo de reacción" (de la capa de apoyo).

El modulo de reacción representado por "K", Westergaard lo define como:

"La presión necesaria que hay que aplicar sobre una placa circular de $\phi = 30.5\text{cm}$ para caminos, para producir una deformación preestablecida en la capa de apoyo de 0.1plg."

El modulo de reacción lo obtenemos mediante la prueba llamada "Prueba de placa"

$$K = P/\Delta$$

Cuando por cualquier razón además de la capa subrasante se construye una sub-base (estabilizada o no), el valor de K de la capa subrasante se incrementa a causa de la sub-base y entonces se considera para diseño un nuevo valor del Módulo de reacción llamado "Módulo de reacción combinado (Kc)"

Comúnmente se establece una relación entre el K de la capa subrasante y Kc obtenida empíricamente, la cual se da en gráficas.

TRÁNSITO

El tercer factor importante para el diseño de losas de concreto hidráulico es el tránsito.

El tránsito se determinará mediante aforos vehiculares, para así conocer la distribución de cargas por eje y estimar de manera más acertada el número de ejes estándares que circularán por la vialidad en su vida útil de proyecto.

Fuente (Apuntes de la materia de pavimentos II, 1994)

La resistencia de proyecto o de diseño será establecida de acuerdo a la importancia de la obra, el volumen de tránsito y la calidad de agregados y cemento.

El concepto vida útil es un parámetro obligado en este tipo de estructuras y se refiere básicamente a la noción del servicio que la superficie de rodamiento debe prestar al paso de vehículos en un periodo determinado; durante este lapso, la estructura debe ofrecer una superficie segura y cómoda. Por otro lado, como las vialidades urbanas deben ser relativamente estables, dadas las características de las áreas a las cuales sirven, las vidas útiles que se deben contemplar son de 20 años como mínimo, aunque en el caso de pavimentos de concreto se recomienda sean en periodos más prolongados aproximadamente de 20 a 30 años.

En resumen, mediante el enfoque de costos durante la vida útil, se toman en cuenta los costos inherentes a cada una de las opciones de pavimento, su costo/beneficio en diferentes etapas de la vida total del proyecto.

Independientemente de si se realice o no el análisis económico, el analista deberá tener presente que en la alternativa de pavimentación rígida se pueden lograr incrementos substanciales de niveles de tránsito con incrementos pequeños de espesores de losa.

Tal como se menciona anteriormente, cualquier diseño de pavimentos debe asociarse con un sistema de administración de pavimentos a fin de que se puedan ejecutar las medidas preventivas y correctivas que garanticen la funcionalidad e integridad estructural del pavimento durante su vida útil. Todas las necesidades de conservación y reestructuración que conlleva a cualquier tipo de diseño deben ser integradas a los análisis inicial y de ciclo de vida de la estructura, de esa manera se puede tomar una decisión racional y mejor documentada.

La decisión de incrementar la resistencia de las capas de apoyo para disminuir espesores de losa, deberán estar debidamente documentadas con análisis de varias opciones en estas variables, y así cuantificar económicamente los diferentes dimensionamientos, y escoger la opción óptima.

Consideraciones sobre juntas: cuando no se colocan pasajuntas, las juntas transversales se espacian en un rango de 4 a 5 metros; cuando si se colocan, este rango puede variar entre 5 y 7 metros.

Resulta recomendable realizar muestreos de agregados de los bancos o incluso en los mismos depósitos de material dentro de las plantas mezcladoras con el propósito de verificar las variaciones de contenido de arena en las gravas empleadas, de esta manera, se pueden hacer las correcciones pertinentes en la dosificación.

Fuente (IMCYC y Mier Suárez, 2001 y 1987)

V.2.- DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE LA P.C.A. (MÉTODO DE LA FATIGA)

Este método se fundamenta en la premisa de que los pavimentos rígidos fallan por la fatiga a la tensión por flexión, es decir, que se rompen bajo la acción de cargas repetidas que produce una relación de esfuerzos $R_r < 1$.

En base a los datos obtenidos del aforo vehicular se clasificaran los tipos de vehículos de acuerdo a su peso y dimensión según la S.C.T., para posteriormente realizar el análisis de tránsito, el cual nos arrojará el número de repeticiones esperadas para cada vehículo.

Tomando en cuenta los datos de tránsito vehicular y las propiedades mecánicas del concreto y de la capa de apoyo, se deberá determinar la fatiga consumida.

El número de repeticiones de carga permisibles dado en función de la relación entre el esfuerzo flexionante actuante y la resistencia a la flexión a los 28 días es conocida como relación de esfuerzos. La curva de diseño entre repeticiones permisibles y la relación de esfuerzos se introducen en los nomogramas de dimensionamiento de pavimentos.

Se acepta que si un grupo de carga no consume la totalidad de fatiga permisible, el remanente estará disponible para los otros grupos. La sumatoria de todos los consumos de fatiga nunca deberán ser mayor al 100%.

V.3.- JUNTAS EN PAVIMENTOS HIDRÁULICOS

Se definen como la separación ó espaciamiento dado entre dos losas continuas de un pavimento de concreto hidráulico.

Su función es controlar el agrietamiento longitudinal ó transversal en las losas, transmitir adecuadamente las cargas de tránsito de una losa a otra, en general reducir los esfuerzos de compresión, tensión y flexión.

Agrietamiento

Por cambios volumétricos en el concreto y en la capa de apoyo.
Por las cargas de tránsito.

Cambios volumétricos en el concreto (causas)

Proceso de hidratación del concreto, seguido de una disminución de temperatura. (el cemento en contacto con el agua produce calor llamado "calor de hidratación"). Estos cambios de temperatura en la etapa inicial del concreto generan un cambio de volumen.

Procesos de deshidratación y endurecimiento del concreto. En este proceso se elimina el agua y consecuentemente hay una reducción de volumen.

Cambio de temperatura y humedad ambiental, después de que el concreto ha endurecido sigue sujeto a cambios de temperatura externa que generan en el esfuerzos de compresión y tensión. Estos esfuerzos provocan a la vez el fenómeno comado y alabeo en las losas, es decir el encorvado de las losas hacia abajo (cuando la temperatura en la superficie es mayor que la interfase losa-capa apoyo), o hacia arriba (cuando la temperatura es menor) provocando esfuerzos de contracción.

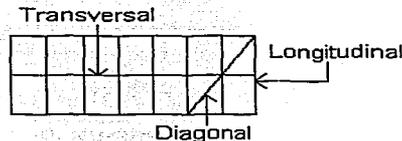
Tipos de juntas

De acuerdo al tipo de esfuerzos

- A) De contracción
- B) De expansión
- C) De construcción
- D) Articulación

De acuerdo al sentido de colocación

- A) Longitudinal (de construcción)
- B) Transversal (de construcción)
- C) Diagonal



Juntas de contracción

Se usan para aliviar esfuerzos de tensión causados por la contracción del concreto.

- Transversal (junta aserrada)
- Longitudinal (junta machi-hembradas)

Las juntas de contracción más usadas son las transversales tipo aserradas ó ranuradas.

Acero usado en las juntas de contracción

El área usada en las juntas de contracción mediante varillas de acero liso son llamadas pasajuntas.



Es conveniente el engrasamiento de las barras para permitir un libre movimiento de las losas.

Juntas de expansión

Este tipo de juntas se disponen para permitir que las losas de concreto se expandan evitando que los esfuerzos generados se destruyan unas con otras. Su uso se da principalmente en intersecciones asimétricas, cuando la dirección del pavimento cambia o cuando se tiene contacto entre dos estructuras de diferente edad.

En estas zonas se da una concentración de esfuerzos que se disipan con el uso de juntas de expansión.



TRABAJOS CON
FALLA DE ORIGEN

Tipo de agregado
(metros)

Separación máxima entre juntas

Granito triturado	1.5
Caliza	6.0
Grava calcárea	6.0
Grava silicosa	4.5
Escoria	4.5

Juntas de construcción

En este tipo de juntas son más comunes las longitudinales, aunque también se construyen transversales.

Las juntas longitudinales se construyen por bandas o en forma alternada (tablero ajedrez). Las juntas transversales generalmente se construyen por terminación de la jornada, falta de concreto o equipo.

Las juntas de construcción son en su mayoría de tipo machi-hembradas.



Sellado de juntas

Su objetivo es impedir la entrada de agua hacia las capas de apoyo y terreno de cimentación para prevenir el fenómeno de bombeo. Otro objetivo es proporcionar una adecuada superficie de rodamiento.

Previo al sellado se deben limpiar las juntas, preferentemente con chiflón de aire.

En general el sello puede ser vaciado "in situ" ó "premoldeado". El primero generalmente es un producto asfáltico en estado líquido mientras que el segundo es un producto elástico prefabricado que se coloca a presión dentro de la junta. En cualquier caso se requiere que los materiales usados sean resistentes a la acción del agua, aceites, combustibles y minerales.

Tipos

- Sellantes termoplásticos. Pueden encontrarse en estado líquido o sólido, cuando están en sólidos se licuan mediante calentamiento para su aplicación y después se endurecen por enfriamiento.
- Sellantes mediante curado químico. Estos corresponden a materiales en los cuales se producen una verdadera reacción química de curado. Entre estos, se encuentran los constituidos a base de polisulfuros, silicones y resinas epóxicas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Sellantes premoldeados. Estos son elementos de caucho o hule endurecido como el neopreno que introducidos a presión en las juntas tienen un adecuado funcionamiento pues además de resistir las deformaciones y recuperar su forma no se degradan y resisten la acción de prácticamente todos los elementos químicos. Su calidad está normalizada por la ASTM y la AASHTO.

Fuente (Apuntes de la materia de pavimentos II, 1994)

DISEÑO DE JUNTAS Y ACERO DE REFUERZO

- a) Diseño de varillas de liga (juntas longitudinales).
El diseño de este tipo de juntas, implica determinar el tipo, número y espaciamiento de las varillas de liga, el diseño se hace mediante el uso de expresiones o gráficas determinadas previamente.

A.1) Uso de fórmulas

$$A_s = \frac{bfWe}{f_s}$$

A_s = área de acero (m²)

b = ancho de losa (m)

f = coeficiente de fricción entre losa y capa de apoyo (1.5)

W = peso volumétrico del concreto (kg/m³)

e = espesor promedio de losa (m)

f_s = esfuerzo de trabajo del acero (0.67 f_y)

f_y = límite de fluencia del acero (1970 kg/cm²)

$$n = \frac{A_s L}{A_v}$$

n = número de varillas en la junta por metro

A_s = área de acero requerida

A_v = área de la sección transversal de la varilla

L = longitud de la losa en metros

$$E = \frac{A_v L}{A_s n}$$

E = espaciamiento entre varillas

$$L = \frac{2 A_v f_s}{u P}$$

L = longitud de anclaje (cm)
u = esfuerzo de adherencia (para acero corrugado se permite el 10% del f_c del concreto sin exceder 25 kg/cm²)
P = perímetro de la barra (cm)
Av = área de la sección transversal de la varilla
fs = esfuerzo de trabajo del acero

Fuente (Apuntes de la materia pavimentos II, 1994)

V.4.- DISEÑO DEL PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO (Con datos de aforo elaborados por la empresa contratada)

Diseñar el pavimento rígido para una vida útil de 25 años construido sobre una avenida de 8 carriles, 4 en cada lado y sobre el cual se espera al inicio de la obra un TPDA = 31825 vehículos mixtos en ambos sentidos con la composición vehicular siguiente:

AZ = 95%

B2 = 4%

C3 = 1%

Tasa de incremento igual a 3% anual.

El concreto hidráulico tendrá al menos una resistencia $f_c = 300$ kg/cm² (o su equivalente en MR) y se apoyará sobre una capa subrasante con material extraído de préstamo de banco.

A).- Se hará un análisis de tránsito para llegar a obtener el número de ejes probables de diseño (o número de repeticiones) auxiliándose de la siguiente tabla:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tipo de vehículo	Peso total veh. (ton)	Composición de tránsito	Número de vehículos	Número de ejes del vehículo			Peso por eje		
				Delantero	Trasero	Total	Delantero	Trasero	Total
Ejes Sencillos									
A2	2	0.95	30233.75	30233.75	30233.75	60467.5	1	1	
B2	15.5	0.04	1273	1273	1273	2546	5.5	10	
C3	23.5	0.01	318.25	318.25	0	318.25	5.5	-	
T3 - S2	41.5	0	0	0	0	0	5.5	-	
T3 - S3	46	0	0	0	0	0	5.5	-	
Ejes Tandem									
C3	23.5	0.01	318.25	0	318.25	318.25	-	18	
T3 - S2	41.5	0	0	0	0	0	18	18	
T3 - S3	46	0	0	0	0	0	18	22.5	

Clasificación de ejes		Total de ejes por cada 1000 veh.	Número de repeticiones esperadas
Con peso de (tons.)	Total de ejes Con dicho peso		
Ejes Sencillos			
1	60467.5	1900	14414885.12
5.5	1591.25	50	379339.082
10	1273	40	303471.26
-	0	0	0
-	0	0	0
Ejes Tandem			
18	318.25	10	75867.81
22.5	0	0	0
-	0	0	0

Tabla 5.1 "Análisis de tránsito"

Fuente: Elaboración propia para la elaboración de la tabla anterior se usaron los datos que se encuentran al final del capítulo, " Pesos y dimensiones de vehículos tipo"

Para el total de ejes:

$$\frac{TDPA}{\text{Ejes con dicho peso}} = \frac{1000 \text{ veh.}}{\text{Total de ejes con dicho peso}}$$

Para el primer caso:

$$\frac{31825}{60467.5} = \frac{1000 \text{ veh.}}{\text{Total de ejes de 1 ton.}}$$

Total de ejes de 1 ton. = 1900

Para el número de repeticiones esperadas obtendremos el volumen de tránsito mediante la expresión siguiente:

$$Vt = \frac{TDPA (Fp)}{N} (Tcp) (Ccd) (365) (n)$$

Donde:

- Vt = Volumen de tránsito
TDPA = Tránsito diario promedio anual
Tep = Total de camiones pesados = 5%
Ccd = Factor de corrección del tránsito en el carril de diseño = 1 (crítico)
N = Número de carriles en un sentido = 4
n = Años de servicio = 25
Fp = Factor de proyección

$$Fp = (1+r)^n = (1+0.03)^{25} = 2.09$$

$$Vt = \frac{31825(2.09)}{4} (0.05)(1)(365)(25) = 7586781.64$$

$$Vt = 7586781.64 \text{ Ejes}$$

Para el número de repeticiones esperadas:

$$\frac{\text{Total de ejes por cada 1000 veh.}}{1000 \text{ veh.}} = \frac{\text{Número de repeticiones esperadas}}{Vt}$$

Para el primer caso:

$$\frac{1900}{1000 \text{ veh.}} = \frac{\text{Número de repeticiones esperadas}}{7586781.64}$$

$$\text{Número de repeticiones esperadas} = 14414885.12$$

B).- Cálculo de espesores.

Resistencia de proyecto $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$

$$MR = 0.12f'c \quad MR = 0.12(300) = 36 \text{ kg/cm}^2$$

Factor de seguridad (La asociación de cemento Pórtland propone los siguientes factores de seguridad de carga).

- $F_s = 1.2$ (Para altos volúmenes de tránsito)
- $F_s = 1.1$ (Para medios volúmenes de tránsito)
- $F_s = 1.0$ (Para bajo volúmenes de tránsito)

Debido a que no se contaba con los valores de VRS de la subrasante, se ha decidido, dejar el mínimo recomendado por las especificaciones de la SCT para materiales que se pretendan usar en carreteras y también para que dicho valor

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

nos dé como resultado un espesor que pueda ser comparativo con el del diseño del pavimento flexible, por lo cual $VRS = 20\%$.

Obtención del Módulo de reacción de la capa de apoyo (k).

Entrando a la gráfica 5.1, se encuentra al final del capítulo, con un $VRS = 20\%$ se obtuvo un $MR = 7.5 \text{ kg/cm}^2$

Se ha decidido construir una sub-base no tratada arriba de la capa subrasante. Bajo estas condiciones la capacidad por cortante se incrementa, teniéndose un K combinado (kc).

El kc se obtiene de la gráfica 5.2, se encuentra al final del capítulo, entrando con el espesor de la sub-base = 15cm y con un $K = 7.5 \text{ kg/cm}^2$, por lo tanto $kc = 9$.

Tomando en cuenta los datos del tránsito, las propiedades mecánicas del concreto y la capa de apoyo, se debe determinar la fatiga consumida.

Se propone espesor de losa de 20cm.

Peso por eje	Peso por Factor de seg.	Esfuerzos Actuantes	Relación de esfuerzos	Repeticiones permisibles	% fatiga consumida
1	1.2	18	0.5	∞	0
5.5	6.6	18	0.5	∞	0
10	12	19	0.53	240000	1.26
18	21.6	19.8	0.55	130000	0.58

1.84%

A continuación se realizará otra iteración debido a que el porcentaje de fatiga es menor al 100%, por lo que, se disminuirá el espesor de la losa para incrementar el porcentaje de fatiga

Se propone espesor de losa de 17.5cm.

Peso por eje	Peso por Factor de seg.	Esfuerzos Actuantes	Relación de esfuerzos	Repeticiones permisibles	% fatiga consumida
1	1.2	18	0.5	∞	0
5.5	6.6	18	0.5	∞	0
10	12	23	0.64	11000	27.59
18	21.6	24	0.66	6000	12.64

40.23%

TERMINADO CON
FALLA DE ORIGEN

Se propone espesor de losa de 16.25cm.

Peso por eje	Peso por Factor de seg.	Esfuerzos Actuantes	Relación de esfuerzos	Repeticiones permisibles	% fatiga consumida
1	1.2	18	0.5	∞	0
5.5	6.6	18	0.5	∞	0
10	12	25.8	0.72	1100	275.88
18	21.6	26.5	0.74	650	116.72

Se pasa!

Tablas 5.2 "Cálculo de la fatiga consumida"

Fuente: Elaboración propia

Para la elaboración de la tabla anterior se usaron los datos de las gráficas 5.4, 5.5 y la tabla 5.6, Al final del capítulo.

Al realizar esta iteración nos damos cuenta que el porcentaje de fatiga se pasa del 100% de esta manera el espesor de la losa deberá estar entre los 17.5 y 16.25cm. Realizando un promedio el resultado es aproximadamente 16.8, por lo que se decide dejar los 17 centímetros.

Espesor de losa = 17cm.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

PROPUESTA PARA LA ESTRUCTURACIÓN DEL PAVIMENTO DE TIPO HIDRÁULICO

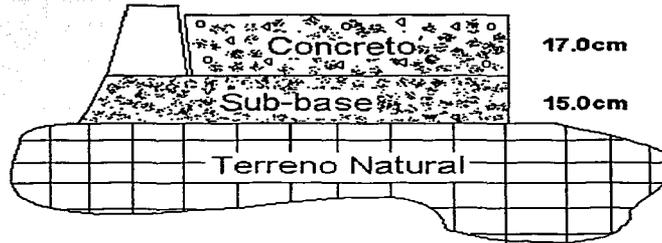


Figura 5.2 "Propuesta para la estructuración del pavimento de tipo hidráulico"

Fuente: Elaboración propia

La empresa contratada para elaborar el diseño del pavimento existente en la vía, como se presenta en capítulos anteriores, realizaron un aforo con duración de una hora y lo llevaron a cabo en el cruceo Blvd. Paseo de la revolución y Ricardo Flores Magón. Primeramente el cruceo en el que se realizó es una intersección en T, y nosotros que vivimos en la ciudad de Uruapan sabemos que existen cruceos en la vía que cuentan con mayor importancia o volumen de tránsito pesado, tal es el caso de la intersección entre la calle Plan de San Luis y el Blvd. Paseo de la Revolución.

Por tal situación, creemos que es importante realizar un aforo en ese cruceo que presentamos a continuación.

AFORO VEHICULAR ENTRE LA AV. PASEO DE LA REVOLUCIÓN Y LA CALLE PLAN DE SAN LUIS

Sábado 7 de Diciembre del 2002

Hora 7:00 - 9:00 AM

Dirección Sur - Norte	Cantidad	Dirección Norte - Sur	Cantidad
A2	1309	A2	895
B2	195	B2	215
C3	47	C3	35
T2 - S1	0	T2 - S1	1
T3 - S2	3	T3 - S2	1
T3 - S3	0	T3 - S3	1
T3 - S2 - R3	1	T3 - S2 - R3	0
T3 - S2 - R4	0	T3 - S2 - R4	0

Hora 12:00 - 2:00 PM

Dirección Sur - Norte	Cantidad	Dirección Norte - Sur	Cantidad
A2	2017	A2	1622
B2	196	B2	157
C3	27	C3	52
T2 - S1	0	T2 - S1	1
T3 - S2	2	T3 - S2	2
T3 - S3	3	T3 - S3	1
T3 - S2 - R3	0	T3 - S2 - R3	0
T3 - S2 - R4	0	T3 - S2 - R4	0

Hora 6:00 - 8:00 PM

Dirección Sur - Norte	Cantidad	Dirección Norte - Sur	Cantidad
A2	1902	A2	1293
B2	179	B2	154
C3	26	C3	36
T2 - S1	0	T2 - S1	1
T3 - S2	4	T3 - S2	3
T3 - S3	4	T3 - S3	3
T3 - S2 - R3	0	T3 - S2 - R3	0
T3 - S2 - R4	2	T3 - S2 - R4	3

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Lunes 9 de Diciembre del 2002

Hora 7:00 - 9:00 AM

Dirección Sur - Norte	Cantidad	Dirección Norte - Sur	Cantidad
A2	1668	A2	1008
B2	216	B2	193
C3	29	C3	33
T2 - S1	0	T2 - S1	0
T3 - S2	4	T3 - S2	0
T3 - S3	2	T3 - S3	3
T3 - S2 - R3	0	T3 - S2 - R3	0
T3 - S2 - R4	0	T3 - S2 - R4	0

Hora 12:00 - 2:00 PM

Dirección Sur - Norte	Cantidad	Dirección Norte - Sur	Cantidad
A2	2220	A2	1192
B2	196	B2	182
C3	23	C3	21
T2 - S1	0	T2 - S1	0
T3 - S2	3	T3 - S2	5
T3 - S3	1	T3 - S3	1
T3 - S2 - R3	0	T3 - S2 - R3	0
T3 - S2 - R4	0	T3 - S2 - R4	1

Hora 6:00 - 8:00 PM

Dirección Sur - Norte	Cantidad	Dirección Norte - Sur	Cantidad
A2	2377	A2	1616
B2	210	B2	192
C3	35	C3	38
T2 - S1	0	T2 - S1	0
T3 - S2	6	T3 - S2	4
T3 - S3	4	T3 - S3	3
T3 - S2 - R3	0	T3 - S2 - R3	0
T3 - S2 - R4	5	T3 - S2 - R4	2

Tabla 5.3 "Aforo vehicular"
Fuente: Elaboración propia

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

OBTENCIÓN DEL TDPA

Para obtener el Tránsito Diario Promedio anual, primeramente tomamos el día con más volumen de tránsito de los dos, posteriormente realizamos un promedio de las diferentes horas pico durante el día y obtuvimos lo siguiente:

Lunes 9 de diciembre del 2002

7:00 a.m. – 9:00 a.m.

$$1919+1236 = 3155 \times 10 = 31550$$

12:00 a.m. – 2:00 p.m.

$$2443+1402 = 3845 \times 10 = 38450$$

$$\text{TDPA} = \frac{31550 + 38450 + 44920}{3} = 38307$$

6:00 p.m. – 8:00 p.m.

$$2637+1855 = 4492 \times 10 = 44920$$

Obtención de la distribución vehicular.

$$A2 = 2676+3412+3993 = \frac{10081 \times 10}{3} = 33603/38307 = 87\%$$

$$B2 = 409+409+402 = \frac{1220 \times 10}{3} = 4067/38307 = 9\%$$

Por lo que podemos resumir lo siguiente:

$$A2 = 87\%$$

$$B2 = 9\%$$

$$C3 = 2\%$$

$$T3-S2 = 1\%$$

$$T3-S3 = 1\%$$

V.5.- DISEÑO DEL PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO.

(Con datos de aforo con fuente elaboración propia)

Diseñar el pavimento rígido para una vida útil de 25 años construido sobre una avenida de 8 carriles, 4 en cada lado y sobre el cual se espera al inicio de la obra un TPDA = 38307 vehículos mixtos en ambos sentidos con la composición vehicular siguiente:

$$A2 = 87\%$$

$$B2 = 9\%$$

$$C3 = 2\%$$

$$T3 - S2 = 1\%$$

$$T3 - S3 = 1\%$$

Tasa de crecimiento = 3%

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El concreto hidráulico tendrá al menos una resistencia $f_c = 300 \text{ kg/cm}^2$ (o su equivalente en MR) y se apoyará sobre una capa subrasante con material extraído de préstamo de banco.

A).- Se hará un análisis de tránsito para llegar a obtener el número de ejes probables de diseño (o número de repeticiones) auxiliándose de la siguiente tabla:

Tipo de Vehículo	Peso total veh. (ton)	Composición de tránsito	Número de Vehículos	Número de ejes del vehículo			Peso por eje		
				Delantero	Trasero	Total	Delantero	Trasero	Total
Ejes Sencillos									
A2	2	0.87	33327	33327	33327	66654	1	1	
B2	15.5	0.09	3448	3448	3448	6896	5.5	10	
C3	23.5	0.02	766	766	0	766	5.5	-	
T3 - S2	41.5	0.01	383	383	0	383	5.5	-	
T3 - S3	46	0.01	383	383	0	383	5.5	-	
Ejes Tandem									
C3	23.5	0.02	766	0	766	766	-	18	
T3 - S2	41.5	0.01	383	383	383	766	18	18	
T3 - S3	46	0.01	383	383	383	766	18	22.5	

Clasificación de ejes		Total de ejes por cada 1000 veh.	Número de repeticiones Esperadas
Con peso de (tons.)	Total de ejes con dicho peso		
Ejes Sencillos			
1	66654	1740	41313302
5.5	4980	130	3086626
10	3448	90	2136895
-	0	0	0
-	0	0	0
Ejes Tandem			
18	1915	50	1187164
22.5	383	10	237433
-	0	0	0

Tabla 5.4 "Análisis de tránsito"

Fuente: Elaboración propia

Para la elaboración de la tabla anterior se usaron los datos que se encuentran al final del capítulo, "Pesos y dimensiones de vehículos tipo"

Para el total de ejes:

$$\frac{\text{TDPA}}{\text{Ejes con dicho peso}} = \frac{1000 \text{ veh.}}{\text{Total de ejes con dicho peso}}$$

Para el primer caso:

$$\frac{38307}{66654} = \frac{1000 \text{ veh}}{\text{Total de ejes de 1 tonelada}}$$

Total de ejes de 1 ton. = 1740

Para el número de repeticiones esperadas obtendremos el volumen de tránsito mediante la expresión siguiente:

$$Vt = \frac{TDPA (Fp)}{N} (T_{cp}) (C_{cd}) (365) (n)$$

Donde:

Vt = Volumen de tránsito

TDPA = Tránsito diario promedió anual

T_{cp} = Total de camiones pesados = 13%

C_{cd} = Factor de corrección del tránsito en el carril de diseño = 1 (el más crítico)

N = Número de carriles en un sentido = 4

n = Años de servicio = 25

Fp = Factor de proyección

$$Fp = (1+r)^n = (1+0.03)^{25} = 2.09$$

$$Vt = \frac{38307(2.09)}{4} (0.13)(1)(365)(25) = 23743277$$

Vt = 23743277 Ejes

Para el número de repeticiones esperadas:

$$\frac{\text{Total de ejes por cada 1000 veh.}}{1000 \text{ veh.}} = \frac{\text{Número de repeticiones esperadas}}{Vt}$$

Para el primer caso:

$$\frac{1740}{1000 \text{ veh.}} = \frac{\text{Número de repeticiones esperadas}}{23743277}$$

Número de repeticiones esperadas = 41313302

B).- Cálculo de espesores.

Resistencia de proyecto $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$

MR = 0.12 $f'c$

MR = 0.12(300) = 36 kg/cm²

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Factor de seguridad (La asociación de cemento Pórtland propone los siguientes factores de seguridad de carga).

- $F_s = 1.2$ (Para altos volúmenes de tránsito)
- $F_s = 1.1$ (Para medios volúmenes de tránsito)
- $F_s = 1.0$ (Para bajo volúmenes de tránsito)

Debido a que no se contaba con los valores de VRS de la subrasante, se ha decidido, dejar el mínimo recomendado por las especificaciones de la SCT para materiales que se pretendan usar en carreteras y también para que dicho valor nos dé como resultado un espesor que pueda ser comparativo con el del diseño del pavimento flexible, por lo cual $VRS = 20\%$.

Obtención del Módulo de reacción de la capa de apoyo (k).

Entrando a la gráfica 5.1, se encuentra al final del capítulo, con un $VRS = 20\%$ se obtuvo un $MR = 7.5 \text{ kg/cm}^3$

Se ha decidido construir una sub-base no tratada arriba de la capa subrasante. Bajo estas condiciones la capacidad por cortante se incrementa, teniéndose un K combinado (kc).

El kc se obtiene de la gráfica 5.2, se encuentra al final del capítulo, entrando con el espesor de la sub-base = 15cm y con un $K = 7.5 \text{ kg/cm}^3$, por lo tanto $kc = 9$

Tomando en cuenta los datos del tránsito, las propiedades mecánicas del concreto y la capa de apoyo, se debe determinar la fatiga consumida.

Se propone espesor de losa de 20cm.

Peso por eje	Peso por Factor de seg.	Esfuerzos Actuantes	Relación de Esfuerzos	Repeticiones permisibles	% fatiga Consumida
1	1.2	18	0.5	∞	0
5.5	6.6	18	0.5	∞	0
10	12	19	0.53	240000	8.9
18	21.6	19.5	0.54	180000	6.6
22.5	27	24.2	0.67	4500	52.76

68.26%

A continuación se realizará otra iteración debido a que el porcentaje de fatiga es menor al 100%, por lo que, se disminuirá el espesor de la losa para incrementar el porcentaje de fatiga

Se propone espesor de losa de 18.75cm.

Peso por eje	Peso por factor de seg.	Esfuerzos Actuantes	Relación de esfuerzos	Repeticiones permisibles	% fatiga consumida
1	1.2	18	0.5	∞	0
5.5	6.6	18	0.5	∞	0
10	12	20.8	0.57	75000	28.49
18	21.6	21.5	0.59	42000	28.26
22.5	27	26.5	0.73	850	279.33

Tabla 5.5 "Cálculo de la fatiga consumida"

Fuente: Elaboración propia

Para la elaboración de la tabla anterior se usaron los datos de las gráficas 5.4, 5.5 y la tabla 5.6, Al final del capítulo.

Se pasa!

Al realizar esta iteración nos damos cuenta que el porcentaje de fatiga se pasa del 100% de esta manera el espesor de la losa deberá estar entre los 20 y 18.75cm. Realizando un promedio el resultado es aproximadamente 19.5cm., por lo que se decide dejar los 20 centímetros.

Espesor de losa = 20cm.

PROPUESTA PARA LA ESTRUCTURACIÓN DEL PAVIMENTO DE TIPO HIDRÁULICO

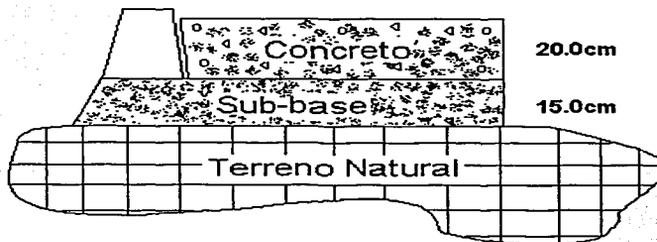


Figura 5.3 "Propuesta para la estructuración del pavimento de tipo hidráulico"

Fuente: Elaboración propia

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

V.6.- DISEÑO DE JUNTAS

Se pretende construir un pavimento rígido mediante losas de concreto hidráulico, colocado en franjas con espesor de 20cm de geometría cuadrada de lado de 3.5m.

- a).- Tipo de junta más adecuada: Longitudinal machi-hembra.
- b).- Tipo de acero a usar: Barras de sujeción o anclaje o varillas de liga.
- c).- Diseño de junta:

1.- Área de acero $As = \frac{bfWe}{fs}$

$$As = \frac{(3.5)(1.5)(2400)(0.20)}{2814} = 0.90 \text{cm}^2/\text{mt}$$

Considerando $f_y = 2579 \text{kg/cm}^2$

$$F_s = 0.6f_y = 1728 \text{kg/cm}^2$$

$$As = 1.45 \text{cm}^2/\text{mt}$$

2.- Número de varillas por junta

$$n = \frac{As}{Av} \quad L = \frac{0.90}{0.71} (3.5) = 4.44$$

$$n = 5 \text{ varillas } \phi \text{ 3/8"}$$

3.- Espaciamiento entre varillas (separación máxima $\leq 76 \text{cm}$)

$$E = \frac{Av}{As} = \frac{L}{n} = \frac{3.5}{5} = 70 \text{cm} < 76 \text{cm} \quad \therefore \text{Bien}$$

4.- Longitud de anclaje

$$L = \frac{2 Av fs}{u P}$$

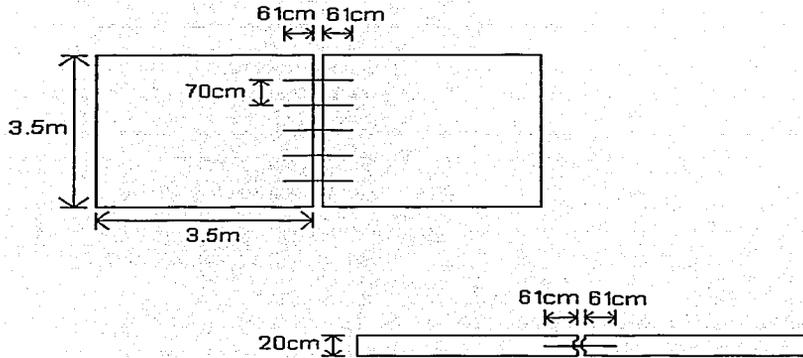
$$L = \frac{2(0.71)(2814)}{25(3)} + 7.5 = 60.78 \text{cm}$$

$$L = 61 \text{cm}$$

7.5 = Considerado por defecto de construcción

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CROQUIS DE ARMADO DE JUNTAS



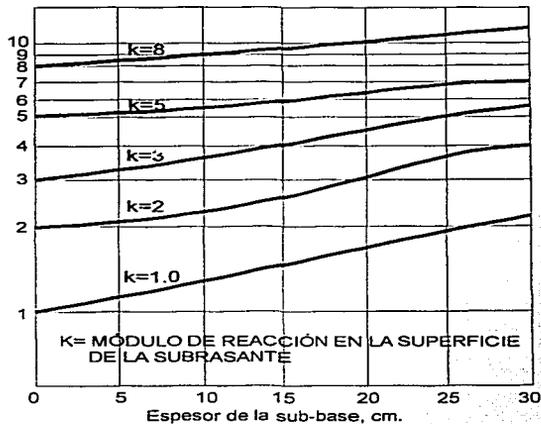
TFESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAMINO TIPO	VEHICULO TIPO			CONJUNTO	PESO EN TONELADAS	
					CARGA MÁXIMA	VACIO
A	A2	AUTOMOVIL		1*	1.0	0.8
B				2*	1.0	0.8
C				TOTAL	2.0	1.6
A	A2	CAMIÓN LIGERO CON CAPACIDAD DE CARGA HASTA 2 TONELADAS		1*	1.7	1.3
B				2*	3.8	1.2
C				TOTAL	5.5	2.5
A	B2	AUTOBUS DE 2 EJES		1*	5.5	3.5
B				2*	10.0	7.0
				TOTAL	15.5	10.5
C				1*	5.0	3.5
				2*	9.0	6.5
TOTAL				14.0	10.0	
A				1*	4.0	3.0
				2*	8.0	6.0
TOTAL				12.0	9.0	
A	1*	5.5	4.0			
	2*	14.0	8.0			
TOTAL	19.5	12.0				
B	1*	5.0	4.0			
	2*	14.0	7.5			
TOTAL	19.0	11.5				
C	1*	4.0	3.5			
	2*	14.0	7.5			
TOTAL	18.0	11.0				
A	1*	7.0	5.0			
	2*	14.0	8.0			
TOTAL	21.0	13.0				
B	1*	7.0	5.0			
	2*	14.0	8.0			
TOTAL	21.0	13.0				
C	1*	7.0	5.0			
	2*	14.0	8.0			
TOTAL	21.0	13.0				
A	C2	CAMIÓN DE 2 EJES		1*	5.5	3.5
				2*	10.0	3.0
TOTAL				15.0	6.5	
B				1*	5.0	3.0
				2*	9.0	3.0
TOTAL				14.0	6.0	
C				1*	4.0	2.5
				2*	8.0	2.5
TOTAL				12.0	5.0	
A	C3	CAMIÓN DE 3 EJES		1*	5.5	4.0
				2*	18.0	4.5
TOTAL				23.5	8.5	
B				1*	5.0	3.8
				2*	9.0	4.2
TOTAL				14.0	8.0	
C				1*	4.0	3.5
				2*	6.0	4.0
TOTAL				12.0	7.5	
A	C4	CAMIÓN DE 4 EJES		1*	5.5	4.5
				2*	22.5	8.0
TOTAL				28.0	12.5	
A	T2-S1	TRACTOR DE 2 EJES CON SEMIREMOLQUE DE UN EJE		1*	5.5	3.2
				2*	10.0	3.4
3*				10.0	3.4	
TOTAL				25.5	10.0	
B				1*	5.0	3.0
				2*	9.0	3.0
TOTAL	9.0	3.0				
				TOTAL	23.0	9.0

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

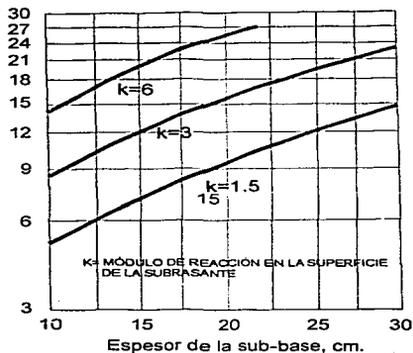
CAMINO TIPO	VEHICULO TIPO			CONJUNTO	PESO EN	
					CARGA MÁXIMA	VACIO
A	T2 - S2	TRACTOR DE 2 EJES CON SEMIREMOLQUE DE 2 EJES		1*	5.0	4.0
				2*	10.0	3.5
B	T2 - S2	TRACTOR DE 2 EJES CON SEMIREMOLQUE DE 2 EJES		3**	18.0	4.0
				TOTAL	33.5	11.5
A	T3 - S2	TRACTOR DE 3 EJES CON SEMIREMOLQUE DE 2 EJES		1*	5.0	3.4
				2*	9.0	3.4
B	T3 - S2	TRACTOR DE 3 EJES CON SEMIREMOLQUE DE 2 EJES		3**	15.0	3.7
				TOTAL	29.0	10.5
A	T3 - S3	TRACTOR DE 3 EJES CON SEMIREMOLQUE DE 3 EJES		1*	5.5	4.0
				2**	18.0	4.0
B	T3 - S3	TRACTOR DE 3 EJES CON SEMIREMOLQUE DE 3 EJES		3**	18.0	4.0
				TOTAL	41.5	12.0
A	C2 - R2	CAMIÓN DE 2 EJES CON REMOLQUE DE 2 EJES		1*	5.0	4.0
				2**	15.0	4.0
B	C2 - R2	CAMIÓN DE 2 EJES CON REMOLQUE DE 2 EJES		3**	15.0	4.0
				TOTAL	35.0	11.5
A	C3 - R2	CAMIÓN DE 3 EJES CON REMOLQUE DE 2 EJES		1*	5.5	4.0
				2**	18.0	4.5
B	C3 - R2	CAMIÓN DE 3 EJES CON REMOLQUE DE 2 EJES		3**	10.0	2.0
				4*	10.0	2.0
A	C3 - R3	CAMIÓN DE 3 EJES CON REMOLQUE DE 3 EJES		4**	22.5	5.0
				TOTAL	48.0	13.0
A	T2 - S1 - R2	TRACTOR DE 2 EJES CON SEMIREMOLQUE DE 1 EJE Y REMOLQUE DE 2 EJES		1*	5.5	3.5
				2*	10.0	3.0
B	T2 - S1 - R2	TRACTOR DE 2 EJES CON SEMIREMOLQUE DE 1 EJE Y REMOLQUE DE 2 EJES		3*	10.0	2.0
				4*	10.0	2.0
A	T2 - S2 - R1	TRACTOR DE 2 EJES CON SEMIREMOLQUE DE 2 EJES Y REMOLQUE DE 2 EJES		5*	10.0	2.2
				TOTAL	45.0	13.5
A	T2 - S2 - R1	TRACTOR DE 2 EJES CON SEMIREMOLQUE DE 2 EJES Y REMOLQUE DE 2 EJES		1*	5.5	4.0
				2**	18.0	4.0
B	T2 - S2 - R1	TRACTOR DE 2 EJES CON SEMIREMOLQUE DE 2 EJES Y REMOLQUE DE 2 EJES		3**	18.0	3.5
				4*	10.0	2.3
A	T3 - S1 - R2	TRACTOR DE 3 EJES CON SEMIREMOLQUE DE 1 EJE Y REMOLQUE DE 2 EJES		5*	10.0	2.2
				TOTAL	53.5	16.0
A	T3 - S1 - R2	TRACTOR DE 3 EJES CON SEMIREMOLQUE DE 1 EJE Y REMOLQUE DE 2 EJES		1*	5.5	4.0
				2**	18.0	4.0
B	T3 - S1 - R2	TRACTOR DE 3 EJES CON SEMIREMOLQUE DE 1 EJE Y REMOLQUE DE 2 EJES		3*	10.0	2.5
				4*	10.0	2.3
A	T3 - S2 - R2	TRACTOR DE 2 EJES CON SEMIREMOLQUE DE 2 EJES Y REMOLQUE DE 2 EJES		5*	10.0	2.2
				TOTAL	61.5	16.0
A	T3 - S2 - R2	TRACTOR DE 2 EJES CON SEMIREMOLQUE DE 2 EJES Y REMOLQUE DE 2 EJES		1*	5.5	4.0
				2**	18.0	4.0
B	T3 - S2 - R2	TRACTOR DE 2 EJES CON SEMIREMOLQUE DE 2 EJES Y REMOLQUE DE 2 EJES		3**	18.0	3.5
				4*	10.0	2.3
A	T3 - S2 - R3	TRACTOR DE 3 EJES CON SEMIREMOLQUE DE 2 EJES Y REMOLQUE		5*	10.0	2.2
				TOTAL	69.5	17.0
A	T3 - S2 - R3	TRACTOR DE 3 EJES CON SEMIREMOLQUE DE 2 EJES Y REMOLQUE		1*	5.5	4.0
				2**	18.0	4.0
B	T3 - S2 - R3	TRACTOR DE 3 EJES CON SEMIREMOLQUE DE 2 EJES Y REMOLQUE		3**	18.0	3.5
				4*	10.0	2.3
A	T3 - S2 - R4	TRACTOR DE 3 EJES CON SEMIREMOLQUE DE 2 EJES Y REMOLQUE DE 4 EJES		5**	18.0	3.2
				TOTAL	77.5	18.0

Módulo de reacción en la superficie de la sub-base, Kg/cm²



Gráfica 5.2 Gráfica para obtener el valor de k sobre la sub-base conocido el mismo sobre la subrasante. Sub-bases no estabilizadas.

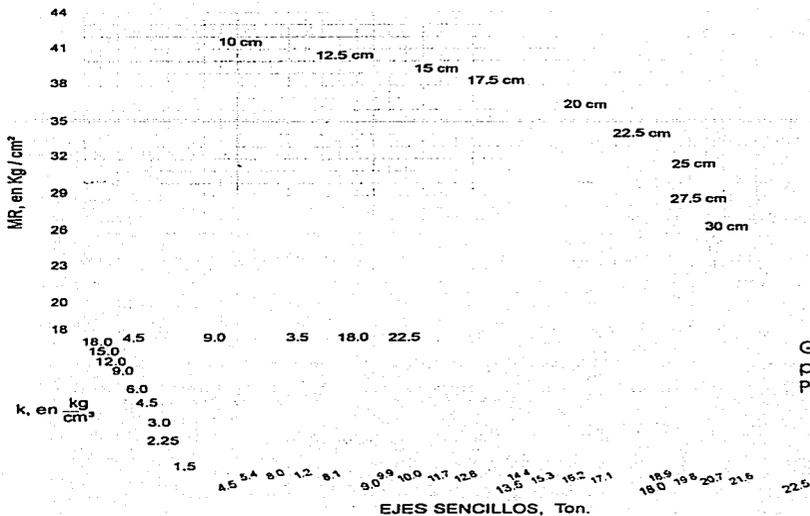
Módulo de reacción en la superficie de la sub-base, Kg/cm²



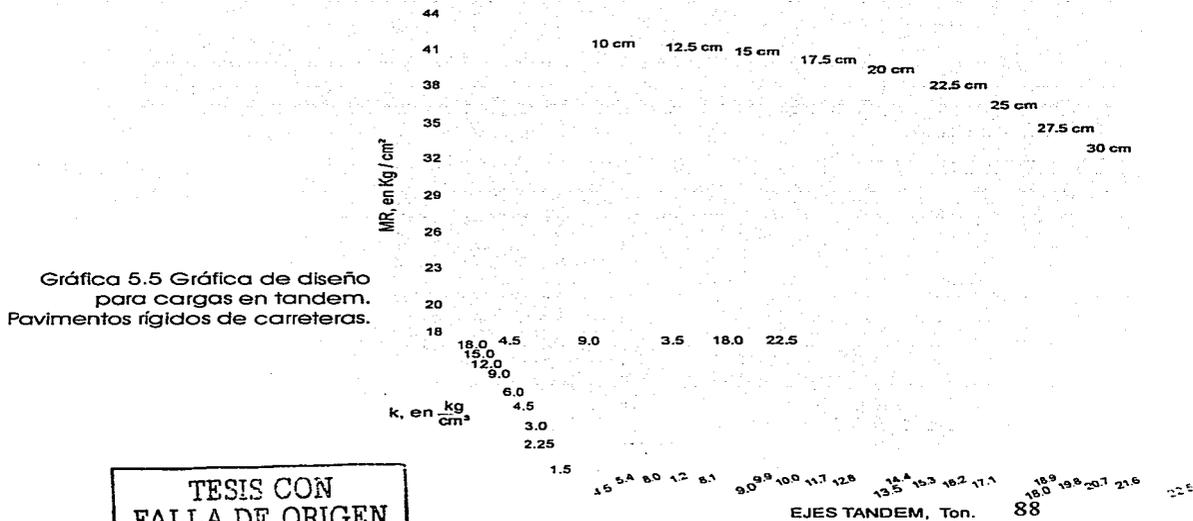
Gráfica 5.3 Gráfica para obtener el valor de k sobre la sub-base conocido el mismo sobre la subrasante. Sub-bases estabilizadas con cemento.

TRABAJOS CON
FOLIA DE ORIGEN

Pavimentos rígidos



Gráfica 5.4 Gráfica de diseño para cargas en ejes sencillos. Pavimentos rígidos de carreteras.



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Relación de esfuerzos y No. de repeticiones de carga permisibles			
Relación de esfuerzos *	Repeticiones permisibles	Relación de esfuerzos	Repeticiones permisibles
0.51**	400,000	0.69	2,500
0.52	300,000	0.70	2,000
0.53	240,000	0.71	1,500
0.54	180,000	0.72	1,100
0.55	130,000	0.73	850
0.56	100,000	0.74	650
0.57	75,000	0.75	490
0.58	57,000	0.76	360
0.59	42,000	0.77	270
0.60	32,000	0.78	210
0.61	24,000	0.79	160
0.62	18,000	0.80	120
0.63	14,000	0.81	90
0.64	11,000	0.82	70
0.65	8,000	0.83	50
0.66	6,000	0.84	40
0.67	4,500	0.85	30
0.68	3,500		

Tabla 5.6 Relación de esfuerzos y número de repeticiones permisibles.

* Esfuerzo producido por la carga dividida entre el MR

** Para relaciones de esfuerzos menores que 0.50 el número de repeticiones es ilimitado

CAPÍTULO VI.- COSTOS DEL PAVIMENTO Y PLUSVALÍA DE LOS TERRENOS

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

En este capítulo se presenta el análisis de la plusvalía de los terrenos colindantes a la vía, así como los costos de cada una de las propuestas.

VI.1.- ANÁLISIS DE PLUSVALÍA EN LAS PROPIEDADES BENEFICIADAS

Al considerar el incremento en el valor de las propiedades por el desarrollo natural, el aumento en los servicios municipales y comunitarios, así como las variaciones económicas en la sociedad, existen dos grandes conceptos que rigen las operaciones y estos son:

El valor catastral

El valor comercial

EL VALOR CATASTRAL

Este valor que determina el gobierno de cualquier entidad federativa es la tasa impuesta para pagar impuestos de las propiedades y es el resultado de análisis tanto de características físicas de los inmuebles como de intangibles como lo son: Desarrollo y posibilidades e influencia del medio según ubicación.

Normalmente estos valores se incrementan anualmente y se comunica a los órganos encargados de manejar estos valores, el incremento que se debe agregar al anterior para su correcta aplicación.

Este procedimiento se ha venido haciendo en los últimos nueve años, ya que la última edición del paquete de planos correspondiente a todas las ciudades, pueblos y tenencias calificadas, data de 1993.

El valor catastral se maneja por calles, según la importancia de la misma tomando en cuenta los factores: comercios, oficinas, ubicación céntrica, tipo de construcción dominante, tipo de construcción del vecindario, categoría de fraccionamiento ó colonia, nivel socioeconómico, etc., para obtener el valor unitario de calle, se le aplicarán los factores año por año desde 1994.

La oficina municipal correspondiente en cada lugar realiza con la frecuencia necesaria, revisiones domiciliarias con el fin de comprobar el estado de conservación de las construcciones, aumentos o remodelaciones significativas, así como las condiciones de los servicios, públicos y privados que hagan valer la propiedad.

EL VALOR COMERCIAL

Este valor puede decirse que es el de la oferta y al igual que el anterior se toman como base todas las características físicas, ambientales, panorámicas y topográficas del terreno, con el propósito de fijar un valor de negociación inicial para una compra o venta. El conocimiento suficiente de operaciones de este tipo

realizadas en el área de interés pueden dar la pauta para proponer una base mínima económica con el fin de negociar; el valor de mercado será aquel en que finalmente se realice una operación normal.

Los valores comerciales de los terrenos varían considerablemente si se hace a conciencia un estudio exhaustivo del desarrollo de la zona, si se conocen los antecedentes del pasado recientes y se concluye con certeza el futuro promisorio de los terrenos a fines a las áreas de reciente incorporación en servicios, negocios y proyectos adecuados.

La topografía de los terrenos a calificar, decididamente es importante debido a que la adaptación de un suelo implica un sin número de gastos que obligan a realizar obras de infraestructura con mayor gasto inicial, el tipo de suelo no debe tomarse a la ligera, por que ello implica éxito o fracaso en la cimentación.

Todas las condiciones favorables que convergen en seguridad para un terreno, pueden decirse que dictan las reglas para poder otorgar un valor comercial tangible a los terrenos.

La forma de llevar a cabo la operación, es materia de otro tipo de análisis financiero.

DEMÉRITOS

Así como los inmuebles tiene premio debido a su ubicación, zona preferencial, prospección futura, influencia del medio, áreas tranquilas, turísticas o ajardinadas.

También existen posibilidades de castigar o desmeritar el valor base de un terreno ó de una construcción, debido a que las características físicas que influyen en el, lo hacen directamente sobre el bien desvirtuando su valor real y entonces se dice que la propiedad vale menos por: que topográficamente se encuentra en una depresión o un paredón del terreno es de subsuelo rocoso o inestable y pantanoso, por la edad de la construcción y en estado ruinoso o requiere reparación, por no tener proyecto adecuado, cuando la forma del terreno es irregular, cuando no es plano en su interior cuando el inmueble se ubica en zona insegura socialmente, cuando colinda con negocios de posibles siniestros como: gasolineras, fábricas, resinerías; o hasta en casos de insalubridad social como: bares ó antros, colonias populares o centros de rehabilitación social.

La falta de posibilidad de desarrollo de una sociedad es motivo también que tasaría en un valor bajo o en su caso aplicarle un demérito.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

VI.2.- OBTENCIÓN DE LOS PORCENTAJES DE INCREMENTO

Para el análisis de la obtención de los valores de las áreas afectadas por la construcción de la obra " Ampliación del boulevard Paseo de la Revolución ", se procedió hacer una zonificación de la vía tomando en cuenta la topografía de los terrenos (méritos y deméritos), la cual dividimos y representamos con diferentes colores según fuera su valor, ver Pág. 93, para tal efecto se hizo la siguiente operación:

Se ubicaron los metros cuadrados impactados por la plusvalía, entre cada calle, asignándoles una franja de color.

El color representa el porcentaje de incremento de valor de los terrenos, es decir , la diferencia del valor comercial anterior y actual de la vía.

Es importante mencionar que el porcentaje de incremento decrece al alejarnos de la avenida.

Una vez localizadas las áreas sujetas a alteración, las multiplicamos por su respectivo incremento y así conseguimos el valor actual de toda la franja.

Una vez comentado lo anterior, a continuación presentaremos los porcentajes de incremento en la plusvalía de los terrenos en la zona beneficiada por la construcción de la obra, dichos incrementos fueron elaborados con base en las operaciones realizadas por diferentes valuadores que cuentan con amplia experiencia en el ramo, estas cifras son datos aproximados.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

$1,500 \text{ m}^2 \times \$100 = \$150,000$

$1,500 \text{ m}^2 \times \$1,150 = \$1,725,000$

$1,500 \text{ m}^2 \times \$1,150 = \$1,725,000$

$900 \text{ m}^2 \times \$200 = \$180,000$

$2,100 \text{ m}^2 \times \$100 = \$210,000$

$4,150 \text{ m}^2 \times \$100 = \$415,000$

$4,150 \text{ m}^2 \times \$1,150 = \$4,772,500$

$4,150 \text{ m}^2 \times \$1,150 = \$4,772,500$

$2,490 \text{ m}^2 \times \$200 = \$498,000$

$5,810 \text{ m}^2 \times \$100 = \$581,000$

$4,300 \text{ m}^2 \times \$100 = \$430,000$

$4,300 \text{ m}^2 \times \$1,150 = \$4,945,000$

$4,300 \text{ m}^2 \times \$1,150 = \$4,945,000$

$2,580 \text{ m}^2 \times \$200 = \$516,000$

$6,020 \text{ m}^2 \times \$100 = \$602,000$

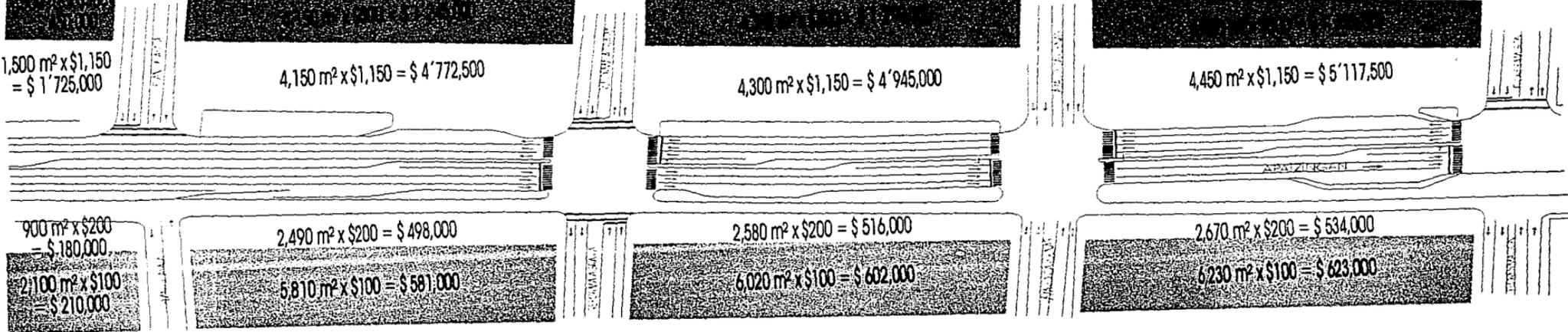
$4,450 \text{ m}^2 \times \$100 = \$445,000$

$4,450 \text{ m}^2 \times \$1,150 = \$5,117,500$

$4,450 \text{ m}^2 \times \$1,150 = \$5,117,500$

$2,670 \text{ m}^2 \times \$200 = \$534,000$

$6,230 \text{ m}^2 \times \$100 = \$623,000$



MAPA CON FALLA DE ORIGEN

$4,600 \text{ m}^2 \times \$100 = \$460,000$

$4,600 \text{ m}^2 \times \$100 = \$460,000$

$4,600 \text{ m}^2 \times \$1,150 = \$5,290,500$

$4,600 \text{ m}^2 \times \$1,150 = \$5,290,500$

$4,000 \text{ m}^2 \times \$1,150 = \$4,600,000$

$2,760 \text{ m}^2 \times \$200 = \$552,000$

$2,760 \text{ m}^2 \times \$200 = \$552,000$

$2,400 \text{ m}^2 \times \$200 = \$480,000$

$1,710 \text{ m}^2 \times \$200 = \$342,000$

$6,440 \text{ m}^2 \times \$100 = \$644,000$

$6,440 \text{ m}^2 \times \$100 = \$644,000$

$5,600 \text{ m}^2 \times \$100 = \$560,000$

$3,990 \text{ m}^2 \times \$100 = \$399,000$

5,650 m² x \$100 = \$ 565,000

5,650 m² x \$300 = \$ 1,695,000

5,650 m² x \$1,150 = \$ 6,497,500

3,120 m² x \$200 = \$ 624,000

7,280 m² x \$100 = \$ 728,000

CENTRO COMERCIAL SOGANA

PASADIZO CRISTALIZADO LA PINEA

2,730 m² x \$200 = \$ 546,000

6,370 m² x \$100 = \$ 637,000

1,455 m² x \$200 = \$ 291,000

1,400 m² x \$100 = \$ 140,000

1,000 m² x \$100 = \$ 100,000

1,000 m² x \$1,150 = \$ 1,150,000

1,000 m² x \$1,150 = \$ 1,150,000

TIPOLOGIA CON FALLA DE ORIGEN

VI.3.- COSTOS DE LOS DOS TIPOS DE PAVIMENTOS

Al realizar el análisis de costo de los dos tipos de pavimento (asfáltico e hidráulico), se tomaron en cuenta las mismas condiciones de apoyo en los dos casos, así como las mismas características del proyecto geométrico debido a que nuestro trabajo de tesis es otra alternativa de solución para el mismo proyecto.

Como se presentó en capítulos anteriores se realizaron dos diseños para el pavimento hidráulico ya que se contaba con dos diferentes aforos vehiculares, uno hecho por la empresa a cargo y el otro elaborado por nosotros, los detalles de estos aforos se encuentran en el capítulo 5, cada análisis arrojó como resultado diferente espesor de pavimento (17cm. y 20 cm.) para realizar nuestra comparación tomamos en cuenta el pavimento con espesor de 20 cm. ya que consideramos es el más adecuado para resistir las sollicitaciones en la vía.

Únicamente para hacer la comparación de costos se tomó en cuenta todos los conceptos que involucran la elaboración de cada uno de los pavimentos tales como: terracerías, materiales asfálticos, riego de impregnación, carpeta hidráulica, etc. Dejando de lado los otros conceptos que se involucran en la construcción de una obra: terraplenes, banquetas y guarniciones, obras de drenaje, alumbrado público, áreas verdes, señalamiento para vialidades y tránsito, etc.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE	ESTIMADO	IMPORTE TOTALES	
						ESTIMADO	REAL
PAVIMENTOS							
SUB-BASE Y BASE							
Sub-bases ó bases, por unidad de obra terminada.							
Sub-bases .							
Compacta al noventa y cinco por ciento (95%).							
Del banco "El panadero", ubicado en el camino a Ziracuaretiro desviación derecha de 150 m. (Grava-Arena negro volcánico).							
	4950	m3	109.6	542,668.50	10650.62	1,167,627.47	1,167,627.47
Sub-bases ó bases, por unidad de obra terminada.							
Bases.							
Compacta al noventa y cinco por ciento (95%).							
Del banco "El panadero", ubicado en el camino a Ziracuaretiro desviación derecha de 150 m. (Grava-Arena negro volcánico).							
	4950	m3	109.6	542,668.50	4145.06	454,422.93	454,422.93
MATERIALES ASFÁLTICOS							
Materiales asfálticos por unidad de obra terminada.							
Emulsiones asfálticas.							
Empleados en riegos.							
Emulsión asfáltica de rompimiento lento (RL) en impregnación.							
	45000	lts	2.15	96750	53063.22	114085.92	114085.92
RIEGO DE IMPREGNACIÓN							
Barrido de la superficie por tratar.							
	3	ha	1233	3700.29	3.54	4362.66	4362.66
CARPETA DE CONCRETO ASFÁLTICO							
Carpeta de concreto asfáltico, por unidad de obra terminada.							
Carpeta asfáltica, compactado al 95%, incluye riego de liga con emulsión asfáltica, T.M. Material pétreo 19mm. (3/4"), por unidad de obra terminada.							
De diez centímetros de espesor.							
	30000	m2	84.28	2,528,400	35375.48	2,981,445.45	2,981,445.45
RIEGO DE SELLO							
Riego de sello, por unidad de obra terminada.							
Riego de sello con emulsión de R.R. (1.5 l/m ²) y material pétreo 3E (con tamaño 1/4"-3/8") por unidad de obra terminada.							
	30000	m2	3.87	116,100	-	-	116100

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

99

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE	ESTIMADO	IMPORTES TOTALES	
						ESTIMADO	REAL
Trazo y nivelación	30000	m2	5.99	179700			179700
SUB-BASE							
Sub-bases ó bases, por unidad de obra terminada.							
Sub-bases .							
Compacta al noventa y cinco por ciento (95%).							
Del banco "El panadero", ubicado en el camino a Ziracuaretiro desviación derecha de 150 m. (Grava-Arena negro volcánico).	4950	m3	109.6	542,668.50	10650.62	1,167,627.47	1,167,627.47
PAVIMENTO							
Pavimento de concreto premezclado de resistencia a la compresión							
F'c = 300 Kg/cm2 revenimiento de 10cm, agregados grava triturada basalto y arena negra del banco de Paracho Mich. Incluye vibrado, curado, regleado y colocación de cimbra.	6000	m3	1050	6,300,000			6,300 00
Acero de Fy =4200 Kg/cm2 en juntas, para transmisión de esfuerzos entre las losas de concreto.	8.72	ton	5700	49704			49704

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Costo del pavimento hidráulico \$ 7'697,031

Costo del pavimento Asfáltico \$ 4'838,044

Diferencia \$ 2'858,987

Porcentaje de incremento 60%

CAPITULO VII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

**TRABAJO CON
FALLA DE ORIGEN**

Al terminar el trabajo de tesis hemos observado que algunas propuestas dadas por la empresa contratada para llevar a cabo el proyecto de la vía "Ampliación Paseo de la Revolución", ESMART, a nuestro parecer pudieran ser modificadas para un resultado mejor y más representativo de la zona.

Por lo dicho anteriormente, ya en el desarrollo de nuestra tesis se llevaron a cabo las modificaciones necesarias, cabe mencionar que nuestro trabajo tomó como base los estudios y pruebas realizadas por la empresa; algunas de las modificaciones se comentaran a continuación:

- Primeramente notamos que la empresa realizó un aforo vehicular con duración solamente de una hora y se llevó a cabo entre las calles Blvd. Paseo de la Revolución y Ricardo Flores Magón.

Un aforo vehicular representativo no puede llevarse a cabo solamente una hora al día ya que existen diferentes horas pico al día y diferentes días con mayor tránsito vehicular.

La empresa utilizó para obtener el TDPA unos porcentajes que propone la SCT para vías urbanas y suburbanas que varían del 8% al 16% para cuando no se cuenten con aforos de duración de 24 horas.

Lo correcto en este caso es realizar aforos durante varias horas al día y en diferentes días de la semana para así obtener un aforo realmente ilustrativo de la vialidad del tramo.

- Observamos también que la ubicación elegida para realizar el aforo vehicular fue la inadecuada ya que al ser esta una intersección en T, solamente cuenta con una salida de los vehículos en una sola dirección. Sabemos que en la vía existen intersecciones con mayor volumen de tránsito y no son intersecciones en T, tal es el caso del cruce entre las calles Plan de San Luis y Blvd. Paseo de la Revolución el cual tomamos para realizar nuestro aforo.

- Para el diseño del pavimento flexible la empresa utilizó el método de la UNAM, el cual una de sus ventajas es que nos permite utilizar los valores de VRS para cada capa que comprende la estructura del pavimento, y así se va determinado el espesor de cada una.

La empresa únicamente determinó los valores de VRS para el terreno natural, el cual es del orden del 7.3%, con este valor y con la grafica del tránsito equivalente propuso un espesor de 52.0 cm, el cual lo distribuyó en varias capas en base a las

recomendaciones que emite la S.C.T., la cual norma los espesores mínimos para cada una de las capas que conformarán la estructura del pavimento.

Sabemos que la forma adecuada de realizar el cálculo del pavimento flexible, basándonos en lo que dice el método de la UNAM, es que se deben determinar los valores de VRS para cada capa y así poder obtener el espesor necesario que requiere cada componente del pavimento (subrasante, sub-base, base).

Debido a que no se contaba con los valores de VRS de la subrasante, como se mencionó anteriormente, se ha decidido, dejar el mínimo recomendado por las especificaciones de la SCT para materiales que se pretendan usar en carreteras y también para que dicho valor nos dé como resultado un espesor que pueda ser comparativo con el del diseño del pavimento flexible, por lo cual $VRS = 20\%$.

- Como mencionamos anteriormente realizamos un aforo entre las calles Blvd. Paseo de la revolución y Plan de San Luis, dicho aforo se elaboro durante varios días y en las horas pico de cada uno, debido a que este crucero contaba con mayor volumen de tránsito pesado nos arrojó una mayor distribución vehicular, el cual dio como resultado un incremento en el espesor del pavimento, basándonos en este para realizar la comparación de costos, ya que creemos que es más representativo de la vía.

- En cuanto al análisis de costos de los pavimentos estudiados, se observó un incremento del 60% del pavimento hidráulico contra el asfáltico, a pesar de este aumento en la inversión inicial creemos que la mejor opción es el concreto hidráulico, ya que no requiere de ningún tipo de mantenimiento durante la vida útil para el que está diseñado, a diferencia del pavimento asfáltico que requiere de un constante mantenimiento el cual a largo plazo excede del costo del pavimento rígido. Otra causa del mantenimiento del pavimento asfáltico es que se incrementa su espesor lo cual origina disminución en el peralte de las guarniciones ocasionando encharcamientos sobre la vía y con esto mayor deterioro de la superficie.

A continuación se presenta algunas de las ventajas que observamos y que justifican la construcción del pavimento hidráulico en la vía "Ampliación Paseo de la Revolución":

ECONOMÍA

CONCRETO HIDRÁULICO

Vs

ASFALTO

Su costo inicial es moderado para diseños iguales.

El costo fluctúa de acuerdo con el precio del petróleo.

Requiere de poco mantenimiento.

Mantenimiento continuo; reparaciones costosas.

Requiere menos consumo de energía para

Los costos de iluminación son más

CON
FALLA DE ORIGEN

la iluminación por requerir especificaciones para alumbrado menores.

Costo menor a mediano plazo ya que no se requiere de mantenimiento permanente.

Se reduce el mantenimiento del vehículo.

elevados ya que se requiere de mayor alumbrado.

Costo inicial posiblemente menor pero requiere de mayor mantenimiento.

Los surcos o baches dañan los vehículos.

SERVICIO

CONCRETO HIDRÁULICO

Vs

ASFALTO

Su comportamiento es duradero.

Puede ser diseñado para resistir ataques de substancias químicas, aceites y el intemperismo.

Soporta mayores volúmenes de tránsito pesado sin dañarlo.

No le afecta el calor, no se vuelve viscoso o fluido.

Tiene mejor comportamiento en áreas donde son comunes cargas pesadas con paradas y arranques continuos.

Duración en servicio limitado, requiere de mantenimiento continuo.

Lo afectan aceites, químicos y el clima.

Los vehículos pesados lo dañan.

El calor le causa viscosidad, pérdida de material y superficie irregular.

Comúnmente falla en áreas difíciles

MANTENIMIENTO

CONCRETO HIDRÁULICO

Vs

ASFALTO

Costo anual bajo; no requiere presupuesto adicional para mantenimiento.

Requiere poco servicio de limpieza y puede lavarse.

El mantenimiento puede hacerse uniformemente, nitidamente y con mayor facilidad.

Requiere de sellado, bacheado y rellenado rutinario.

Requiere barrerse, las depresiones acumulan basura.

Mantenimiento irregular, requiere selladores de asfalto líquido.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Requiere de menos equipo y mano de obra especializada.

Requiere más equipo y mano de obra.

CONSTRUCCIÓN

CONCRETO HIDRÁULICO

Vs

ASFALTO

La construcción de la obra se lleva a cabo rápidamente.

Sistema de construcción a base de capas múltiples.

Hay plantas de premezclado en la mayoría de las poblaciones.

No hay plantas de asfalto en todas partes; puede haber demoras.

La construcción es más fácil, sencillamente se coloca y detalla.

Muchas etapas en el periodo de construcción.

Se coloca en cualquier clima.

Es preferible colocarse en clima caliente.

Sólo es necesario equipo sencillo.

Requiere de maquinaria especial y costosa.

SEGURIDAD

CONCRETO HIDRÁULICO

Vs

ASFALTO

Excelente reflexión de la luz, requiere menor iluminación, se logra mejor visibilidad a mayor distancia.

La poca reflexión del asfalto hace que se requiera mayor iluminación.

Tiene mayor resistencia a los derrapes.

Cuando está mojado es más resbaloso.

El escurrimiento evita el deslizamiento.

Los surcos retienen agua.

Superficie uniforme, mejor textura.

La superficie y los baches lo hacen más riesgoso.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

BIBLIOGRAFÍA

Referencia

- 1.- Alfonso Rico y Hermillo del castillo
La ingeniería de suelos en las vías terrestres, tomos 1y2
Ed. Limusa
México,1976.
- 2.- Álvaro Terrazas S.
Pruebas de laboratorio de Mecánica de suelos
Tesis Profesional
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 1996.
- 3.- Apuntes de la materia de pavimentos II
Facultad de Ingeniería Civil
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 1994
- 4.- Crespo Villalaz Carlos
Vías de comunicación
Ed. Limusa.
- 5.- Diseño de pavimentos rígidos
IMCYC
México. 2001
- 6.- Estudios realizados por la empresa SMART
Proyectos y planos, Tomo 2
La piedad, Mich.,; 2000
- 7.- José Alfonso Mier Suárez
Introducción a la Ingeniería de caminos
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 1987.
- 8.- Juárez Badillo y Rico Rodríguez.
Mecánica de suelos, tomo 2
Ed. Limusa
México,1978.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- 9.- Laboratorio de Ingeniería y control de calidad, S.A. de C.V.
Control de materiales en obras civiles, estudios de mecánica de suelos y geotécnia
Irapuato, Gto.; 2000
10. - Mecánica de suelos, Instructivo para ensaye de suelos
IMTA, (Instituto Mexicano de Tecnología del agua)
México, 1990.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN