

UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.

Incorporación No. 8727 - 15

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

Escuela de Ingeniería Civil

DISEÑO DEL PAVIMENTO EN LA CALLE DELICIAS Y SU CONEXIÓN CON AV. LATINOAMERICANA, EN LA CIUDAD DE URUAPAN, MICHOACÁN.

Tesis

que para obtener el título de

Ingeniero Civil

Presentan:

Raymundo Ávila Hernández

Julián Eduardo Castillo Cázares

Asesor: I.C. José Antonio Sánchez Corza

Uruapan, Michoacán, a 27 de Enero del 2015.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

ÍNDICE.

Introducción.

Antecedentes	1
Planteamiento del problema.	4
Objetivo.	5
Pregunta de investigación.. . . .	6
Justificación.	7
Marco de referencia.	9

Capítulo 1.- Ingeniería de tránsito.

1.1. Elementos de la ingeniería de tránsito usados para el proyecto	10
1.1.1. Problemas de tránsito	11
1.1.2. Soluciones al problema del tránsito	11
1.1.3. Elementos del tránsito	13
1.2. Velocidad	16
1.2.1. Velocidad del proyecto	17
1.2.2. Velocidad de operación	18
1.2.3. Velocidad de punto	19

1.2.4. Velocidad efectiva.	20
1.3. Volumen de tránsito.	21
1.3.1. Conteos de tránsito.. . . .	21
1.3.2. Estudios de origen y destino.	24
1.4. Densidad de tránsito.	26
1.5. Capacidad y nivel de servicio.	27
1.5.1. Capacidad para condiciones de circulación continúa.	29
1.5.2. Factores que afectan la capacidad y el volumen de servicio.	31
1.6. Distancia de visibilidad.	31
1.6.1. Distancia de visibilidad de parada.	31
1.6.2. Distancia de visibilidad de rebase.	33

Capítulo 2.- Pavimentos.

2.1. Concepto de pavimento.	36
2.2. Generalidades de los pavimentos	37
2.3. Clasificación de los pavimentos.	38
2.3.1. Pavimentos flexibles.	40

2.3.1.1. Concreto asfáltico.	50
2.3.1.2. Asfaltos.	50
2.3.1.3. Emulsiones asfálticas.	51
2.3.1.4. Drenaje de pavimentos flexibles.	52
2.3.1.5. Deterioro del pavimento.	54
2.3.2. Pavimentos rígidos.	55
2.3.2.1. Elementos de un pavimento rígido.	57
2.3.2.2. Cortes de juntas.	60
2.3.2.3. Sello de juntas.	61
2.4. Métodos de diseño.	62
2.4.1. Método ASSHTO.	62
2.4.2. Método de la UNAM.	64

Capítulo 3.- Resumen de macro y micro localización.

3.1. Generalidades.	66
3.2. Alcance del proyecto.	68
3.3. Entorno geográfico.	68

3.4. Macro y micro localización.	69
3.4.1. Micro localización.	70
3.4.1. Micro localización.	72
3.5. Clima e hidrología.	74
3.6 Economía dentro del alcance de la zona.	75
3.7. Topografía.	75
3.8. Estado físico y reporte fotográfico de la zona.	76
3.9. Alternativas de solución.	81

Capítulo 4.- Metodología

4.1. Método empleado.	82
4.2. Enfoque de la investigación.	84
4.2.1. Alcance de la investigación.	86
4.2.2. Diseño de la investigación.	87
4.3. Instrumentos de recopilación de información.	88
4.4. Descripción del proceso de investigación.	90

Capítulo 5.- Análisis e interpretación de resultados

5.1. Tipo de suelo.	91
5.2 Diseño de pavimento de concreto hidráulico.	100
5.2.1. Estructura de pavimento.	108
5.3. Interpretación global de resultados.	108
Conclusiones.	110
Bibliografía..	114

INTRODUCCIÓN.

Antecedentes.

El desarrollo de infraestructura vial se ha llevado a cabo con el objetivo de poder tener mejores vialidades para el transporte de la comunidad, pero cada vez más con la necesidad de poder recortar tiempos de traslado de un punto a otro.

La necesidad de acortar tiempos de traslado ha ido creciendo desde los tiempos antiguos, pues el hombre, en la medida que ha ido evolucionando se ha visto en la necesidad de tener que transportarse más rápida y eficazmente, haciendo caminos los cuales con el paso del tiempo se fueron mejorando; aunado a esto, también se ha visto en la necesidad de tener sistemas de transporte más efectivos, en los cuales se logre transportar a más de una persona y, por otro lado, poder transportar gran cantidad de mercancías en tanto fuera necesario hacerlo.

Con la evolución de los sistemas de transporte en vías terrestres ha llevado a que el desarrollo de vías urbanas tengan una mejor organización y mejor planeación considerando así el volumen de tráfico que transita por dicho lugar; esto también tiene que ver, en cómo se ha llevado a cabo el desarrollo urbano desde sus inicios y la manera en que se han proyectado los alineamientos para el desarrollo de calles y avenidas.

En la actualidad, las carreteras o caminos han evolucionado de manera sorprendente, al igual que lo han hecho las localidades urbanas, refiriéndonos claramente a puentes y pavimentos. De acuerdo con Olivera (2006) “se le denomina pavimento al conjunto de capas de materiales seleccionados que reciben en forma

directa las cargas de tránsito y así las transmiten adecuadamente distribuidas a las capas inferiores”.

En cuanto a vías terrestres se refiere, una conexión es la manera en la que se puede unir dos puntos mediante la implementación de recursos como, pavimentos, en este caso, un puente que se requiere para poder comunicar la calle Delicias con Av. Latinoamericana; conexión es “un enlace, atadura, trabazón, concatenación de una cosa con otra” (www.significadode.org, 2012).

En cuanto al diseño de pavimentos y temas sobre Ingeniería Vial, en la biblioteca de la Universidad Don Vasco A.C., se localizan las siguientes investigaciones, la tesis Restructuración vial de la zona urbana de Uruapan y sistema piloto de estacionamientos, por Alejandro Mier Castillo, 1996, la cual tiene como objetivo en común con la presente tesis, el agilizar el flujo vehicular en las principales vialidades de la ciudad, aumentar la seguridad tanto para automovilistas como para los peatones que transitan por ella y el mejorar la calidad de vida de la población en la zona urbana; también se encuentra el trabajo de Comparativo entre el Diseño de Pavimento Asfáltico e Hidráulico para el Proyecto Boulevard Paseo de la Revolución en Uruapan, Michoacán, elaborada por Cesar Ignacio Madrigal Alarcón, 2003, en donde su propósito es presentar una solución alterna al proyecto elaborado para la ampliación de la vía urbana Paseo de la Revolución, la cual consta de un pavimento de tipo hidráulico presentando en dicho proyecto ventajas y desventajas que tendría el usar este tipo de pavimento llegándose a la conclusión de que, el costo inicial de un pavimento rígido es más elevado que el de un pavimento flexible, pero, una de las mayores ventajas de los pavimentos rígidos es que tienen un bajo costo en cuanto a

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

Planteamiento del problema.

Actualmente en el municipio de Uruapan, Michoacán se encuentra en constante crecimiento llegando a él, la inversión tanto privada como nacional; pero también el crecimiento desmedido que ha tenido la ciudad de Uruapan se ve reflejado tanto en el área poblacional que ha llegado a ocupar como en la insuficiencia de vialidades que logren abastecer la gran cantidad de vehículos que transitan actualmente por la ciudad. Es por ello que cada vez se cuentan con zonas estratégicas en donde el congestionamiento vial se va incrementando y se requiere de la adecuación de vialidades que permitan un flujo mayor de vehículos. Las vialidades que se tienen actualmente en la ciudad de Uruapan, Michoacán se han visto superadas en cuanto al volumen de tránsito para el que fueron proyectadas. En la zona centro de la ciudad se cuenta con el río Cupatitzio el cual hace su afloramiento en el manantial de la Rodilla del Diablo dividiendo a la ciudad de la zona centro con las zonas sur y poniente por lo que se ha requerido de infraestructura, llamémosle puentes, siendo estos insuficientes en la actualidad para desahogar el tráfico vehicular.

Ahora bien, para evitar embotellamientos en esta parte de la ciudad es necesario ejecutar un proyecto de infraestructura en cual permita seguir conectando y mejorando las vialidades de las zonas en cuestión. Después de considerar los factores antes mencionados, la cuestión ante todo esto es ¿cómo proyectar un buen diseño de vialidades y cuál es la mejor manera para poder conectar la calle Delicias con Av. Latinoamericana que se encuentra ubicada en una zona clave?

Objetivos.

Objetivo general.

Diseñar las capas del pavimento de la calle Delicias y conectar a esta con la Av. Latinoamericana mediante un puente para evitar el congestionamiento vial en la calle 2da. Privada de Diagonal de Aldama.

Objetivos particulares.

1. Señalar las capas correctas que se deben de colocar en el pavimento.
2. Manejar la forma adecuada de conectar la calle Delicias con la Av. Latinoamericana.
3. Comparar la situación actual de la vialidad con la situación del proyecto a futuro.
4. Evaluar las vialidades de la zona con las cuales la población se vería beneficiada.
5. Presentar el proyecto más viable para que tanto usuarios como población local obtengan un beneficio.
6. Mencionar los posibles inconvenientes que se pueden presentar al ejecutar el proyecto.

Pregunta de investigación.

Con el presente proyecto nace la siguiente cuestión:

¿Cuál es el proyecto más favorable para desahogar el tráfico de esta zona, la mejor forma de diseñar un buen pavimento para la calle Delicias y la manera más óptima de comunicar a esta con la Av. Latinoamericana en la Ciudad de Uruapan, Michoacán?

Justificación.

En el presente trabajo se busca realizar un proyecto capaz para desahogar el tráfico incluyendo la pavimentación de tipo rígido de la calle Delicias para así poder conectar con Av. Latinoamericana por lo que para poder llevar a cabo la investigación se tienen que ver las condiciones existentes tanto de vialidades como las condiciones de tráfico que se tienen en el lugar.

La finalidad del proyecto es resolver el cuello de botella que se genera en la calle 2da. Privada de Diagonal de Aldama creando una alternativa vial más en la ciudad para poder viajar de este a poniente y viceversa. Beneficiándose así la ciudad de Uruapan y sus habitantes lo cuales circulan por esta transitada vialidad, trasladándose en un tiempo menor, y que así los usuarios poder aprovechar más su tiempo ya sea en horarios de trabajo, descanso o según sea el caso.

Este trabajo es importante porque propicia el desarrollo económico de la población, creando empleos directa e indirectamente y sobre todo previniendo la delincuencia de todo tipo en la calle Delicias, ya que al darle las adecuaciones necesarias los delincuentes ya no se harían tan presentes, y los peatones podrían transitar libremente.

De las tesis se beneficia principalmente estudiantes que deseen consultar sobre temas relacionados con la Ingeniería Vial y con los pavimentos, y que quieran incursionar en la mejor planeación para el desarrollo del presente proyecto. La Universidad Don Vasco también será una de las principales instituciones beneficiadas ya que el campo de investigación en este ramo se ampliara de forma

positiva. Por último, se ven beneficiados los autores de este trabajo de investigación ampliando su conocimiento y experiencia en el área de las Vías Terrestres.

Marco de referencia.

El presente trabajo se realizó en la ciudad de Uruapan, Michoacán, que de acuerdo con el INEGI, se encuentra delimitada por las poblaciones de Los Reyes, Charapan, Paracho, Nahuatzen, Tingambato, Ziracuaretiro, Taretan, Nuevo Urecho, Parácuaro, Nuevo Parangaricutiro, Tancítaro y Peribán. La ciudad cuenta con una extensión territorial de 954.17 km² y una población aproximada de 315,329 habitantes, se encuentra a 1620 de altitud con respecto al nivel del mar, está ubicada a 19°25'10" norte y 102°03'30" oeste, sus principales cerros son el de La Cruz, Charanda y Jicalán, su principal río el Cupatitzio que es el que abastece de agua a la mayor parte de la ciudad, las principales actividades son el cultivo de aguacate, caña de azúcar, maíz, durazno, café, guayaba y algunas hortalizas como son el jitomate, chile y calabaza, además se tiene la cría de ganado bovino, porcino, caprino y equino.

El tramo carretero específico de este estudio se encuentra localizado en la Calle Delicias donde colindan las colonias de La Tamacua y Casa del Niño, el cual cuenta con una longitud de 560 m y conecta a la zona centro de la ciudad con la zona rosa y viviendas; durante el transcurso del recorrido de la calle se podrá observar a una orilla el Rio Cupatitzio, el camino esta principalmente conformado en su mayoría por una terracería sobre la cual se desplantara la estructura de pavimento.

CAPÍTULO 1

INGENIERÍA DE TRÁNSITO.

En el presente capítulo se abordarán los temas relacionados con la ingeniería de tránsito así como elementos de la ingeniería usados para el proyecto, los problemas que se presentan, soluciones a dichos problemas, las velocidades de diseño entre otros.

1.1. Elementos de la ingeniería de tránsito usados para el proyecto.

Para entender el concepto de ingeniería de tránsito hay que considerar que “es una de las ramas más importantes para la ingeniería y se dedica al estudio del movimiento de las personas, de los vehículos en las calles y los caminos, con el propósito de hacerlo más rápido, seguro, libre y eficaz”. (Mier, 1987:21). Conforme a la definición anterior, se debe de tener en cuenta todos los factores que intervengan tanto en el diseño como en la operación de una vialidad, es por esto que se debe de considerar una buena planeación no sólo para un periodo a corto plazo, sino que se deben de proyectar vialidades las cuales tengan la capacidad de poder sustentar las necesidades presentes y futuras que se puedan presentar.

1.1.1. Problemas de tránsito.

Muchos de los caminos que existen en la ciudades fueron diseñados para cierta dimensión de los carruajes o los primeros automóviles autopropulsados por un motor, por lo que a medida que ha transcurrido el tiempo ha ido evolucionando la forma de transporte y con ello incrementando las necesidades de dimensionamientos más grandes, medidas de seguridad peatonales, velocidades de proyecto diferentes, etc. Es por lo anterior que se han tenido que modificar y adecuar las vialidades en estas ciudades antiguas adaptándose a las condiciones que tienen las calles existentes.

El crecimiento de la tecnología ha impulsado el desarrollo en nuevos modelos en los automóviles por lo que se requiere de una solución de tránsito para poder abastecer la circulación de los usuarios ya que en las vialidades circulan varios tipos de vehículos teniendo en cuenta desde los automóviles pequeños hasta los camiones pesados. La falta de educación vial y reglamentos en el pasado han hecho que actualmente todos los factores antes mencionados se combinen para generar problemas de tráfico en calles y avenidas.

1.1.2. Soluciones al problema de tránsito.

Para solucionar el problema de tránsito, según Mier (1987) se cuenta con tres tipos de soluciones que son:

- Solución parcial con un alto costo: El objetivo de esta solución es modificar las vialidades existentes en una ciudad que ya las tiene distribuidas y ubicadas. Consiste en hacer inversiones con un alto capital, con las que se realizarían construcciones, rehabilitaciones y adecuaciones de vialidades y/o espacios públicos. Introducir nuevas tecnologías teniendo como ejemplo la automatización de dispositivos para el control de tráfico, ya sea en la vía pública como en los organismos operadores de tránsito.
- Solución parcial con un bajo costo: Trata de aprovechar todas las obras que ya existen invirtiendo lo mínimo necesario en cuestiones financieras y haciendo una reestructuración para el tránsito. Los reglamentos existentes se deben de adaptar a las condiciones actuales en ese momento, pues al momento en que fue estructurado, se tomaron las condiciones de la fecha en que fue elaborado. Otro aspecto a considerar para esta solución es la educación vial creando campañas de concientización, talleres de señalamiento de tránsito, pruebas de manejo en práctica, etc.
- Solución integral: Este tipo de solución se basa específicamente en las necesidades actuales y a futuro para ciudades nuevas que cuentan o contarían con tránsito de vehículos modernos permitiendo el traslado de un punto a otro en tiempo mucho más cortos. Cabe señalar que esta solución no es viable para ciudades ya existentes, y que ya tengan sus trazos de calles establecidos, en otras palabras, las dimensiones de dichas ya no pueden ser modificadas para la circulación de otro tipo de tránsito.

1.1.3. Elementos de tránsito.

Los elementos de tránsito que se deben considerar para poder diseñar una vialidad, de acuerdo con el autor antes mencionado, son los siguientes: el usuario, el vehículo y la vialidad o vía describiéndose de la siguiente manera:

Usuario: Es importante tener en cuenta el comportamiento del usuario para el diseño de un sistema de transporte automotor. El usuario está relacionado con los peatones y conductores, que son los elementos principales a ser estudiados para mantener el orden y seguridad de las calles y carreteras.

El peatón es considerado a toda la población en general; son todas aquellas personas desde un año hasta cien años de edad. En la mayoría de los casos las calles y carreteras son compartidas por los peatones y vehículos, exceptuando las Autopistas donde el tráfico de los peatones está prohibido. Los accidentes sufridos por peatones se deben a que no respetan las zonas destinadas a ellos, ya sea por falta de conocimiento u otro factor. Por lo tanto se deberá estudiar al peatón no solamente por ser víctima, sino porque también es una de las causas, para la cual es necesario conocer las características del movimiento de los peatones y la influencia que tienen ciertas características como ser la edad, sexo, motivo de recorrido, etc.

El conductor es el elemento de tránsito más importante, ya que el movimiento y calidad de circulación de los vehículos dependerá fundamentalmente de los conductores para adaptarse a las características de la carretera y de la circulación. Para el estudio de los conductores es necesario conocer el comportamiento o

factores que influyen en sus condiciones físicas y mentales, sus conocimientos en el entorno, su estado de ánimo, etc., según señala Mier (1987).

Vehículo: en base a estudios realizados se llegó a establecer valores promedio para la ocupación de vehículos teniendo como unidad de medida a las personas que utilizan este medio de transporte, teniendo así que en vehículos ligeros se tiene un promedio de 2.9 personas por automóvil y en sistemas de transporte de mayores (autobuses) un promedio de 24 pasajeros por unidad.

Debido a que hay una gran variedad de vehículos es imposible hacer vías para cada uno de estos, es por eso que se toma un promedio de medidas previendo el funcionamiento del camino para un tiempo futuro ya que se considera que el automóvil es y seguirá siendo durante mecho tiempo en medio de transporte más importante para las vías terrestres.

Vía (camino): Se puede definir como “la adaptación de una faja sobre la superficie terrestre que tiene las condiciones de ancho, alineamiento y pendiente para permitir el rodamiento adecuado de los vehículos para los cuales ha sido adaptada”. (Crespo; 1996: 1)

Según Crespo (1996) los caminos se clasifican de tres formas: por transitabilidad, por su aspecto administrativo y por su técnica oficial.

Por transitabilidad, tomando en cuenta que este tipo de clasificación es parte del proceso de construcción de la carretera y se divide en tres:

1. Terracerías: esta superficie de rodamiento no tiene material de mejoramiento por lo que no es transitable todo el año, por lo que generalmente es transitada en tiempos sin lluvias.
2. Revestida: por lo general es transitable todo el año ya que la superficie de rodamiento se encuentra mejorada con un material granular que permite la conservación del camino.
3. Pavimentado: es un camino que cuenta con toda su estructura adecuada, que incluye las capas de mejoramiento y con una superficie de rodamiento lisa la cual puede componerse de un pavimento rígido o un pavimento flexible.

Por administración:

1. Federales: éstas carreteras son realizadas por la federación y la cual se encarga de la operación y mantenimiento de este tipo de vías.
2. Estatales: dichas carreteras son construidas por el Estado y en Gobierno Federal aportando cada parte un porcentaje del costo total de la obra; quedando a cargo de la operación y mantenimiento la Junta Local de Caminos.
3. Vecinales: construidos con objetivos particulares de una zona, por lo general vecinos que se benefician con este tipo de caminos, también hay aportación por parte del Gobierno Federal y Estatal quedando a cargo de ellos la Junta Local de Caminos.
4. De cuota: son las carreteras que realiza una dependencia de gobierno y que para recuperar la inversión de dicha obra se cobra una cuota de peaje.

5. Concesionadas: son las que el gobierno concesiona para que las construyan particulares (inversión privada) dándoles el cargo a éstos para que puedan recuperar su inversión y utilidades.

Por técnica oficial. Este tipo de clasificación no es útil para poder diseñar las capacidades que tendrá un camino en lo que se refiere al proyecto geométrico.

1. Tipo especial: en este tipo de carretera se considera un Promedio Diario Anual de vehículos superior a los 3,000 vehículos (Tránsito Horario de 360 o aún más vehículos por hora).
2. Tipo A: cuentan con un Tránsito Promedio Diario Anual de entre los 1,500 y 3,000 vehículos (Tránsito Horario de 180 a 360 vehículos por hora).
3. Tipo B: los que soportan un Tránsito Promedio Diario Anual de 500 a 1,500 vehículos (Tránsito Horario de 60 a 180 vehículos por hora).
4. Tipo C: para un Tránsito Promedio Diario Anual de 50 a 500 vehículos (Tránsito Horario de 6 a 60 vehículos por hora).

1.2. Velocidad.

Como lo cita Mier (1987), la velocidad es una distancia relacionada con el tiempo en que se recorre tal trayecto, que para el caso de la Ingeniería Vial es un tramo de carretera entre el tiempo que se tarda en llegar de un punto a otro del camino en cuestión. Así pues, el factor velocidad es esencial para diseñar una carretera ya que de ello dependerá el tiempo de traslado entre dos puntos y claro, siempre se escogerán velocidades que no estén excedidas ya que la principal

prioridad en el diseño de una estructura de este tipo es salvaguardar las vidas humanas así como darles una seguridad adecuada cuando viajen por la carretera.

$$V = d/t$$

Dónde:

V= Velocidad; medida en unidad de longitud entre unidad de tiempo.

d= Distancia; en unidades de longitud.

t= Tiempo; en unidades de tiempo.

Para el diseño de carreteras hay cuatro tipos de velocidad: la de proyecto, la de operación, de punto y la efectiva que a continuación se presentan.

1.2.1. Velocidad del proyecto.

“Es la máxima velocidad sostenida que ofrece seguridad en un tramo a lo largo de un camino y que gobierna las características de proyecto del mismo” (Mier, 1987: 39). De acuerdo con dicho autor, la condiciones geométricas de la carretera quedarán regidas por la velocidad de proyecto que se escogió y por tanto el proyecto quedará equilibrado.

Algunas de las condiciones que limitan a la velocidad de proyecto son el tipo de topografía con que se cuenta en el lugar, la solvencia económica para la magnitud de la obra, el tipo de tránsito que circula en la vía en el presente y en el futuro. Otro factor, que si bien no se refleja en el proyecto geométrico pero si es representativo,

es la ubicación del camino; que puede ser en zonas rurales donde hay más posibilidades de dimensionamientos en mayor o menor magnitud y regiones urbanas donde el dimensionamiento condiciona a tomar velocidades de proyecto más bajas.

Conforme a estudios realizados y avalados por la Secretaría de Obras Públicas, se llegó a conclusiones conforme a las velocidades de proyecto recomendadas que oscilan entre los 30 y los 110 kilómetros por hora que dependen del tipo de camino. Teniendo esto como referencia, las velocidades que se utilizan para las zonas urbanas tienen velocidades bajas de proyecto como lo describe Mier (1987).

Siguiendo con el autor antes mencionado, las carreteras son proyectadas con una vida útil de 15 a 20 años, pero en la realidad conforme van surgiendo las necesidades se tienen que hacer modificaciones en la geometría del camino pero teniendo en consideración que esto implica costos altos.

1.2.2. Velocidad de operación.

Si bien la velocidad de proyecto sirve para el proyecto del camino, no siempre los vehículos circulan a tal velocidad es por ello que se analiza la velocidad real a la que transitan los vehículos llamada velocidad de operación y que indica la eficiencia del camino. Esta velocidad “se define como la velocidad mantenida en un tramo a lo largo de un camino mientras el vehículo está en movimiento”. (Mier; 1987: 41)

Las velocidades de operación y de proyecto se ven afectadas por el tránsito ya que entre más volumen haya en el camino el diseño se ve severamente afectado por este motivo al tener valores muy bajos pero si es inverso a esto, es decir, que el volumen de tránsito entre más bajo sea las velocidades de proyecto y operación serán muy semejantes habiendo librándose de un congestionamiento.

Así mismo cita Mier (1987), la capacidad de un camino es la limitante para la velocidad de operación y a la vez ésta condiciona a la velocidad de proyecto. Esto es a causa de que si se llegase a un volumen de tránsito extraordinario la velocidad a la que circulen los vehículos será con un valor cercano al cero provocando un “embotellamiento”. Entonces, para que un camino funcione satisfactoriamente se debe tratar de que la velocidad de operación esté ligada con un volumen de tránsito bajo para que se produzca una vialidad fluida.

1.2.3. Velocidad de punto.

La velocidad de proyecto y la de punto son muy semejantes y las dos pueden servir para deducir las condiciones de operación. La velocidad de punto se puede tomar como la de operación en casos donde los tramos de camino son cortos y cuando es en tramos largos se toma un promedio de medidas en varios puntos del tramo para tomarla como velocidad de operación. Con lo que se puede definir la velocidad de punto como “la que lleva un vehículo cuando pasa por un punto dado de un camino” (Mier; 1987: 42). Haciendo este comparativo se tienen valores ya establecidos conforme a los estudios que no arrojan los datos de la tabla 1.1.

VELOCIDAD DE PROYECTO (km/hr)	VELOCIDAD DE OPERACIÓN (km/hr).		
	VOLUMEN DE TRÁNSITO.		
	ALTO	MEDIO	BAJO
25	22	23	24
30	26	27	28
40	34	35	37
50	42	44	46
60	48	51	55
70	53	59	63
80	57	66	71
90	59	73	79
100	60	79	86
110	61	85	92

Tabla 1.1 Velocidad de operación para diferentes velocidades de proyecto.

(Fuente: *Introducción a la Ingeniería de Caminos; Mier: 1987*).

De acuerdo con Mier (1987), la velocidad de punto es medida mediante un Enoscópio que consiste en colocarlo en cierto punto del tramo y antes de ese punto colocar a un observador con un cronómetro para cuando pase el vehículo por la marca donde esta lo registra. Posteriormente a 50 metros lo registra el Enoscópio llegando a la siguiente expresión de cálculo:

$$V(km/hr) = \frac{180}{t(seg)}$$

1.2.4. Velocidad efectiva.

La velocidad efectiva “es el promedio de la velocidad mantenida por un vehículo a lo largo del camino” (Mier; 1987: 44). Se toman en cuenta todas las mediciones incluyendo valores altos y bajos que se producen por las diferentes

condiciones del camino. La finalidad de sacar la velocidad efectiva de un camino que se producen a causa de cambios pequeños o significativos en dicho camino.

1.3. Volumen de tránsito.

Partiendo de lo dicho con Crespo (1996), el volumen de tránsito se rige por los vehículos que pasan por el camino pero que lo hacen en una dirección y en un solo sentido tomando en cuenta el tiempo en que se realice el conteo que por lo general son en días u horas.

Un factor que permite determinar este volumen es el Tránsito Promedio Diario (T.P.D.) que es el promedio de dichos volúmenes que circulan en un periodo de tiempo que por lo general es un año y que son realizadas durante las 24 horas. Con el Tránsito Promedio Diario se puede especificar la utilización del camino determinando las características geométricas utilizando los volúmenes horarios máximos que en México se utiliza el 12% del Tránsito Promedio Diario.

1.3.1. Conteos de tránsito.

De acuerdo con Mier (1987), los volúmenes de tránsito pueden obtenerse de los datos estadísticos o pueden ser tomados directamente mediante conteos de tránsito. Los conteos de tránsito se pueden efectuar en forma manual o de manera mecánica describiéndose así de la siguiente manera:

Conteo manual: La forma más económica y sencilla de realizar el conteo manual es el llamado de muestreos. Por lo regular los muestreos se ejecutan en un periodo corto de tiempo que va de 5 a 10 días continuos, procurando que queden incluidos en este conteo: en el primer caso un fin de semana y en el segundo, sábado, dos domingos y dos lunes. La duración de los muestreos es conveniente que sea de 24 horas diariamente en el primer caso, y en el segundo caso de 24 horas al día durante los primeros 5 días y de las 7 a.m. a las 19 horas durante los días restantes.

Los muestreos son considerados del tipo de conteo imperfecto, ya que se tienen variaciones de tránsito con las diversas estaciones, con los meses del año, con obras ocasionales de cierta importancia, etcétera. Según Mier (1987), para fines del conteo manual, los vehículos se clasifican de la siguiente manera:

Vehículos ligeros (menos de 2.5 Ton.)	A	Automóviles, pick ups, panel, camiones ligeros, etc.
Vehículos pesados (más de 2.5 Ton.)	B	Camiones
	C	Autobuses

Tabla 1.2 Clasificación de vehículos para conteo manual.

(Fuente: *Introducción a la Ingeniería de Caminos; Mier: 1987*).

Conteo mecánico: El conteo de los vehículos se realiza automáticamente mediante diversos dispositivos, teniendo en consideración principalmente los que a continuación se mencionan:

- Contadores neumáticos: Están constituidos por un tubo de goma muy flexible que se instala transversalmente a la carretera, cerrado en un extremo y unido al contador en el otro. Su funcionamiento es muy sencillo pues al pasar un vehículo, el exceso de presión producido en el aire encerrado en el tubo se transmite a una membrana que actúa sobre el contador por medio de un circuito eléctrico.

Existe un diafragma que puede regular el desplazamiento de la membrana, lo cual permite que el contador no sea sensible para cargas menores que una determinada; el contador puede estar dispuesto en forma tal que cuente una vez cada dos impulsos, con lo cual registra vehículos de dos ejes. El único inconveniente que se encuentra para este instrumento es que solo registra un vehículo cuando pasan dos al mismo tiempo, lo cual afecta en forma importante el muestreo y por otra parte no muestra la clasificación de los vehículos según su tipo.

- Contadores electromagnéticos: Van colocados dentro del pavimento y están constituidos por un circuito bifilar, por uno de cuyos hilos pasa una corriente eléctrica de alta frecuencia que provoca en el otro una corriente inducida. El paso de las masas metálicas de los vehículos provoca un cambio de la intensidad de la corriente que se recoge en un registro. Por otra parte, también tiene inconveniente pues no clasifica los vehículos por su tipo.
- Contadores de presión-contacto: son muy usados en los caminos de cuota y consisten en un electroimán colocado en una caja bajo la superficie de rodamiento, disponiendo de una caja metálica enresortada, la cual es

presionada por la llantas del vehículo produciendo una corriente eléctrica que es registrada. Deben mantenerse cubiertos, pues de otra manera pueden perjudicarse gravemente si están a la intemperie.

Continuando con Mier (1987), hay aparatos más complicados con dispositivos electrónicos en los cuales el conteo puede hacerse para ambas direcciones de circulación, instrumentos accionados por células fotoeléctricas, otros que fotografían al vehículo lo cual permite que se pueda clasificar este, algunos otros que registran los diferentes pesos de los vehículos, etc. Todos estos aparatos son muy costosos y solo se deben de emplear en lugares donde la obtención de datos tan exactos son muy indispensables.

Con los datos obtenidos de los diferentes estudios de aforo y mediante procesos estadísticos, que pueden requerir del auxilio computadoras se llegan a conocer el Volumen Promedio Diario Anual, el Volumen Máximo Horario Anual, productividad de la zona, movimiento de esos productos, entre otros.

1.3.2. Estudios de origen y destino.

Este tipo de estudio puede considerarse, en acuerdo con Mier (1987), como el más completo para el aforo de vehículos, ya que por medio de él se pueden conocer los volúmenes de tránsito, tipos de vehículos, clasificación por direcciones, el origen y el destino del viaje, tipo de carga y tonelaje, número de pasajeros, dificultades que se puedan presentar durante el recorrido, productos transportados, modelos y marcas de los vehículos.

Entre las principales aplicaciones del Estudio de Origen y destino, pueden mencionarse las siguientes: conocer la demanda que existe dentro de una ciudad para usar en mayor o menor grado una cierta ruta, fijar rutas a través de la ciudad para desviar el movimiento de turistas y de vehículos pesados, conocer la localización de una nueva carretera o mejorar alguna ya existente y justificar la construcción del nuevo camino. Hay 4 maneras prácticas de llevar a cabo los estudios de origen y destino:

1. Por medio de entrevistas directas al conductor.
2. Entregando al usuario un cuestionario en una estación de aforo, para que lo llene durante su recorrido debiendo devolverlo en la próxima estación.
3. Por medio de entrevistas personales hechas mediante muestreo estadístico en los domicilios de los usuarios.
4. por la observación de las placas de los vehículos en diferentes puntos.

En las áreas rurales el método más recomendable es el de entrevistas al conductor en la carretera, mientras que en zonas urbanas, debido a que el gran número de vehículos dificultan el trabajo, el de entrevistas a domicilio es el más indicado. De todos los métodos el más exacto y verídico es el de entrevistas directas al conductor.

Mier (1987), señala que para poder ejecutar el método antes mencionado, primeramente se debe de localizar correctamente a la estación de aforo, eligiendo un tramo del camino que este fuera de la influencia del tránsito citadino, que de

preferencia sea de topografía plana, recta y amplia para facilitar las operaciones y evitar posibles accidentes.

Deberá hacerse un señalamiento adecuado disponiéndose de un juego de señales preventivas e informativas que den cuenta al usuario de la labor que se realiza, colocadas a distancia prudente y en ambos sentidos del camino; se debe contar con la colaboración de la Policía Federal de Caminos, en este caso por ser dicho proyecto en la zona urbana, se contara con la participación de La dirección de Seguridad Pública, Tránsito, Vialidad y Protección Civil Municipal. La función de estos será para detener al vehículo por un mínimo de tiempo necesario (40 segundos aproximadamente) para entrevistar al conductor, anotando en un formato ya formulado los datos pedidos.

Los resultados pueden presentarse de diferente forma, siendo una de las principales mediante “líneas de deseo”; la concentración de ellas indican las arterias que deben de ser atendidas en beneficio de los usuarios y de la economía de la región. Es posible que las líneas de deseo aparezcan donde no hay camino. Los estudios de Origen y Destino son indispensables en los cruces de caminos en donde se tengan fuertes volúmenes de tránsito.

1.4. Densidad de tránsito.

La densidad es el número de vehículos que se encuentran en un tramo de un camino en un momento determinado. No se debe de confundir con el volumen de tránsito ya que este, como se analizó anteriormente, expresa el número de vehículos

que pasan en la unidad de tiempo, de tal manera que cuando un camino se encuentra congestionado el volumen puede llegar a ser igual a cero en tanto que la densidad es muy alta.

1.5. Capacidad y nivel de servicio.

La capacidad es una medida de la eficiencia de una calle o un camino. El nivel de servicio determina las condiciones de operación que un conductor dado experimenta durante un viaje, cuando los volúmenes de tránsito están por debajo de la capacidad, ya que la capacidad es en realidad uno de los tantos niveles al que puede operar el camino; el nivel de servicio varía principalmente con el volumen de tránsito.

La capacidad de un camino es el número máximo de vehículos que pueden circular por él, bajo las condiciones prevalecientes del tránsito y del camino en un periodo de tiempo. El periodo de tiempo que se considera en las determinaciones de capacidad debe ser perfectamente definido.

Para periodos cortos tales como una hora o menos, la capacidad es el máximo tránsito sostenido para el periodo de tiempo especificado. Cuando se consideran periodos largos, un día o un año, la capacidad depende solo de los deseos de los conductores quienes crean variaciones horarias diarias y estacionales en un promedio del volumen que da como resultado la total utilización del camino solamente en un porcentaje del tiempo total, cuando la demanda es la máxima, según lo menciona Mier (1987).

Las condiciones prevalecientes del camino son principalmente los alineamientos horizontal y vertical, y el número y ancho de los carriles. Estas características no se pueden cambiar a menos de que se lleve a cabo una reconstrucción del camino, pero por otra parte, las condiciones prevalecientes del tránsito si pueden cambiar durante varios periodos del día.

La capacidad también se ve afectada por las condiciones ambientales tales como la claridad del camino, el frío, tormentas, calor, lluvia, nieve, smog, niebla, etc., pero por la dificultad de evaluación, estos factores no llegan a ser tomados en cuenta.

El nivel de servicio es “una medida cualitativa del efecto de una serie de factores, tales como la velocidad, el tiempo de recorrido, las interrupciones del tránsito, la seguridad, comodidad y libertad de manejo, los costos de operación, etc., que determinan las condiciones de operación diferentes que ocurren en un camino cuando se presentan diferentes volúmenes de tránsito. (Mier; 1987: 60).

Un camino opera a muchos niveles de servicio, dependiendo de los volúmenes y composición del tránsito y de las velocidades pueden alcanzarse. Como se ha dicho antes los caminos representan diferentes características geométricas, reflejadas principalmente en la sección transversal y en las pendientes según sea el tipo de terreno por el que cruzan, de tal modo que afectan las características de operación de los vehículos pesados y por lo tanto la capacidad del camino, de la siguiente manera:

Caminos en terreno plano. Permiten mantener a los vehículos pesados una velocidad semejante a la de los ligeros.

Caminos en lomerío. Sus características obligan a los vehículos pesados a reducir su velocidad por debajo de la de los ligeros, en algunos tramos del camino.

Caminos en montaña. Provocan que los vehículos pesados operen con velocidades muy bajas, en distancias importantes y con bastante frecuencia.

1.5.1. Capacidad para condiciones de circulación continúa.

En acuerdo con Mier (1987), los volúmenes máximos observados, junto con los resultados del análisis de las características del tránsito, han servido de guía para poder establecer valores numéricos de la capacidad para diferentes tipos de caminos bajo condiciones ideales. La capacidad de un camino determinado varia en la medida en que sus características geométricas y de operación difieren de las condiciones ideales, las cuales se definen enseguida:

1. Circulación continua.
2. Únicamente vehículos ligeros.
3. Carriles de 3.65 m. de ancho, con acotamientos adecuados y sin obstáculos laterales en 1.80 m. a partir de la orilla de la calzada.
4. Alineamiento horizontal y vertical de acuerdo para velocidades de proyecto de 110 km/hr. o mayores y sin restricciones en la distancia de visibilidad de rebase.

Las condiciones ideales no implican una buena operación, aunque si producen mayores volúmenes. La capacidad de una carretera, bajo condiciones ideales, se considera de 2,000 vehículos ligeros por hora y por carril. En resumen se estiman los siguientes valores de la capacidad en caminos con circulación continua y bajo condiciones ideales.

Carriles múltiples	2,000 por carril
Dos carriles, dos sentidos	2,000 total ambas direcciones
Tres carriles, dos sentidos (*)	4,000 total ambas direcciones

Tabla 1.3Valores de la capacidad en carreteras.

(Fuente: *Introducción a la Ingeniería de Caminos; Mier: 1987*).

(*) Estos caminos no se han diseñado en México pero los autores señalan que podrían ser de gran eficiencia en aquellos caminos que son de 2º. y 1º. orden que por su volumen de tránsito y la topografía del terreno aun no requieren aun no requieren de 4 carriles; es entonces en donde se puede agregar un carril a los tramos con pendiente en subida por el cual circulara en tránsito ligero, dejando el carril de la derecha para el pesado y lento. Por supuesto en los tramos a nivel, donde las velocidades de los vehículos ligeros y pesados son similares se omitiría este tercer carril; de este modo se podría mejorar por mucho el nivel de servicio del camino sin incrementar demasiado su costo.

1.5.2. Factores que afectan la capacidad y el volumen de servicio.

Como se vio anteriormente, cuando las condiciones de un camino son ideales, la capacidad o el volumen de servicio a un nivel dado son máximos y a medida que las condiciones del camino se alejan de las ideales, la capacidad o el volumen de servicio se reducen, según Mier (1987).

En la mayoría de los caminos se tienen que aplicar factores de ajuste a la capacidad y al volumen de servicio en condiciones ideales, las cuales pueden dividirse en dos categorías las cuales son: factores relativos al camino y factores relativos al tránsito. No todos los factores que afectan a la capacidad o el volumen de servicio, se ha evaluado ni se ha determinado su influencia con exactitud.

1.6. Distancia de visibilidad.

1.6.1. Distancia de visibilidad de parada.

Es la necesaria para que el conductor de un vehículo moviéndose a la velocidad de proyecto, pueda detenerse antes de llegar a un objeto fijo en su línea de circulación. Para consideración de distancia de visibilidad de parada se supone que el ojo del conductor está a 1.15 metros sobre el pavimento y que el objeto tiene una altura de 15 centímetros.

La distancia de visibilidad de parada está compuesta por dos términos: la distancia recorrida desde que se percibe un objeto en su línea de acción hasta que el conductor coloca su pie en el pedal del freno (d_{ro} distancia de frenado).

$$\text{Distancia de visibilidad de parada} = d_p = d_r + d_f$$

Cálculo de d_r

$$d_r = \frac{v \cdot t}{3.6}$$

Dónde:

v = Velocidad de operación en K.P.H.

t = Tiempo de reacción en segundos.

d_r = Distancia de reacción en metros.

La AASHO, recomienda para el diseño de tramos carreteros o caminos un tiempo de reacción de 2.5 segundos.

Cálculo de d_f

$$d_f = v \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$$

Dónde:

v = velocidad en el momento de frenado en m/seg.

t = tiempo de parada del vehículo

a = aceleración en m/seg.

d_f = distancia de frenado

Cuando en la carretera se cuenta con pendientes esto en el caso de curvas verticales ya sea en columpio o en cresta la fórmula para determinar la distancia de visibilidad de parada y considerando para el análisis la pendiente más desfavorable es la siguiente:

$$d_p = 0.278 * v * t + \frac{v^2}{254(f + p)}$$

Dónde:

f = coeficiente de fricción (unidimensional).

p = pendiente más desfavorable.

1.6.2. Distancia de visibilidad de rebase.

“Es la distancia necesaria para que un vehículo pueda adelantarse a otro que se encuentra en su línea de circulación, sin peligro de colisión con otro que aparezca en sentido contrario” (Mier;1987: 94). Debido a que no todos los vehículos circulan a una misma velocidad, habiendo vehículos más rápidos que otros surge la necesidad de adelantar a los vehículos de baja velocidad considerándose que esta maniobra solo se puede realizar en los caminos que tengan dos o más carriles. Para poder realizar la maniobra de rebase se tiene que garantizar la seguridad tanto para el vehículo que es rebasado como para el que rebasa, y al mismo tiempo poder visualizar al vehículo que circula en sentido contrario para no obstaculizar su trayecto.

De conformidad con Mier (1987), la distancia de visibilidad de rebase se determina en base a un tramo carretero el cual cumpla con las condiciones necesarias para que el conductor pueda tener una buena visibilidad y espacio necesario para poder ejecutar dicha maniobra, y en base a cálculos se determinó la expresión para poder calcular la distancia de visibilidad de rebase al es la siguiente:

$$d_r = \left(v_1 + \frac{a \cdot t_1}{2}\right) \cdot t_1 + \frac{8}{3} \cdot v_2 \cdot t_2$$

La ecuación anterior está basada conforme a la norma AASHTO en donde los valores de la velocidad de rebase son por lo general 7 veces la velocidad de proyecto por lo que en México la SAHOP mediante análisis y observaciones recomienda calcular esta distancia mediante la siguiente expresión:

$$d_r = 4.5 \cdot v$$

Dónde:

d_r = Distancia de visibilidad de rebase en metros.

v = Velocidad de proyecto en km/hr.

Cuando se cuenta con un volumen de tránsito considerable, los tramos para el rebase tendrán que ser extensos y cuando no se tiene tanto volumen de tránsito no son necesarios diseñar tramos tan largos, pero, por seguridad de los usuarios se debe de considerar una longitud admisible para poder conceder el rebase. Cuando se trata de caminos en los cuales, por la pendiente o por el tipo de topografía que se

tiene no se puede rebasar, se recomienda que se apliquen los carriles de desaceleración.

CAPÍTULO 2

PAVIMENTOS.

El presente capítulo está enfocado a temas de vital importancia para el estudio en cuestión; los pavimentos, teniéndose así la necesidad de desglosar en subtemas como sus generalidades, la clasificación de éstos, el concreto asfáltico y entre otros que no dejan de ser sustanciales para el mejor entendimiento del capítulo.

2.1. Concepto de pavimento.

El crecimiento en los sistemas de transporte, especialmente en las carreteras consideradas dentro de las vías terrestres, ha venido al alza en cuanto a infraestructura se refiere, por lo que las superficies por donde transitan los vehículos se han tenido que modificar en cuanto a las necesidades de seguridad, eficiencia y comodidad se refiere.

De acuerdo con la Secretaría de Obras Públicas, S.O.P, (1975), la forma en que una superficie que es utilizada para el tránsito de vehículos se diferencia y está definida, por el tipo de material que fue utilizado para mejorar la condición de rodamiento así como la estructuración de dichos materiales pétreos.

“Un pavimento es la capa o conjunto de capas de materiales apropiados comprendida entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento

uniforme, de color y textura apropiados, resistente a la acción del tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como transmitir adecuadamente a las terracerías los esfuerzos producidos por cargas impuestas por el tránsito”. (S.O.P.; 1975:7)

2.2. Generalidades de los pavimentos.

Según la S. O. P. (1975), hay una amplia variedad en la estructuración de un pavimento debido a que los materiales que se utilizan son varios, creando características diferentes en cada caso teniendo así un pavimento que puede estar constituido por una o varias capas que a su vez están compuestas de materiales que son seleccionados con el fin de dar la calidad necesaria a dichas capas.

A su vez, se tiene como objetivo que el pavimento brinde una superficie de rodamiento por lo que se requiere adecuarla con la aplicación de capas constituidas por mezclas que una vez que se obtiene una consistencia necesaria se tornan de manera rígida. La rigidez se alcanza conforme al tipo de pavimento que se requiera teniendo en cuenta que algunos serán de mayor flexibilidad que otros.

De acuerdo con la S. O. P. (1975), el tipo de tránsito influye considerablemente para el diseño de un pavimento, así como el factor económico, el proyectista tendrá que visualizar el factor costo-beneficio para así poder establecer el equilibrio entre funcionalidad y el costo de tal obra. Un pavimento tiene que cumplir a grandes rasgos con las siguientes características:

- Estabilidad ante los efectos del factor intemperie.
- Que soporte las cargas actuantes a causa del tránsito.
- Tener una superficie que permita adecuadamente el rodamiento.
- Durabilidad.
- Permeabilidad adecuada para garantizar el aspecto anterior.
- Considerar los factores de tipo económico.

Teniendo en cuenta los anteriores aspectos, se puede deducir el que no se alcanzarían los objetivos ya que una capa construida por materiales de origen natural y sin tratamiento no está acondicionada. De esta manera, por más que se quiera obtener calidad si no cumple con las características anteriores no se puede catalogar como una estructura de pavimento adecuada.

Partiendo de lo escrito por la S. O. P. (1975), se requiere de una capa de mejoramiento la cual necesita ser acondicionada por aglomerantes que permitan una consistencia ideal para el rodamiento y que distribuya las cargas del tránsito evitando en lo posible las deformaciones. Considerando lo anterior, la capa de mejoramiento tendrá un costo mayor a las demás capas.

2.3. Clasificación de los pavimentos.

Para conocer la flexibilidad de un pavimento es necesario conocer diferentes factores que los diferencian de un pavimento rígido y un pavimento flexible según la S. O. P. (1975). Surge la necesidad de conocer si un pavimento es flexible al

compararlo con otro para poder deducir la flexibilidad tanto del rígido como del flexible.

Las diferentes solicitaciones que tienen los pavimentos no se pueden deducir simplemente con colocar capas de espesor considerable o espesor mínimo, sino que dependen de las variantes que se tengan en cuanto al tipo de material con que fueron colocadas las capas de mejoramiento, a la capa que fue colocada para la superficie de rodamiento, a las cargas de origen dinámico a causa del tránsito que fluye sobre la superestructura.

De acuerdo con Olivera (2006), para el diseño de un pavimento, rígido o con cierta flexibilidad, se necesita alcanzar la funcionalidad para lo cual se está proyectando, cumplir con todos los requerimientos y por ende ser factible a la posibilidad económica; lo cual se ve reflejado posteriormente en los costos de construcción, de operación y de mantenimiento principalmente teniendo a este último como uno de los factores que principal impacto tienen en el proyecto.

Es así como se tiene la clasificación de los pavimentos:

- Pavimentos de tipo rígido.
- Pavimentos de tipo flexible.

2.3.1. Pavimentos flexibles.

“El pavimento de asfalto o pavimento flexible, es una estructura formada por varias capas (sub-base, base y carpeta asfáltica)” (Crespo; 1996: 1994). Dichas capas tienen por objetivo cumplir con diferentes propósitos:

1.- *Distribución y resistencia adecuada de las solicitaciones del tránsito.* Este aspecto es con el fin de evitar deformaciones que pongan en riesgo la estabilidad del pavimento a causa de las cargas y descargas constantes en la superficie.

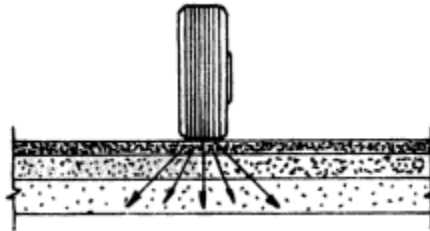


Figura A. Distribución de cargas hacia la estructura de pavimento.

(Fuente: Crespo; 1996: 198).

2.- *Impermeabilidad(superficie de rodamiento).* La acción destructora del agua es uno de los principales problemas a los que se enfrenta el ingeniero, es en este caso, si el agua logra que pase sobre la capa asfaltada se da a posibilidad a que se pierda la capacidad de soporte afectando a la misma capa y a las capas inferiores.

3.- *Resistencia al tránsito (circulación de los vehículos).* La resistencia a la fricción es uno de los principales agentes destructores de la superficie de rodamiento al mismo tiempo de la desventaja a causa de los efectos de molienda y amasado.

4.- *Resistencia a las condiciones atmosféricas.* En este aspecto se tiene cuidado con los materiales usados ya que no todos los materiales son adecuados para que resistan estas condiciones procurando buscar el material que resista al intemperismo.

5.- *Contar con la superficie de rodamiento que brinde comodidad y facilidad de desplazamiento.* Este aspecto va encaminado para los elementos de tránsito con el fin de proporcionarles seguridad, comodidad y una larga vida a los vehículos.

6.- *Flexión para las posibles fallas en capas inferiores.* Como toda estructura siempre existe la posibilidad de tener fallas mínimas por tanto sus reparaciones son mínimas y de mantenimiento de bajo costo.

La estructura de un pavimento flexible está formada por lo menos de dos capas de base que son diferenciadas por el tipo de material con que se conforman teniendo diferentes características; la capa de base formada por un suelo granular que por lo general se considera inerte y la sub-base que contiene también suelo granular pero que contiene otro tipo de suelo como arena o finos. Sobre la capa de base se estructura la base considerada impermeable formada de materiales pétreos y líquido cohesivo (aglutinante asfáltico) para la superficie de rodamiento.

De acuerdo con la S.O.P. (1975), entre las capas antes especificadas se encuentra la capa de sub-rasante que está conformada, en la mayoría de los casos, por material del lugar de la obra por lo que esta diferenciada por la superficie compactada y la capa de sub-base. Para la comprensión de la estructuración del

pavimento rígido se observa en la figura 2.1 donde se presenta la sección tipo de un pavimento flexible.

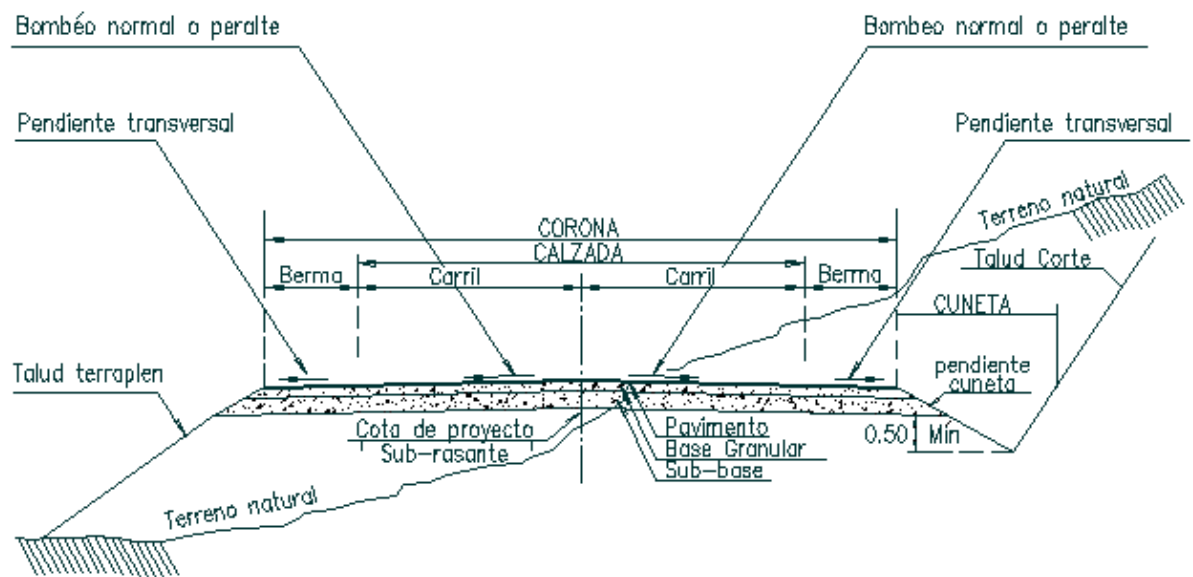


Figura 2.1 sección transversal típica de un pavimento flexible (sección en balcón).

(Fuente: *Estructuración de los pavimentos*; S. O. P.; 24)

Como se aprecia en la anterior figura, la conformación de capas es variada tanto en espesor como en las características de los materiales; en cuanto la transferencia de cargas sobre la estructura, éstas se van transmitiendo de capa en capa siendo la parte superior la que presenta mayor disponibilidad a la fatiga al estar soportando continuamente las cargas producidas por los vehículos y se transmiten de forma decreciente hacia la capa de subrasante llegando a ella una proporción mínima tal que no afecte la superestructura.

“Los pavimentos flexibles se estructuran al considerar que los módulos de elasticidad de las capas que lo constituyen tienen un valor menor, a medida que se localizan a mayor profundidad; a esto se debe que en fechas recientes haya tomado auge el estudio de estos pavimentos, con base en las teorías de distribución de esfuerzos a través de suelos estratificados”. (Olivera; 2006: 259). Es por lo que, para el proyectista, el diseñar la estructura de un pavimento tiene los mismos problemas que se pueden presentar en un estudio de mecánica de suelos en donde entran en juego los componentes de resistencia y deformación.

Cuando por la superficie de rodamiento circula un vehículo, se está aplicando una fuerza que provocan por consecuencia dos reacciones; resistencia de corte que está en función de los extremos de la superficie de contacto y la resistencia causada por la compresión que esta empleada en el área de contacto, de acuerdo con Crespo (1996).

Conforme a lo citado por Olivera (2006), después de que por años fuera utilizado el método en que se consideraba las cargas impuestas sobre un suelo de acuerdo a un ángulo, el estudio de J. Boussinesq arrojó la expresión con la que se pueden calcular los esfuerzos por una carga concentrada basada en la teoría de la elasticidad (Hooke).

Así mismo, Burminster realizó estudios parecidos a los de Boussinesq, pero a diferencia de que fueron específicamente para la estructura del pavimento (sub-base, base y carpeta asfáltica). Con esta ecuación se pueden encontrar las deformaciones que se tendrán en el sistema de capas. La ecuación se presenta a continuación:

$$\Delta = c \frac{pa}{E_2 F^2}$$

Dónde:

C: 1.5 para placas flexibles.

C: 1.18 para placas rígidas.

p: presión de contacto.

a: Radio de la placa.

E₁, E₂: módulos de elasticidad de las capas 1 y 2.

F₂: factor dependiente de los esfuerzos cortantes.

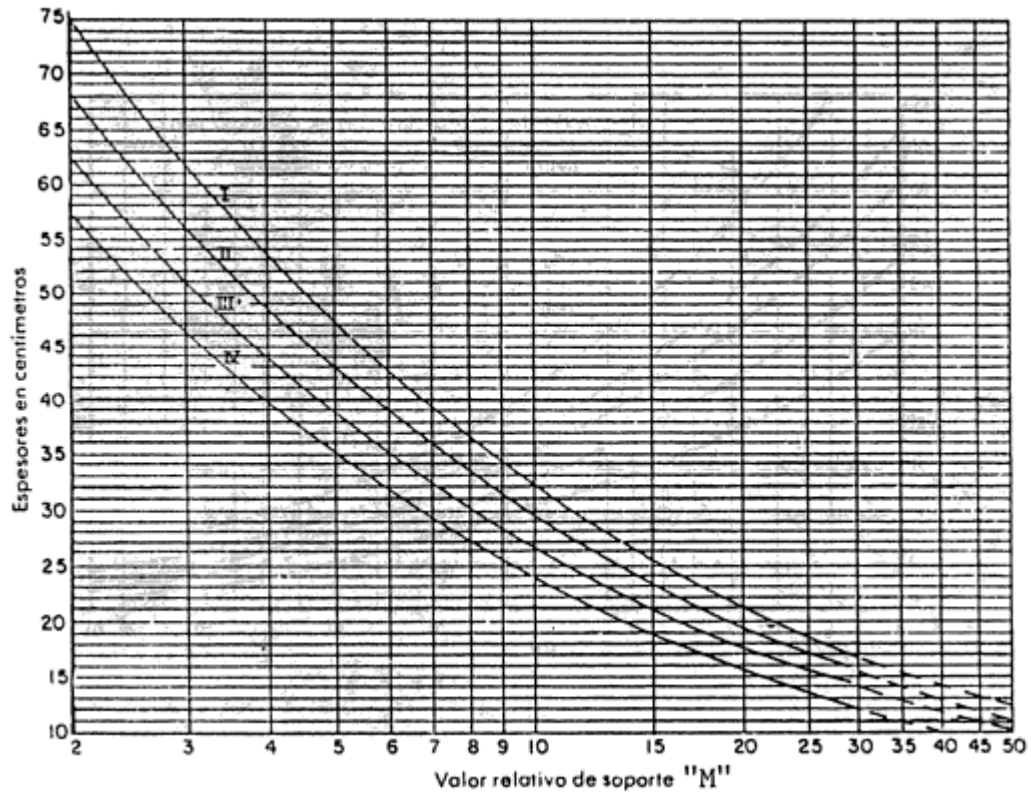
En concordancia con el autor antes mencionado, como hay una relación entre las deformaciones y los esfuerzos dependerán de estos últimos para la acción deformable, por lo que también se procede a la conciliación en los asentamientos en aproximadamente el 80 % de las terracerías. El que la capa superior del pavimento se haga de mayor rigidez, trae como beneficio el aumento en las acciones horizontales y el aumento en el valor de la relación entre los módulos de elasticidad en las capas 1 y 2 nos favorece en la disminución de los esfuerzos entre una a otra capa.

De acuerdo con lo referido por Crespo (1996), para encontrar el espesor de un pavimento se tienen diferentes métodos, utilizando en México los relacionados con el Valor Relativo de Soporte (V.R.S.) que no es el índice de resistencia del suelo al corte y que está en relación al grado de compactación en que se encuentra el suelo

en análisis. Las pruebas de compactación se realizan con el fin de encontrar el peso volumétrico seco (P.V.S.) con el cual se alcanza la compactación idónea.

Para calcular el VRS se introduce un pistón circular (19.35 cm^2) en la muestra de suelo referenciada a la ideal que es de $1,360 \text{ kg/cm}^2$ penetrando en la muestra hasta una profundidad de 2.54mm comparada con un suelo rocoso (piedra triturada). La carga se debe de aplicar a una velocidad constante de 1.27mm por minuto arrojando como resultado valores expresados en porcentajes teniendo en cuenta que un 100% está representando a la roca triturada.

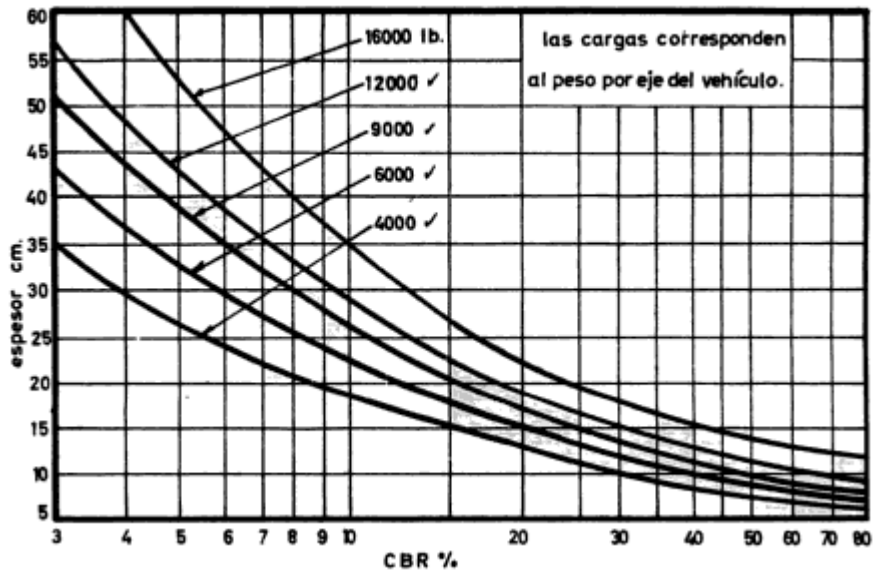
Para poder encontrar el espesor de un pavimento utilizando el VRS, O. J. Porter en combinación con los estudios realizados por el Departamento de Caminos del Estado de California realizaron las gráficas correspondientes. Para la determinación del espesor total de la estructura (sub-base, base y carpeta asfáltica) se tiene la gráfica 2.1 en donde las abscisas indican el VRS previamente determinado y las ordenadas representan el valor del espesor total. En dicha grafica se presentan las curvas que nos indican el tipo de tránsito de 3 o más toneladas incluyendo una tabla para determinar qué tipo de curva es la conveniente al igual que se muestran los espesores mínimos para la diferentes curvas.



Gráfica 2.1. Determinación del espesor total del pavimento mediante el VRS y el tipo de tránsito.

(Fuente: Crespo; 1996: 209).

Conforme a lo citado por Crespo (1996), para el caso del diseño por carga del eje más desfavorable se puede emplear la gráfica 2.2.



Gráfica 2.2. Determinación del espesor del pavimento mediante el VRS y el tipo de tránsito.

(Fuente: Crespo; 1996: 210).

En cuanto al espesor de la capa asfáltica se tiene la tabla 2.1 que nos muestra las características del tipo de carpeta y el espesor recomendado para éstas. Como se aprecia en las gráficas anteriores el espesor de la base está en función del VRS y la sub-base se obtiene de la diferencia entre el valor carpeta-base y espesor total del pavimento. En la tabla 2.2 se presenta los valores de referencia para el tipo de tránsito que se maneja en la tabla 2.1 considerando el tipo de tránsito.

Tipo de Carpeta Asfáltica	Espesor de la Carpeta en centímetros				
	Tránsito muy liviano	Tránsito liviano	Tránsito medio	Tránsito pesado	Tránsito muy pesado
Tratamiento Superficial Simple	1	1	–	–	–
Tratamiento Superficial Doble	1.5	1.5	1.5	–	–
Mezcla en el lugar	2	3	4	6	–
Mezcla en planta dosificada por volumen	2	3	4	6	–
Concreto asfáltico, dosificado en planta por peso y con C.A.	2	3	4	6	8

Tabla 2.1. Determinación del espesor de la carpeta asfáltica en base al tipo de tránsito.

(Fuente: Crespo; 1996: 211)

Clasificación del tránsito	Densidad del tránsito (1)	
	Volumen diario de carros de pasaje y camiones livianos (2)	Volumen diario de camiones comerciales y autobuses (3)
Muy liviano	menos de 50	ninguno
Liviano	menos de 300	menos de 20
Medio	menos de 2000	menos de 50
Pesado	más de 2000	menos de 500
Muy pesado	más de 2000	más de 500

Tabla 2.2. Clasificación del tránsito.

(Fuente: Crespo; 1996: 211)

- (1) Volumen diario (en ambos sentidos).
- (2) Camiones de 3 toneladas o de menor peso por eje.
- (3) Camiones de 3 toneladas o más por eje.

Teniendo como dato lo anterior se puede emplear pasos a seguir para la determinación del espesor de las capas del pavimento flexible con el VRS:

1. Determinar el VRS de la subrasante.
2. Determinar el VRS de la sub-base.
3. Tener en cuenta que el VRS en comparación es el 100%.
4. Volumen de tránsito y volumen previsible.
5. Determinar el tipo de tránsito en cuanto a la carga por eje (en libras).
6. Determinar el tipo de carpeta en base al volumen de tránsito.
7. Definir el espesor de la base y sub-base en relación al VRS de la subrasante (gráfica 2.1).
8. Revisión del espesor del pavimento en relación al tipo de vehículo (gráfica 2.2).
9. Determinar el espesor de la base en relación al tipo de vehículo y VRS de la sub-base cuidando que el espesor de la base sea igual o mayor al mínimo recomendado (gráfica 2.2).
10. Completar la base con la sub-base.

2.3.1.1. Concreto asfáltico.

El concreto asfáltico es una mezcla de materiales que son el cemento asfáltico y materiales granulares pétreos inertes. Como el cemento asfáltico se presenta de forma líquida surge la necesidad de calentarlo a una temperatura de 140° C y el material pétreo también es calentado con el principal objetivo de que al ser mezclados los dos elementos no se pierda la temperatura según Olivera (2006).

De las principales características del concreto asfáltico es la elasticidad por lo que brinda una baja capacidad para soportar las flexiones y que es la combinación de asfalto duro y aceites no volátiles del petróleo. Teniendo como principal material en la parte pétreo roca triturada o bien grava-arena principalmente teniendo en cuenta que se tiene que cuidar la calidad y si en su caso se utilizara un material contaminado se verían afectadas las características del mismo.

2.3.1.2. Asfalto.

Se tienen registros de que desde la antigüedad se han utilizado diferentes tipos de asfaltos que va desde 3200 a 540 años antes de Cristo hasta la actualidad donde los países productores producen millones de toneladas anuales de asfalto teniendo en cuenta que están formados de varios petróleos en los que se encuentra de forma disuelta.

Siguiendo con lo citado por Olivera (2006), existen diferentes tipos de asfalto:

- Asfalto natural. Se obtiene del proceso natural de evaporación o destilación.

- Asfalto del lago. Es extraído de depósitos superficiales.
- Roca asfáltica. De origen natural con ciertas características de impregnación asfáltica.
- Gilsonita. De origen natural, duro y quebradizo.
- Asfalto refinado con vapor. Refinado con vapor en el proceso de la destilación.
- Asfalto oxidado. Se le inyecta aire caliente durante la destilación.
- Asfalto refinado. Cualquier asfalto que se someta al proceso de refinado.
- Cemento asfáltico. Refinado con destilación a vapor de residuos pesados para continuar con la destilación hasta llegar a una penetración adecuada.
- Asfalto pulverizado. Asfalto molido.
- Mastique asfáltico. Cemento asfáltico mezclado con material mineral formando una capa espesa.

2.3.1.3. Emulsiones asfálticas.

Cuando se tienen condiciones en las que los factores como el clima, la topografía, distancias entre el lugar de la obra y el de un banco de mezcla asfáltica, etc., se requiere de la aplicación de emulsiones asfálticas con fin de trabajar con materiales pétreos húmedos. Este tipo de emulsión se logra cuando se logra que el cemento asfáltico se suspenda en el agua con la ayuda de un estabilizador y emulsificante. De acuerdo con Olivera (2006), este tipo de emulsiones también se pueden clasificar por fraguado rápido, medio y lento en función del contenido de concreto asfáltico.

2.3.1.4. Drenaje de pavimentos flexibles.

“El objetivo del drenaje de caminos, es en primer término, el reducir al máximo posible la cantidad de agua que de alguna u otra forma llega al mismo, y en segundo término dar salida rápida al agua que llega al camino” (Crespo; 1996: 141). Como se puede deducir del objetivo del presente tema, de los principales peligros que se tienen en la construcción de una obra es el de la acción destructora del agua y del que se tiene que ideas la manera de que los daños no sean significativos para el pavimento.

De los principales daños que se presentan cuando no se tiene cuidado con este elemento es la aparición de baches sobre la superficie de rodamiento, la retención de agua ya sea sobre la carpeta o sobre las cunetas lo cual propicia el reblandecimiento de terraplenes y taludes poniendo en peligro su estabilidad. En la subrasante se tiene que tener especial cuidado con las aguas que pudiesen circular de manera subterránea para evitar que reblandezca capas superiores. Conforme al trazo de la carretera, se tiene que tener en cuenta los cauces naturales para evitar los estancamientos que afecten a gran parte de la estructura.

De acuerdo con Crespo (1996), existen diferentes tipos de drenaje para pavimentos son los que siguientes:

Drenaje superficial. Encaminado al desagüe rápido del agua sobre el camino y evitar que el agua llegue al camino. Esto se logra gracias a la construcción de cunetas, contra-cunetas, bombeo, lavaderos entre otros.

Cunetas, son las zanjas en forma longitudinal al camino que reciben toda el agua que puede captarse tanto en el bombeo como en las partes donde tienes secciones de corte ya que por los taludes escurre un cierto volumen de agua para posteriormente desaguar en cauces naturales o en su caso en alcantarillas.

Contracunetas, son las zanjas que reciben el agua de los taludes de los cerros con el fin de que el agua no llegue a los taludes y los desestabilice o también el evitar que la cuneta se sature de agua provocando que se salga al camino o al talud.

Bombeo del camino, es la pendiente que se le da al camino para que pueda circular el agua hacia las cunetas u orillas que en México por lo general se utiliza el 2%.

Lavaderos, son los desfogue para el agua en los tramos de carretera donde existe talud con el fin de evitar la erosión y llevar el agua hasta una zona donde no exista el riesgo de reblandecimiento o en su caso socavación.

Alcantarillas y puentes, que son las obras que se construyen de forma transversal al camino para dejar pasar el agua de un cauce teniendo la diferencia de que las alcantarillas tienen un colchón de suelo y los puentes no.

Drenaje subterráneo, tiene una función similar al drenaje superficial, el desfogue del agua pero del subsuelo a niveles que alcancen a afectar al pavimento en caso de que estuviesen muy elevadas. Son los ductos que permiten el flujo del agua acumulada para ser llevada a cauces naturales o artificiales fuera de la estructura.

Zanjas, son sepas construidas con el fin de mantener el nivel freático pero tienen una gran desventaja; son peligrosas cuando se encuentran cerca del camino ya que pueden provocar accidentes al caer los vehículos en ellas.

Drenes ciegos, también son zanjas y tienen la misma función pero con la diferencia de que están rellenas con materiales granulares de dimensiones grandes como la grava o roca triturada pero con mayor seguridad que los anteriores.

Drenes de tubo, son tubos con cierta permeabilidad colocados en zanjas estratégicamente rellenos con materiales permeables para poder captar el agua del subsuelo.

2.3.1.5. Deterioro del pavimento.

Retomando todos los aspectos vistos anteriormente, el deterioro de los pavimentos flexibles se debe a los diferentes factores como la acción abrasiva de los vehículos, los agentes climáticos, un mal drenaje, espesores inadecuados en las capas de base y sub-base, mal diseño de la mezcla asfáltica, materiales de baja calidad, inclusive el factor económico ya que se puede tener las condiciones ideales de un pavimento pero si no se tiene la sustentabilidad económica para su mantenimiento se ve afectada la estructura.

2.3.2. Pavimentos rígidos.

Los pavimentos rígidos están formados por una losa de concreto hidráulico y la sub-base que sirve de apoyo y se construye sobre la capa subrasante.

En acuerdo con Olivera (2006), antes las losas de concreto se construían sobre las terracerías sin importar la calidad que éstas tuvieran; esto generó que un gran número de pavimentos fallaran al aparecer grietas longitudinales o transversales cerca de las orillas. Se investigó el fenómeno ocurrido el cual fue llamado “fenómeno de bombeo” el cual consiste en el ascenso de materiales finos y húmedos hacia la superficie de rodamiento a través de las juntas de este.

A partir de este estudio, se especificó que la losa debe de ir colocada sobre un material granular que cumpla cuando menos las especificaciones de sub-base de pavimento; el espesor de dicha capa influye en el comportamiento y funcionalidad de este y, por tanto, también se puede reducir el espesor de la capa de concreto, sobre todo si la sub-base se estabiliza con Cemento Portland.

Cuando los pavimentos de este tipo se diseñan y construyen adecuadamente con las especificaciones requeridas, según Olivera (2006), se tiene una vida útil larga además de que su costo de mantenimiento es sumamente bajo en comparación a los pavimentos flexibles. Las capas que conforman un pavimento rígido se describen a continuación:

- Losa de Concreto Hidráulico: Es una losa elaborada de concreto hidráulico (por lo regular con Cemento Portland) que posee una alta rigidez y un elevado módulo de elasticidad, es la superficie de rodamiento y esta capa es

principalmente donde se porta la capacidad del pavimento. El concreto hidráulico es el que se encarga de distribuir de mejor manera las cargas hacia la estructura de este; el concreto que se maneja puede ser de concreto simple o concreto armado, el primero de estos, es una mezcla con agregados pétreos (grava, arena o grava-arena) sin tener ningún refuerzo de acero en la losa; el segundo, se distingue más que nada por tener un refuerzo de acero (varilla), que sirva para evitar el agrietamiento por los cambios de volumen en el concreto, el refuerzo puede ser longitudinal o transversal, en el cual este último sirve para poder controlar el ancho de las grietas longitudinales.

- Sub-base: Está constituida por una o más capas compactadas de material granular, está colocada entre la losa de concreto y la capa de subrasante. Es un apoyo firme, estable y permanente para asentar la losa de concreto; su función principal es el control de los cambios volumétricos de la subrasante, además de incrementar el módulo de reacción de la misma, sirve para prevenir el bombeo de los suelos de grano fino en las juntas, en grietas y en los bordes de la losa de concreto. El tipo de material con el cual se debe de construir esta capa deben de ser materiales granulares no cementados, deben de ser de buena calidad y con una variedad de tamaños que puedan proporcionar en estabilidad al momento de ser compactada.
- Subrasante: Constituye la capa superior a la terracería y por lo regular esta capa es parte del terreno natural; si las características del terreno no son adecuadas para que pueda servir como capa de subrasante, se procede a traer material de banco seleccionado para que desempeñe el trabajo de la

subrasante y de esta manera poder hacer que esta capa de material sea capaz de desarrollarse en su trabajo sin problema alguno.

2.3.2.1. Elementos de un pavimento rígido.

La conformación en las capas de un pavimento rígido se muestra en la Figura 2.2, donde se puede observar los elementos que lo conforman y el orden en que se acomodan, mostrando así también los espesores necesarios para su buen funcionamiento.

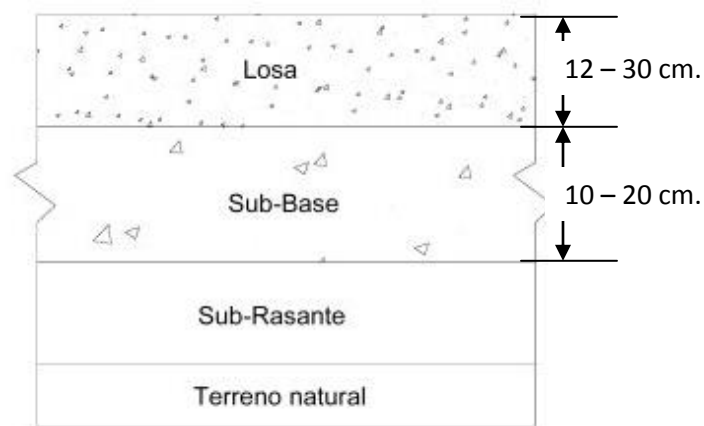


Figura 2.2 Sección transversal típica de un pavimento rígido (sección en balcón)

(Fuente: Olivera; 2006: pág.)

En el subcapítulo anterior se definieron cada una de las capas que conforman la estructura de un pavimento rígido; la transmisión de la carga en estos pavimentos se disipa en forma de una flexión o flecha como ocurre en las vigas, en la Figura 2.3

se muestra la manera en la que la carga se reparte tanto en este tipo de pavimentos rígidos como en pavimentos flexibles.

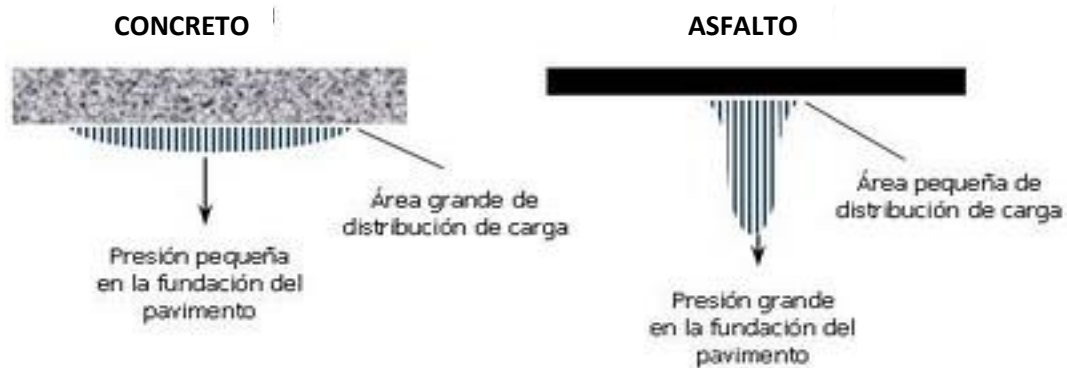


Figura 2.3 Distribución de cargas en pavimentos.

(Fuente: www.wikipedia.org; 2010)

Como se muestra en la figura anterior, el concreto absorbe la mayor parte de los esfuerzos producidos, dando tensiones muy bajas a la subrasante ocasionadas por las cargas vehiculares, mientras que en los pavimentos flexibles, los esfuerzos se transmiten hacia las capas inferiores siendo la subrasante quien reciba al final estos esfuerzos.

En acuerdo con Salazar (2002), los pavimentos rígidos tienen una mayor capacidad para absorber y distribuir los esfuerzos, esto gracias a las características que posee el concreto en conjunto con los materiales que conforman la losa de pavimento. El concreto es el principal factor que influye en la resistencia de los pavimentos rígidos, por lo cual se tiene una clasificación de la siguiente manera:

- a) Concreto simple vibrado.
- b) Concreto reforzado.

c) Concreto pre-esforzado.

d) Concreto fibroso.

a) Concreto simple vibrado: Este tipo de pavimentos es de los que comúnmente son utilizados, ya que su estructura es a base de concreto hidráulico, y por lo regular es vibrado mediante medios mecánicos a la hora de su colocación. Suele dividirse por medio de juntas transversales y longitudinales, para la obtención de bloques cuadrados en medidas máximas de 3 x 3 m. para poder obtener una mejor distribución de cargas.

b) Concreto reforzado: Para este tipo de elementos de concreto es esencialmente el refuerzo en su estructura con malla de alambre electro soldada o de varilla corrugada, teniendo la separación correspondiente. “la cantidad de refuerzo que contiene la losa debe de ser proporcional a la longitud de la misma losa, siendo de 2 a 3 kg/m² para aquellas losas que contengan dimensiones de 8 a 15 metros de longitud de largo” (IMCYC; 2002: 1-6). El factor que influye para que este tipo de losas no sea tan común es su alto costo.

c) Concreto presforzado: Estos elementos se utiliza principalmente en pistas, en plataformas de aeropuerto; sabiendo que el presfuerzo es un sometimiento a características similares de trabajo del concreto antes de ser colocado. Se realiza esto en los pavimentos con la finalidad de poder tener espesores de la losa más delgados a los convencionales.

d) Concreto fibroso: Este tipo de pavimentos con concreto fibroso se implementa con fibras de acero, fibras de vidrio o productos plásticos; esto se realiza con la finalidad

de poder obtener una mayor resistencia de tensión y para que se pueda soportar con facilidad el problema de la fatiga en determinados puntos de la losa. Con la proporción de acero en este tipo de concretos se debe de cuidar la dosificación de los diferentes elementos que componen esta mezcla.

Todos estos tipos de concreto cumplen con características y/o especificaciones de acuerdo con el tipo de losas a utilizar en el pavimento, y claro está, que se deben de cumplir todas éstas, ya que su correcta funcionalidad depende principalmente de estas especificaciones.

2.3.2.2. Cortes de juntas.

Los cortes en los pavimentos de concreto son un factor muy importante, estos pueden ser de manera longitudinal (a lo largo del pavimento), o transversales (perpendicular al eje del pavimento). La finalidad de dichos cortes en el pavimentos o losa de concreto se realizan para indicar a este una línea de falla por donde deberán proyectarse los posibles agrietamientos que se pudieran presentar, evitando así afectar la funcionalidad del pavimento.

Este proceso se realiza después del curados del concreto, cuando presenta ciertas características de endurecimiento o fraguado que permita poder realizar la maniobra del trabajo, teniéndose cuidado de realizar este proceso antes de que el mismo concreto busque propias líneas de falla, lo cual se realiza en un periodo de 4 a 6 horas una vez colocado el concreto; la maquinaria con la que se efectúa el trabajo es con una cortadora con discos de 24" de diámetro y punta de diamante.

Estos cortes deben de tener una profundidad de $\frac{1}{3}$ del espesor de la losa, no se corta profundamente porque el mismo corte de la parte superior permite que la parte inferior del pavimento se genere un grieta que permita transmitir la fuerza cortante ocasionada por la misma conjunción de los agregados. En la relación de largo-ancho en las losas de concreto se considera como límite los valores de 1 a 1.4, las relaciones que sean mayores a esta originaran que las grietas se presenten con mayor frecuencia a la mitad de las losas de los pavimentos.

2.3.2.3. Sello de juntas.

De acuerdo con Salazar (2002), el sello de las juntas se realiza con la finalidad de no permitir que las partículas de otros elementos no considerados en el pavimento, penetren sobre las juntas y no dejen cumplir la función de la misma, además de no dejar pasar el agua hacia las capas inferiores provocando que el pavimento se deteriore con mayor facilidad.

El sellador para las juntas, debe de ser un material autonivelante, elástico, de un solo componente, con resistencia a los efectos de combustibles y aceites provenientes de los vehículos, también se debe de adherir al concreto, para que cumpla la finalidad de permitir la contracción y dilatación del concreto, pero a la vez, que deje existir el agrietamiento. Este elemento debe de estar de 3 a 6 mm por debajo de la superficie de rodamiento, para que los neumáticos no lleguen a deteriorarle por el excesivo contacto que el pavimento pudiese tener.

2.4. Métodos de diseño.

En la actualidad, existen muchas y diversas formas de poder diseñar pavimentos, pero generalmente se recurre, y sin lugar a dudas, a los métodos más empleados como son el método de la AASHTO, o a las normas que rigen en la S.C.T. por mencionar sólo algunos; en la presente investigación se definirán los métodos de diseño más comunes tratando de dar una mayor información acerca de los factores que se deben de tomar en cuenta para el diseño de los diferentes tipos de pavimentos.

2.4.1. Método ASSHTO.

De acuerdo con lo referido por Salazar (2002), este método surge partiendo de una prueba que llevaba el mismo nombre que dicho método, esto en el año de 1963; es uno de los métodos más utilizados a nivel internacional para el diseño de pavimento de concreto hidráulico. La organización AASHTO (American Association of State Officials), se dedica al estudio de estructuras de pavimentos de concreto con espesores conocidos, con respectivas cargas en movimiento, también conocidas.

Con las pruebas que dicha organización realizó se obtuvieron factores que influyen en el diseño de los pavimentos para su capacidad de servicio, siendo aso los siguientes elementos que la organización considero como de mayor importancia:

- Variación en el perfil longitudinal.
- Mediciones de la aspereza del pavimento en la dirección del tráfico.

- Profundidad promedio de la rodadura.
- Medidas de los agrietamientos.
- Medidas de baches.

En este método es donde se determinó el mejor desempeño de los pavimentos de concreto contra el pavimento flexible. Las variables que el método propone principalmente que influyen en un diseño de pavimentos son los siguientes:

1. Espesor.
2. Serviciabilidad.
3. Tráfico.
4. Transferencia de carga.
5. Propiedades del concreto.
6. Resistencia de la subrasante.
7. Drenaje.

Sin embargo, un indicador que lleva al diseñador de pavimentos a proveer un buen concreto es el Módulo de Ruptura que tiene el concreto, sabiendo que este es la resistencia a la flexión que tiene el concreto; en la siguiente tabla se especifican algunas características acerca del módulo de ruptura que deben tener los pavimentos de acuerdo a su uso:

Tipo de Pavimento	MR recomendado	
	kg/cm ²	psi
Autopistas	48.0	682.7
Carreteras	48.0	682.7
Zonas Industriales	45.0	640.1
Urbanas Principales	45.0	640.1
Urbanas Secundarias	42.0	597.4

Tabla 2.3. Módulo de ruptura del concreto en pavimentos.

(Fuente: www.wikipedia.org;2011)

Este método es el principal usado para el diseño de pavimentos en México, ya que Cemex proporciona argumentos para que éste sea empleado en el país con mayor frecuencia entre los diseñadores de este ramo, obteniendo resultados favorables para los fines que se han requerido.

2.4.2. Método de la UNAM.

Este método es mexicano, y fue creado en el Instituto de Investigaciones de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), y se basa principalmente en el tipo de vehículos que transitan por la ciudad de México, siendo estos su fenómeno de estudio, se concluyó que aquí se debe utilizar el valor de los ejes de los vehículos de 18,000 libras aproximadamente, teniendo un espesor máximo de 9.5 cm y mínimo de base de 10 cm.

Toma en cuenta el tipo de material que se tiene en los bancos más cercanos al sitio de proyecto, con su respectivo valor relativo de soporte de diseño, así tomando este método, se introducen con los datos obtenidos a la tabla siguiente y se obtienen los espesores recomendados de bases, sub-bases y carpetas, en este caso, losa de concreto hidráulico.

Por lo general en México, este método es utilizado para el diseño de pavimentos flexibles, ya que es muy exacto y de muy fácil manejo, el único aspecto en lo que se pudiera demorar sería en la recolección de datos.

CAPÍTULO 3

RESUMEN DE MACRO Y MICROLOCALIZACIÓN.

De forma general y minuciosa se abarcarán las características del entorno del proyecto. Dichas características descritas en el presente capítulo se enfocan al entorno geográfico, hidrológico, climático y a otros aspectos que favorecen a la comprensión de este apartado del estudio. Al referirse a lo anterior mencionado, se está enfocando a un estudio de macro y micro localización, la topografía de la zona de estudio, así como el uso de suelo que se le está dando y el estado en que se encuentra tal zona. Otro aspecto importante es la proposición de alternativas y por consiguiente las alternativas posibles para solucionar el problema en cuestión.

3.1. Generalidades.

Michoacán es el estado número 16 de los 31 estados y un Distrito Federal que tiene México, a su vez se divide en 113 municipios y que como todos y cada uno de los estados tiene su historia. Sus principales características en su historia como estado; es que se caracteriza por que estuvo y está habitado por los tarascos o también conocidos como purépechas imponiendo sus ideologías y algo que hasta la fecha se sigue conservando, su cultura. Es una de las razones por las que a la población, especialmente de la parte de la sierra, se les conoce como purépechas o bien tarascos.

El estado de Michoacán de Ocampo, como es su nombre real, está ubicado en el centro-oeste del país; teniendo como estados vecinos Querétaro, Guanajuato, Estado de México, Guerrero, Colima y Jalisco, sin dejar de mencionar que cubre una extensión considerable de playas accidentadas. Cubre el 3% del total del territorio del país y tiene una orografía muy accidentada ya que a través del estado pasa el Eje Volcánico Transversal al igual que la Sierra Madre del Sur.

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

Los tres municipios de mayor influencia en cuanto a economía y población son Morelia (Capital del Estado), Uruapan del Progreso, Zamora y Lázaro Cárdenas. Teniendo como máxima casa de estudios la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo situada en la capital y con campus en diversos municipios.

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

Es así como de una forma general se describe la zona en gran escala, específicamente el Estado de Michoacán de Ocampo, sin dejar pasar su gran

gastronomía, música, vestimentas y de más características que lo hacen diferente, como todos, de los demás estados.

3.2. Alcance del proyecto.

El objetivo predominante de la investigación es encontrar el diseño idóneo de las capas de pavimento rígido con los requerimientos de tránsito necesarios de acuerdo a los lineamientos del método de diseño. Otro de los objetivos principales para la realización de dicho proyecto es el poder dar a las vialidades de la zona en estudio una transitabilidad mayor, es decir, poder hacer fluir el tráfico con una mayor eficacia para así poder desahogar el tráfico tan denso que se llega a dar principalmente en las horas pico.

El sector estudiantil del área de la Ingeniería Civil es uno de los principales beneficiarios con la investigación, sirviendo esta como base para posteriores investigaciones relacionadas con la misma; toda la información recabada en esta investigación se puede utilizar como banco de información para la biblioteca correspondiente, todo dentro del área de las vialidades.

3.3. Entorno geográfico.

El margen geográfico es un medio que no ha sido transformado de manera considerable por la sociedad, de tal manera que la posibilidad de ejecutar dicho proyecto es una oportunidad para dar una mayor calidad de vida a los habitantes

cercanos a la zona y también es una buena manera de empezar con el rescate del Río Cupatitzio, pues el tramo en estudio colinda por una orilla con el cauce del río, el cual se ve afectado por todas las descargas de drenaje que se hacen hacia él.

En la actualidad es una zona que los actuales gobiernos han descuidado por cuestiones de no darle una mejor utilización a dicha vía; el entorno geográfico se compone de basta vegetación, y solo algunas casas, por aun ser un camino de terracería no es muy transitada y en ciertos tramos de esta es utilizada para arrojar desperdicios o escombros.

3.4. Macro y micro localización.

La investigación tiene lugar en la ciudad de Uruapan, Michoacana, misma que está situada a los 19° 24'56'' de latitud Norte y 102° 03'46'' de longitud Oeste del Meridiano de Greenwich. La ciudad de Uruapan, Michoacana es la segunda más importante del estado mismo el cual es parte de los 32 estados que conforman la República Mexicana ubicado hacia el sur.

El siguiente mapa de México se ubica primeramente donde se encuentra el estado de Michoacán para tener una mayor apreciación de la zona en estudio.



Imagen 3.1. Ubicación de Michoacán dentro de la República Mexicana

Fuente: www.banxico.org.com (2011)

3.4.1. Macro localización.

Una vez ubicado dentro del país y del estado de Michoacán, se sigue con la ubicación geográfica de la ciudad de Uruapan, por medio de las imágenes se da a conocer la ubicación y colindancia del tramo en estudio.



Imagen 3.2. Uruapan, Michoacán.

Fuente: www.google.com (2012)

La ciudad de Uruapan tiene varias formas para poder llegar a ella, ya sea por el lado de la capital del estado, por vía privada o federal, por el lado sur (Apatzingán), o al oeste por Zamora.

3.4.2. Micro localización.

Dentro de la Urbanización de la ciudad de Uruapan se encuentra la calle Delicias (lugar de la investigación) la cual queda dentro las zonas con mayor importancia dentro de esta pues su ubicación la coloca en una posición céntrica y conecta rápidamente la calle Paris con Anillo de Circunvalación así como lo muestra la siguiente imagen:



Imagen 3.3. Imagen satelital de la calle Delicias en Uruapan, Michoacán.

Fuente: www.google.com (2012)

Uruapan cuenta con la urbanización detallada por lo que la ubicación del proyecto de investigación se encuentra entre ciertas calles que a continuación se trataran de localizar para una mejor ubicación de la zona de Uruapan.

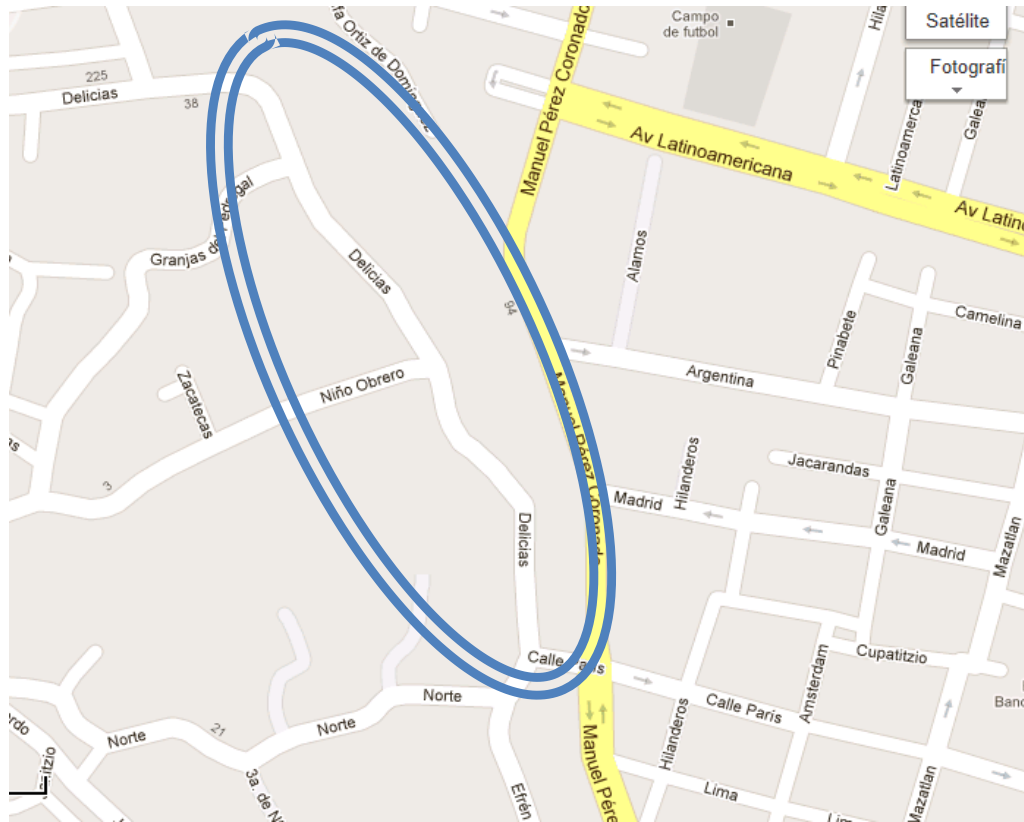


Imagen 3.4. Calles cercanas a la calle Delicias en Uruapan, Michoacán.

Fuente: www.google.com (2012)

Dentro de la urbanización de Uruapan, se encuentra las calles que son colindancia con el sitio de la investigación, así como las calles que causan un

problema de tráfico a horas pico, pues no tienen la capacidad suficiente para conducir a la cantidad de automóviles que por ellas transitan.

3.5. Clima e hidrología.

Uruapan es uno de los municipios del Estado de Michoacán de Ocampo que presenta una variación en el clima importante. Cuenta con diferentes alturas que va desde los 800 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) hasta los 1664 m.s.n.m. siendo una de las causas principales de la variación del clima. Los climas que pueden presentarse en la ciudad van desde el templado húmedo con lluvias abundantes en verano que se presenta en la zona central hasta el cálido con un porcentaje medio de humedad con lluvias en el verano y dejando especificado que la zona de estudio es en la parte central.

La ciudad también presenta temperaturas diferentes en tres zonas: la zona norte en la que se deja sentir temperaturas de entre los 12 a 16 °C, otra parte de la zona centro y sur presentándose entre los 16 y 24° C (aquí se ubica la zona del proyecto), y por último la parte de la zona sur que sus temperaturas andan entre los 24 y 28 ° C. En cuanto a la precipitación, los promedios pluviales anuales van desde los 800 mm en la zona sur de la ciudad hasta superar los 1500mm en la zona centro representando esta última cifra como un año lluvioso en la ciudad.

3.6. Economía dentro del alcance de la zona.

Se hizo mención en la parte introductoria del presente capítulo, el aguacate es una parte fundamental en la economía del Estado de Michoacán, especialmente de la ciudad de Uruapan, siendo el principal cultivo de tal demarcación seguido por la producción de guayaba, jitomate, chile, maíz, café, durazno, calabaza y caña de azúcar. Sin dejar de mencionar sus actividades ganaderas con la cría de diferentes especies tanto para comercialización como para consumo.

Dentro de la mancha urbana se encuentra la industria siendo los principales productos el papel, fibras, chocolate, café, destilación del agave (charanda) y materiales de construcción. Se establecen tiendas departamentales de gran importancia por lo que el comercio de mercancías es factor importante en el desarrollo económico del municipio y no solo en grandes tiendas sino en micro empresas en su mayoría locales. La ciudad cuenta con gran cantidad de empresas dedicadas a servicios principalmente hoteles, restaurantes, constructoras, telefonía, y servicios profesionales en general. Es por todo esto que la ciudad también se mantiene de sus empresas al dar a la gran mayoría de sus habitantes actividades laborales a cambio de un sueldo o en su caso el que el mismo productor comercialice sus productos.

3.7. Topografía.

Por estar en una zona montañosa, la ciudad de Uruapan presenta grandes desniveles, desde la parte norte hasta la parte sur donde se presenta un desnivel

considerable; pero a pesar de ese desnivel, la ciudad presenta zonas donde la altimetría no representa en gran escala el desnivel al presentar en su zona oriente planicies con curvas de nivel poco prolongadas.

Específicamente en la zona de estudio se presenta una topografía accidentada de tipo montañoso que lleva consigo un afluente permanente de agua conocido como río “Cupatitzio” que tiene origen en el primer cuadro de la ciudad (zona centro). Al tener de referencia lo anterior descrito, es evidente que se presenta un ligero problema para la realización del estudio al influir en tipo de topografía en el estudio.

3.8. Estado físico y reporte fotográfico de la zona.

Una vez visto por primera vez de manera somera la zona de proyecto, se regresa para un estudio metódico del estado en que se encuentra el sitio, con el fin de presentar principalmente el problema que se tiene que solucionar; para este caso se presentan las condiciones actuales que presenta la calle “Las Delicias” y su entorno que pudiese incurrir para el desarrollo del análisis del problema en cuestión.

Es por ello que se presenta un reporte fotográfico describiendo cada una de las imágenes presentadas con el fin de hacer la interpretación de manera que pueda entenderse cada parte del estudio. Las fotografías, muestran en esencia, las partes más críticas en las que se puede observar las condiciones tanto favorables como perjudiciales para el proyecto.

El inicio del tramo en estudio tiene lugar en la calle Delicias esquina con el puente de la calle Paris, mejor conocido como “Puente del terror”



Imagen 3.6. Esquina Puente del Terror y calle Delicias.

Fuente: Propia

En la siguiente imagen se muestra más a detalle la Calle Delicias en la iniciación de su tramo.



Imagen 3.5. Calle Delicias, Uruapan, Michoacán.

Fuente: Propia

A continuación se muestra la superficie donde se desea realizar el diseño de pavimento y la conexión con Av. Latinoamericana.



Imagen 3.7. Calle Delicias, Uruapan, Michoacán.

Fuente: Propia

Así como en la siguiente imagen se muestra el lugar donde se pretende realizar la conexión con Av. Latinoamericana y donde entroncara con la misma.



Imagen 3.8. Sitio donde se hará la conexión con Av. Latinoamericana.

Fuente: Propia



Imagen 3.9. Sitio donde entoncara la conexión de calle Delicias con Av.

Latinoamericana.

Fuente: Propia

Esta conexión se realizara mediante un puente, el cual conectara una de las calles secundarias con una de las principales Avenidas de esta ciudad, siendo así que prácticamente a lo largo de toda esta avenida podemos encontrar el Aeropuerto Internacional “Ignacio López Rayón”, y al Norte llevaría hasta la salida a la carretera federal Carapan – Uruapan, lo cual brindaría una mayor fluidez en cuanto a vialidades y se convertiría en una de las calles más transitadas debido a que muchos de sus tramos pasan por calle importantes.



Imagen 3.7. Calle Delicias, Uruapan, Michoacán.

Fuente: Propia

La calle Delicias, sería una vialidad atractiva pues en todo su trayecto el Rio Cupatitzio va de la mano con la misma, haciendo así que ya sean los automovilistas o transeúntes disfruten dicho tramo.

3.9. Alternativas de solución.

En este proyecto de investigación que consiste en diseñar una alternativa de vialidad para poder desahogar todo el tráfico proveniente de la zona centro de la ciudad, se tiene la visión de hacer esta de un solo sentido circulando de norte a sur, y también su conexión con Av. Latinoamericana para así facilitar al transporte ir de un lugar a otro sin tener que cruzar tantas calles o tener que lidiar con el tráfico de todos los días; se dan alternativas de solución y esta es la más viable para utilizar en esta zona.

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA.

El presente capítulo tratará acerca del método empleado para poder desarrollar el tema de tesis, así como el enfoque de investigación que esta contiene, su alcance de investigación, diseño de investigación, instrumentos de recopilación de información y la descripción del proceso de investigación.

4.1. Método empleado.

La presente investigación se basa en el método científico matemático analítico teniendo como definición de método científico, “es un proceso lento que se apoya en vastos conocimientos del propio investigador cuando éste domina su materia y conoce bien el campo de acción en el cual se va a realizar dicha investigación”. (Mendieta; 2005:56). Con respecto a lo anterior citado, el individuo que se encuentra realizando una investigación tiene que partir de los conocimientos bastos que le puedan ser útiles para poder formar la hipótesis que viene a ser uno de los primeros pasos en el método científico.

Según Mendieta (2005), desde que empieza el proceso de la investigación científica, el investigador va logrando recabar los conocimientos y resultados con los que va a poder sustentar su propuesta inicial. El conocimiento y la observación son parte fundamental del método científico ya que son las principales herramientas que

conducen a tener resultados congruentes y, por tanto, satisfactorios con respecto a la investigación.

Continuando con el autor antes mencionado, una hipótesis requiere de investigación científica con el fin sustentar lo dicho en la teoría y así ésta podrá tener una aceptación. La paciencia es un factor fundamental requerido para ejecutar el método refiriéndose a que se tienen que realizar pruebas, monitoreos, registros, reportes, etc. Posteriormente, una vez realizado lo anterior mencionado, la deducción de las situaciones entra en juego ya que se definen los factores variantes y los que podrías ser una constante en el proceso según Mendieta (2005).

Cuando se han finalizado las pruebas y resultados se deba hacer un análisis del proceso para evaluar posibles errores; una vez hecho esto, observando que no existe error o que si lo hay no es significativo se procede a realizar la síntesis. Con la elaboración de las conclusiones se pasa a cerrar la parte de exploración para continuar con la realización de leyes, materiales o bien informes todo ello vasado en las conclusiones que se obtuvieron. Como indica Mendieta (2005), para finalizar el proceso completo del método científico, se procede a realizar in informe de manera oficial de carácter científico de los resultados que se obtuvieron.

El método matemático, como su nombre lo dice por sí solo, esta vasado prácticamente en cuestión de cantidades, éste método es utilizado muy comúnmente sin darnos cuenta al hacer comparaciones cuestiones económicas, estadísticas, rendimientos, capacidades, volúmenes, etc., pero todo ello cae finalmente en representarlo con números según Mendieta (2005). Teniendo como definición del

método matemático “es el genético que indica el origen del objeto, v. gr., el número entero es originado por la adición indefinida de la unidad a sí misma.

Según lo citado por Jurado (2005), el método analítico estudia de manera separada una estructura, enfocándose en cada uno de los elementos que la componen para posteriormente poder llevar a cabo la formulación de las leyes, si es que se encuentran, de los resultados obtenidos. El proceso analítico es de carácter sistemático cumpliendo diferentes fases con las que, una vez ejecutadas, se podrán hacer las comparaciones y relaciones pertinentes.

Teniendo como base lo anterior, la presente investigación se encuadra en el método científico matemático analítico ya que se requiere de un proceso donde es necesaria la investigación verídica la cual se pueda comprobar en todo momento con cualquier método antes mencionado y que se pueda tener registros u observaciones que faciliten su comprensión.

4.2. Enfoque de la investigación.

Si bien hay diferentes tipos de enfoque, el cuantitativo es el que describe a la presente investigación teniendo en cuenta que, según Hernández y Cols. (2004), este tipo de enfoque es de carácter secuencial y que requiere ser probado. Teniendo como características esenciales el que es del orden estricto, es decir, no admite el desorden de en el proceso de la investigación teniendo en cuenta desde que se parte con las ideas preliminares hasta el término del proceso en donde se llega a presentar oficialmente los resultados.

Teniendo como definición a lo anterior “el enfoque cuantitativo usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base a la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías” (Hernández y Cols.; 2004: 4). Para poder entender el enfoque se presenta la siguiente figura:

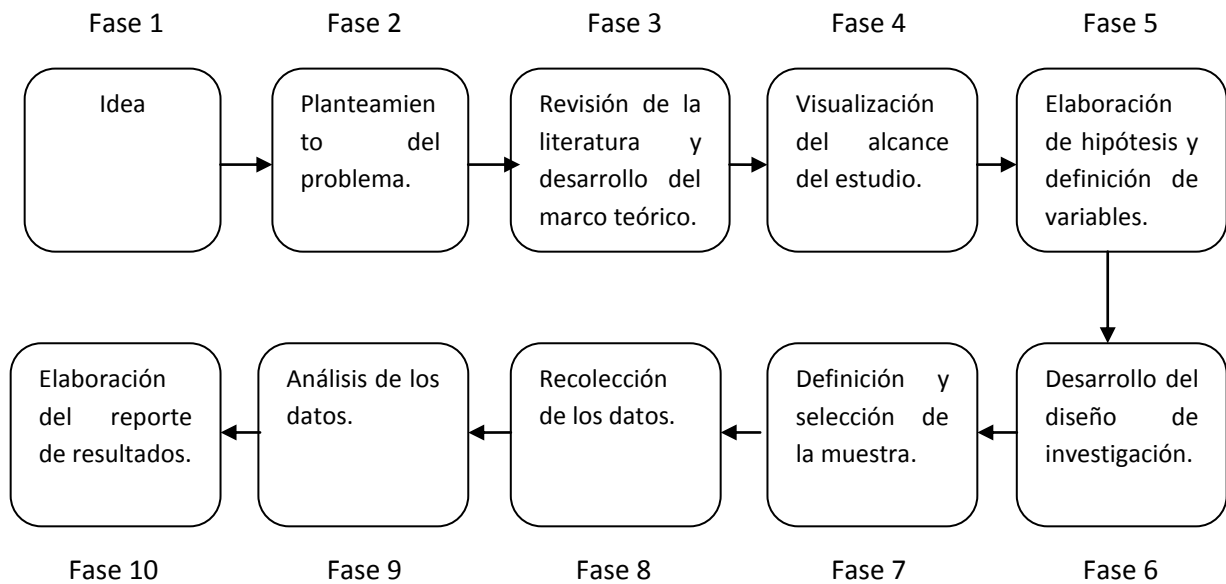


Figura 4.1 Proceso del enfoque cuantitativo.

(Fuente: *Metodología de la investigación*; Hernández y Cols.: 2004).

La investigación realizada presenta el enfoque cuantitativo ya que esta referenciado a seguir el algoritmo presentado en la figura 4.1 en donde se está presentando la idea con la que se empieza a trabajar en la investigación pasando por todas las fases siguiendo un orden buscando expandir y dispersar la información con el fin de que los resultados sean confiables o que presenten controversias en cuanto a la claridad de estos.

4.2.1. Alcance de la investigación.

La investigación descriptiva es la que se tiene en el presente estudio teniendo como referencia que la “investigación descriptiva busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice” (Hernández y Cols.; 2004:80), teniendo en cuenta que también es usada en datos estadísticos. Como se puede apreciar, el mismo nombre de este alcance nos indica hacia donde se enfoca la investigación y que viene siendo desde lo ordinario hasta lo más complejo.

De acuerdo con Hernández y Cols. (2004), el investigador tiene que tener una amplia creatividad, imaginación y buena forma de expresarse ya que requerirá transmitir sus conocimientos de forma tal que se le pueda entender con claridad siendo a su vez convincente con la parte receptora de ideas. El emisor de las ideas está en una posición en la cual tiene que estar consciente de que puede tratar con medios (personas, animales, hechos, etc.), con los que puede transmitir información o que le sean transmitidos datos útiles para su investigación y que tendrá que buscar la manera de saber interactuar con el medio en que se encuentre, todo esto en conformidad con el autor antes mencionado.

La disposición de la información en la presente investigación son de vital importancia, se requiere el manejo de dicha información con el fin de realizar los análisis estadísticos, detectar las condiciones existentes así como las posibles condiciones que se presentarían después del proyecto. Todo esto se logra con

gracias a la investigación descriptiva que auxilia de manera significativa al avance de la investigación.

4.2.2. Diseño de la investigación.

Conforme al presente estudio se tiene un diseño no experimental ya que de acuerdo con Hernández y Cols. (2004), las variables del proyecto ya están dadas por lo que no se puede hacer mucho por modificarlas, es por ello que no pueden ser controladas y por tanto no se puede tener influencia sobre dichas variables; todo ello a consecuencia de que dichos sucesos cambiantes ya hayan sucedido así mismo sus consecuencias.

Teniendo lo anterior en cuenta se puede definir a la investigación no experimental como “los estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos” (Hernández y Cols.; 2004:149). En el buceo de este proyecto, se tienen elementos que provocan el análisis de variables existentes las cuales solo se pueden manejar indirectamente por lo que su estudio se basa en lo no experimental, analizando por medio de comportamientos, comparaciones, reacciones y/o referencias, cayendo en lo práctico para poder realizar las observaciones de los diferentes fenómenos.

4.3. Instrumentos de recopilación de información.

Así mismo para llevar a cabo la ejecución del presente estudio se recurre a herramientas que permiten facilitar los métodos de investigación con el fin de poder obtener datos que son de suma importancia, datos precisos y confiables para hacer verídica toda la información recabada, siendo los instrumentos a utilizar que se mencionan enseguida:

- Encuestas, que son el conjunto de los datos obtenidos mediante preguntas a un número previamente calculado de personas con el fin de recabar datos que nos permitan conocer la situación existente antes de ejecutar dicho proyecto.
- Hoja de cálculo Microsoft Excel, el cual se utilizara para poder calcular, con la utilización de fórmulas y funciones, los diferentes resultados que se necesitaran para los cálculos del proyecto, así sean gráficas, datos numéricos entre otros.
- Estación total, que es un teodolito electrónico el cual tiene adaptado un microprocesador y un distanciómetro con la capacidad de medir distancias, niveles y ángulos, útiles especialmente en la topografía.



Imagen 4.1 Estación total.

(Fuente: www.wikipedia.org:2012).

- Instrumentos de medición manual, los cuales nos permiten medir distancias cortas con el fin de poder obtener datos más precisos, ya que hay ciertos lugares con los cuales la estación total no se alcanzarían a percibir al 100%. Para esto se utilizaran las cintas métricas que van hasta los 50m. y un pie de rey que será utilizable para medidas milimétricas.
- Programa de diseño asistido por computadora (AUTOCAD), el cual servirá para poder procesar los datos obtenidos con la estación total, bajando así los puntos que se hayan tomado en el camino y para posteriormente poder unirlos y formar lo que se conoce como plano de trabajo pudiéndolo procesar en dos o tres dimensiones, dependiendo el caso o la manera en la que se vaya a utilizar.
- Programa de diseño asistido por computadora (CIVILCAD), con el que se podrá utilizar para el diseño de curvas de nivel, trazo del camino, el cálculo de volúmenes, ya sean para excavación, terraplén y/o retiro de material.

4.4. Descripción del proceso de investigación.

El procedimiento a seguir para poder realizar la investigación, se basó en los siguientes pasos:

1. Se procedió a realizar una inspección general de la zona de trabajo, para así poder conocer las características de dicho lugar, esto con el fin de poder dictaminar posibles soluciones al problema que se presenta, y así poder proceder con las acciones pertinentes que se requieran.
2. Se realizaron encuestas a los vecinos de las colonias aledañas a la zona de trabajo, para así poder conocer que tan de acuerdo o desacuerdo pudieran estar los individuos con la realización de la obra.
3. Se dispone de la información recabada para su análisis.
4. Se comienza a concretar el proyecto sobre el cual se va a trabajar, realizando así visitas al lugar de trabajo con las herramientas a ocupar, para poder realizar la visualización de las tareas de ejecución.
5. Control y calidad de los trabajos proyectados, los cuales se lograran a través de una buena ejecución, de inspecciones rutinarias tanto en la obra como en oficina, revisando así que todo vaya en orden.
6. Termino y entrega, lo cual se refiere a entregar a las autoridades competentes el proyecto terminado al 100%, con calidad y por supuesto, con gran funcionalidad para poder resolver los problemas por los cuales se llevó a cabo la ejecución de los trabajos.

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

Dentro de la presente investigación el capítulo 5 aborda la solución que se tiene para la incógnita planteada al inicio de la investigación, teniendo en cuenta la forma de llegar al resultado esperado, obteniendo un resultado estructuralmente seguro. Se muestra el procedimiento de cálculo que se sigue conforme al método AASHTO, de esta manera se obtienen los valores que se proponen para dar solución al planteamiento del problema.

5.1. Tipo de suelo.

Dentro de los estudios que existen para poder iniciar los diseños en un pavimento se necesita saber sobre qué elemento (suelo) se pretende colocar el diseño, para eso es necesario realizar las pruebas correspondientes para determinar el tipo de suelo sobre el que se desea colocar el diseño del pavimento.

Se recurre a realizar una prueba de calidad completa del material en estudio de los cuales la de determinación de granulométrica y los límites de Atterberg podrán definir un parámetro más exacto para poder llevar a cabo el diseño de pavimento de concreto hidráulico. Para llevar a cabo estas pruebas se realizan sondeos en diferentes partes del proyecto, se realiza una excavación (sondeo), con una profundidad aproximada de 50 cms. Para así poder obtener el material más sano de

terreno natural de la zona, una vez obtenidas las muestras de material se realizan las pruebas para obtener los resultados de la siguiente manera. A continuación se muestra la determinación de humedad natural y el peso volumétrico de los materiales:

DETERMINACIÓN DE HUMEDAD NATURAL Y PESO VOLUMÉTRICO DE LOS MATERIALES

OBRA:	Pavimentación de la Calle Delicias				
LOCALIZACION:	Uruapan, Michoacán				
PROF. Y ENSAYE No.:	80 cm. Ensaye 1	SONDEO	No.: 1	FECHA:	20/09/12
DESCRIPCION MATERIAL:	Limo con contenido rocoso			REALIZO:	Julián Castillo

TIPO DE MATERIAL	PESO HÚMEDO (grs)	PESO SECO (grs)	PESO DEL MOLDE (kg.)	VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)	PESO DEL MATERIAL SECO Y SUELTO (kg.)
	300	229.3	7920	AASHTO MODIFICAD O CON ANILLO	12,200
					(con molde)

DETERMINACIÓN DE HUMEDAD NATURAL Y PESO VOLUMÉTRICO DE LOS MATERIALES

OBRA:	Pavimentación de la Calle Delicias				
LOCALIZACION:	Uruapan, Michoacán				
PROF. Y ENSAYE No.:	80 cm. Ensaye 2	SONDEO	No.: 2	FECHA:	20/09/12
DESCRIPCION MATERIAL:	Limo con fragmentos de material de desperdicio			REALIZO:	Raymundo Ávila

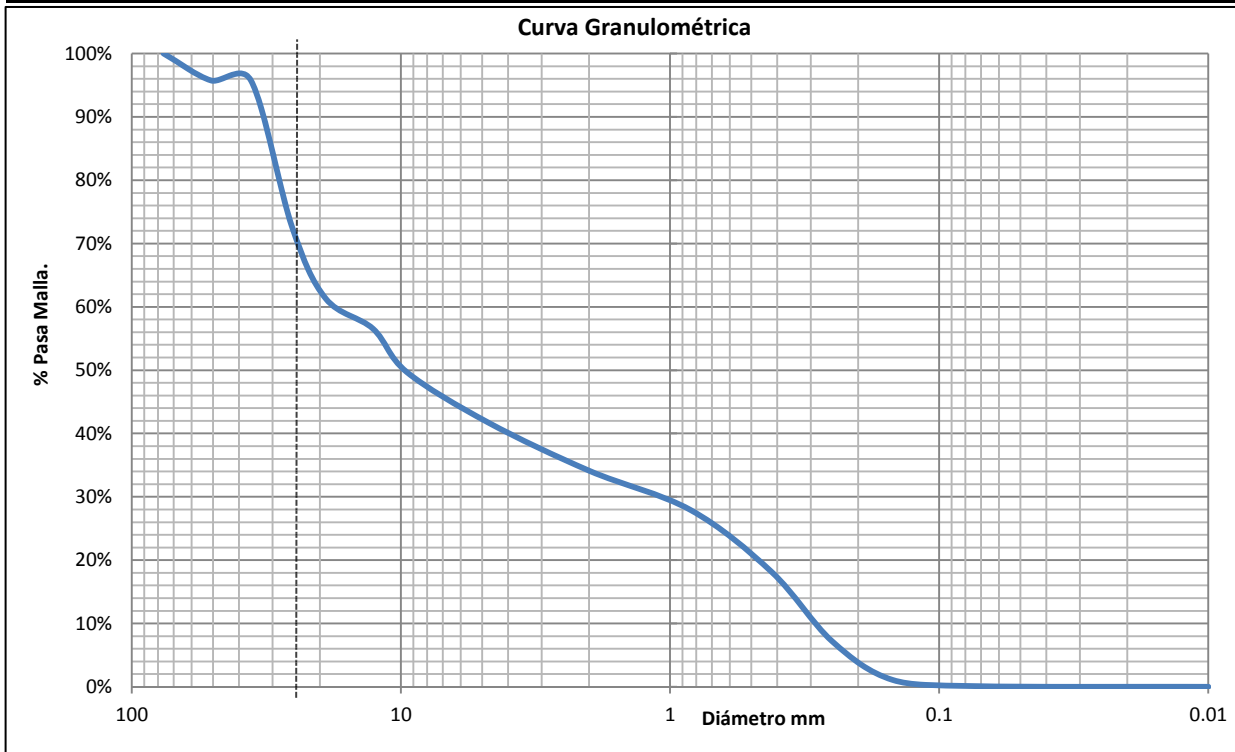
TIPO DE MATERIAL	PESO HUMEDO (grs)	PESO SECO (grs)	PESO DEL MOLDE (kg.)	VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)	PESO DEL MATERIAL SECO Y SUELTO (kg.)
	300	226.8	7920	AASHTO MODIFICAD O CON ANILLO	11,750
					(con molde)

Para poder determinar la calidad del material se procede a realizar la granulometría y/o clasificación por tamaños del suelo:

GRANULOMETRÍA O CLASIFICACION POR TAMAÑOS DEL SUELO

OBRA <u>Pavimentación de la Calle Delicias</u>	DESPERDICIO % RET 2" <u>--</u>	FECHA <u>20/09/2012</u>
LOCALIZACION <u>Uruapan, Michoacán</u>	PESO SECO GRUESO (gm) <u>3000.00</u>	
ENSAYE No. <u>1</u> No. <u>1</u>	PESO SECO FINO (gm) <u>500.00</u>	% W NAT. <u>--</u>
MUESTRA No. <u>1</u> PROF. <u>80 cm.</u>	PESO NETO DE MAT. "kg" <u>--</u>	OPERADOR <u>Julián</u>
DESCRIPCION DEL MAT. <u>Limo con contenido rocoso</u>	VOLUMEN MOLDE "m3" <u>--</u>	CALCULO <u>Julián</u>
TIPO DE GRANULOMETRIA: <u>Por tamiz</u>	PESO VOLUMETRIC "Ton/m3" <u>--</u>	Vo. Bo. <u>--</u>

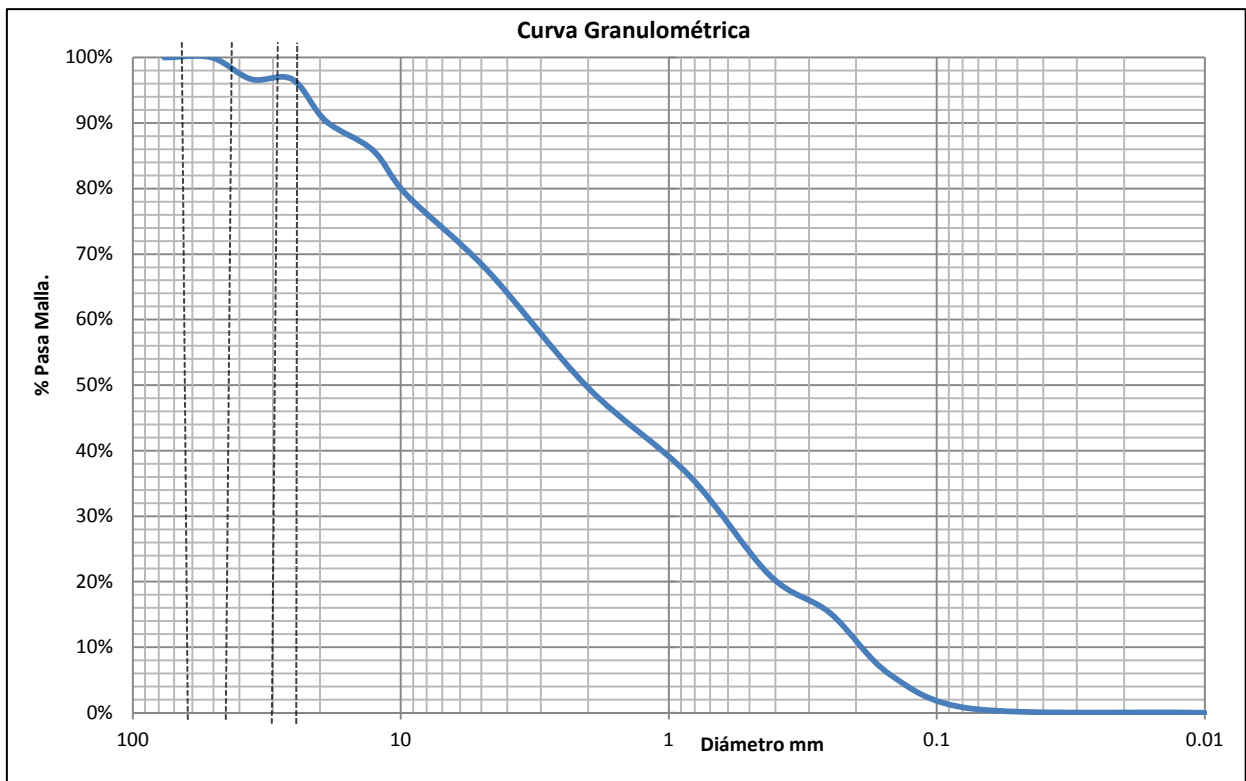
GRANULOMETRIA GRUESA HASTA MALLA No.4					GRANULOMETRIA FINA POR LAVADO HASTA MALLA No. 200				
Abertura Malla mm.	Malla Pulgadas	Peso retenido Parcial (Kg)	% Retenido Parcial	% Pasa malla Parcial	Abertura Malla mm.	Malla No.	Peso retenido Parcial (gms)	% Retenido Parcial	% Pasa malla Parcial
76.2	3"	0	0	100.00%					
50.8	2"	126.7	4.25%	95.75%	2	10	89.8	7.65%	34.13%
36.1	1 1/2"	0	0.00%	95.75%	0.84	20	72.8	6.20%	27.93%
25.4	1"	689.9500	23.13%	72.63%	0.42	40	114.7	9.77%	18.16%
19.05	3/4"	337.2000	11.30%	61.32%	0.25	60	128.9	10.97%	7.19%
12.7	1/2"	142.7000	4.78%	56.54%	0.149	100	71.7	6.10%	1.09%
9.52	3/8"	203.8000	6.83%	49.71%	0.074	200	11.5	0.97%	0.11%
4.76	No. 4	236.7000	7.93%	41.77%		Pasa 200	1.3	0.11%	
	Pasa No. 4	1246.2000	41.77%			SUMA	490.650	41.77%	
	SUMA	2983.25	100.00%						



GRANULOMETRIA O CLASIFICACION POR TAMAÑOS DEL SUELO

OBRA <u>Pavimentación de la Calle delicias</u> LOCALIZACION <u>Uruapan, Michoacán</u> ENSAYE No. <u>2</u> SANDEO No. <u>2</u> MUESTRA No. <u>2</u> PROF. <u>80 cm.</u> DESCRIPCION DEL MAT. <u>Limo con fragmentos de material de desperdicio</u> TIPO DE GRANULOMETRIA: <u>Por tamiz</u>	DESPERDICIO % RET 2" <u>--</u> FECHA <u>20/09/2012</u> PESO SECO GRUESO (gm) <u>3000</u> PESO SECO FINO (gm) <u>500</u> % W NAT. <u>--</u> PESO NETO DEL MAT. "Kg" <u>--</u> OPERADO R <u>Raymundo</u> VOLUMEN MOLDE "Ton/m³" <u>--</u> CALCULO <u>Raymundo</u> PESO VOLUMETRICO "Ton/m³" <u>--</u> Vo. Bo. <u>--</u>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

GRANULOMETRIA GRUESA HASTA MALLA No.4					GRANULOMETRIA FINA POR LAVADO HASTA MALLA No. 200				
Abertura	Malla	Peso retenido	% Retenido	% Pasa malla	Abertura	Malla	Peso retenido	% Retenido	% Pasa malla
Malla mm.	Pulgadas	Parcial (Kg)	Parcial	Parcial	Malla mm.	No.	Parcial (gms)	Parcial	Parcial
76.2	3"	0	0	100.00%					
50.8	2"	0	0.00%	100.00%	2	10	130.8	17.94%	49.61%
36.1	1 1/2"	99.3	3.32%	96.68%	0.84	20	97.6	13.38%	36.23%
25.4	1"	0.0000	0.00%	96.68%	0.42	40	111.2	15.25%	20.98%
19.05	3/4"	190.4000	6.36%	90.32%	0.25	60	42.0	5.76%	15.22%
12.7	1/2"	134.0000	4.48%	85.84%	0.149	100	68.7	9.42%	5.80%
9.52	3/8"	202.8000	6.78%	79.07%	0.074	200	37.7	5.17%	0.63%
4.76	No. 4	344.8000	11.52%	67.55%		Pasa 200	4.6	0.63%	
	Pasa No. 4	2021.7000	67.55%			SUMA	492.600	67.55%	
	SUMA	2993	100.00%						



Ahora bien se procede a realizar la determinación del peso volumétrico seco
(Prueba AASHTO):

DETERMINACIÓN DE HÚMEDAD NATURAL Y PESO VOLUMÉTRICO DE LOS MATERIALES

TIPO DE OBRA:	Pavimentación de la Calle Delicias		
LOCALIZACION:	Uruapan, Michoacán		
ENSAYE No.:	1	SONDEO No.:	1
DESCRIPCION MATERIAL:	Limo con contenido rocoso	CAPA:	80 cm.
KILOMETRAJE:	--	REALIZO:	Julián Castillo
		FECHA:	21/09/2012

No. DE CAPAS: 3	GOLPES POR CAPA: 56				TIPO DE PRUEBA: AASHTO ESTÁNDAR	
PRUEBA No.	1	2	3	4	5	6
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO (gms)	9400	9700	9800	9600		
HUMEDADES						
PESO SUELO HUMEDO (gms)	200	200	200	200		
PESO SUELO SECO (gms)	161.4	149	147.7	146.1		

DETERMINACION DE HUMEDAD NATURAL Y PESO VOLUMETRICO DE LOS MATERIALES

TIPO DE OBRA:	Pavimentación de la Calle Delicias		
LOCALIZACION:	Uruapan, Michoacán		
ENSAYE No.:		SONDEO No.:	2
DESCRIPCION MATERIAL:	Limo con fragmentos de material de desperdicio	CAPA:	80 cm.
KILOMETRAJE:	--	REALIZO:	Raymundo Ávila
		FECHA:	21/09/2012

No. DE CAPAS: 3	GOLPES POR CAPA: 56				TIPO DE PRUEBA: AASHTO ESTÁNDAR	
PRUEBA No.	1	2	3	4	5	6
PESO MOLDE + SUELO HUMEDO (gms)	9100	9500	9574	9500		
HUMEDADES						
PESO SUELO HUMEDO (gms)	200	200	200	200		
PESO SUELO SECO (gms)	170.05	157.8	157.3	157		

A continuación se muestran las pruebas que fueron realizadas mediante las pruebas denominadas “Límites de consistencia o de Atterberg”.

LÍMITES DE CONSISTENCIA O DE ATTERBERG

TIPO DE OBRA:	Pavimentación de la Calle Delicias	FECHA:	21/09/2012
LOCALIZACION:	Uruapan, Michoacán	MUESTRA No.	1
ENSAYE Y PROF.	E1 80 cm.	SONDEO NO.	1
DESCRIPCION MATERIAL:	Limo con contenido rocoso	OPERADOR:	Julián Castillo
		CALCULO:	--

LIMITE LIQUIDO

Prueba No	No. de Golpes	Capsula No.	Peso Capsula + Suelo Húmedo (gr)	Peso Capsula + Suelo Seco (gr)	Peso del Agua (gr)	Peso Capsula (gr)	Peso Suelo Seco (gr)	Contenido de Agua W (%)
1	16	25	33.80	24.80	9.00	7.92	16.88	53.32
2	24	17	34.60	25.70	8.90	8.20	17.50	50.86
3	37	16	35.40	26.00	9.40	6.60	19.40	48.45
4	48	22	36.10	27.10	9.00	6.45	20.65	43.58
5								

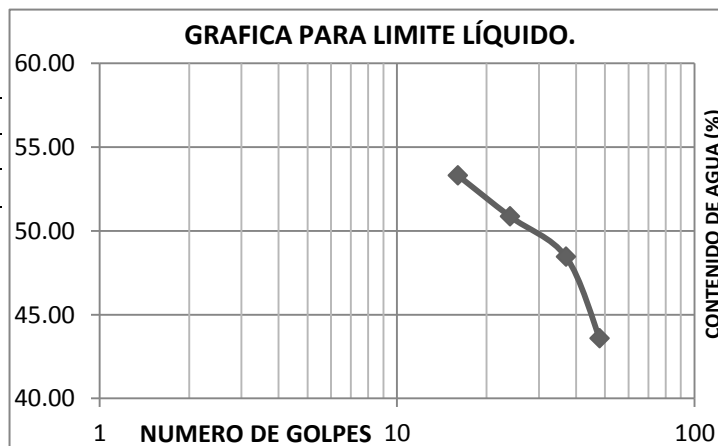
LIMITE PLASTICO

Prueba No.	Capsula No.	Peso Capsula + Suelo Húmedo (gr)	Peso Capsula + Suelo Seco (gr)	Peso del Agua (gr)	Peso Capsula (gr)	Peso Suelo Seco (gr)	Contenido de Agua W (%)
1	13	10.60	9.70	0.90	7.47	2.23	40.36
2	27	10.10	9.00	1.10	6.25	2.75	40.00
3							

LIMITE DE CONTRACCION

Cápsula No.	Tipo de Prueba	Peso Capsula + Suelo Húmedo (gr)	Peso Capsula + Suelo Seco (gr)	Peso del Agua (gr)	Peso Capsula (gr)	Peso Suelo Seco (gr)	Contenido de Agua W (%)
	Lineal	10.60		0.90			40.36
	Longitud Inicial (cm)		Long. Final (cm)				Contracción Lineal (%)
	Volumétrica	10.10		1.10			47.62
	Vol. Inicial cm3		Volumen Final cm3				Contracción Volumétrica (%)
	Peso Vol. Mercurio kg/m3		Peso Mercurio desalojado (gr)				

HUMEDAD NATURAL W (%) =	35.00
LIMITE LÍQUIDO LL (%) =	48.00
LIMITE PLÁSTICO LP (%) =	40.18
INDICE PLÁSTICO IP (%) =	7.82



LÍMITES DE CONSISTENCIA O DE ATTERBERG

TIPO DE OBRA:	Pavimentación de la Calle Delicias	FECHA:	21/09/2012
LOCALIZACION:	Uruapan, Michoacán	MUESTRA No.	2
ENSAYE Y PROF.	E2 80 cm.	SONDEO NO.	2
DESCRIPCION MATERIAL:	Limo con fragmentos de material de desperdicio	OPERADOR:	Raymundo Ávila
		CALCULO:	--

LIMITE LIQUIDO

Prueba No	No. de Golpes	Capsula No.	Peso Capsula + Suelo Húmedo (gr)	Peso Capsula + Suelo Seco (gr)	Peso del Agua (gr)	Peso Capsula (gr)	Peso Suelo Seco (gr)	Contenido de Agua W (%)
1	18	25	34.40	25.80	8.60	7.92	17.88	48.10
2	22	19	35.60	26.70	8.90	8.20	18.50	48.11
3	37	16	36.40	27.00	9.40	6.60	20.40	46.08
4	46	22	37.30	28.10	9.20	6.45	21.65	42.49
5								

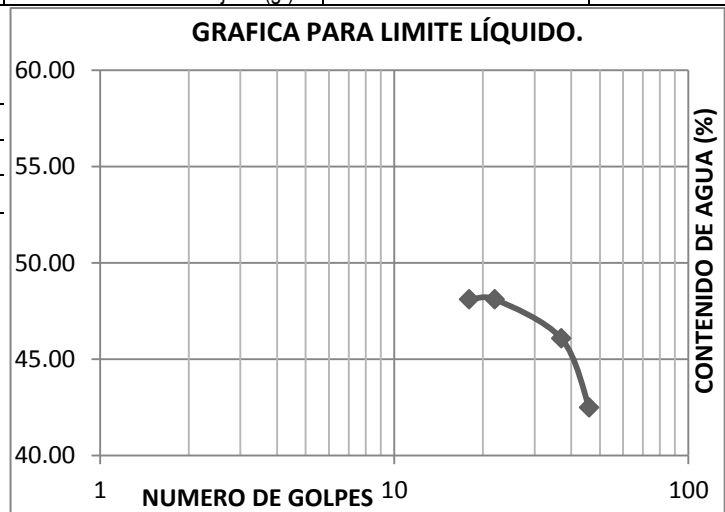
LIMITE PLASTICO

Prueba No.	Capsula No.	Peso Capsula + Suelo Húmedo (gr)	Peso Capsula + Suelo Seco (gr)	Peso del Agua (gr)	Peso Capsula (gr)	Peso Suelo Seco (gr)	Contenido de Agua W (%)
1	13	10.20	9.60	0.60	7.47	2.13	28.17
2	27	10.40	9.30	1.10	6.25	3.05	36.07
3							

LIMITE DE CONTRACCION

Cápsula No.	Tipo de Prueba	Peso Capsula + Suelo Húmedo (gr)	Peso Capsula + Suelo Seco (gr)	Peso del Agua (gr)	Peso Capsula (gr)	Peso Suelo Seco (gr)	Contenido de Agua W (%)
	Lineal	10.20	9.60	0.60	7.47	2.13	28.17
	Longitud Inicial (cm)		Long. Final (cm)		Contracción Lineal (%)		
	Volumétrica	10.40	9.30	1.10	6.69	2.61	42.15
	Vol. Inicial cm3		Volúmen Final cm3		Contracción Volumétrica (%)		
	Peso Vol. Mercurio kg/m3		Peso Mercurio desalojado (gr)				

HUMEDAD NATURAL W (%) =	35.00
LIMITE LÍQUIDO LL (%) =	48.00
LIMITE PLÁSTICO LP (%) =	32.12
INDICE PLÁSTICO IP (%) =	15.88



Para poder hacer el diseño del pavimento se necesita saber la determinación del valor relativo de soporte, para el cual se hicieron las pruebas que a continuación se presentan:

DETERMINACION DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE

TIPO DE OBRA:	Pavimentación de la Calle Delicias		
LOCALIZACION:	Uruapan, Michoacán		
KILOMETRAJE:	---	FECHA:	20/09/2012
ENSAYE:	1	SONDEO No.:	1
PROFUNDIDAD:	80 cm.	CAPA:	---
DESCRIPCION DEL MATERIAL:	Limo con contenido rocoso		

DATOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA AASTHO MODIFICADA					
DEFORMACION (mm)	LECTURA DE CARGA (PLG)	PESO HÚMEDO		PESO SECO	
		300 GRS		242.7 GRS	
50	0.113	EXPANSIÓN			
100	0.302	MOLDE	L. INICIAL	L. FINAL	
150	0.41	10	9.39	8.79	
200	0.492				
300	0.629				
400	0.738	H1=	H2=	H3=	H4=
500	0.833	9.68	9.61	9.65	9.53

CALIDAD DE LA MUESTRA	BUENA
------------------------------	-------

VALOR RELATIVO DE SOPORTE	11.33
----------------------------------	-------

DETERMINACION DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE

TIPO DE OBRA:	Pavimentación de la Calle Delicias		
LOCALIZACION:	Uruapan, Michoacán		
KILOMETRAJE:	---	FECHA:	20/09/2012
ENSAYE:	2	SONDEO No.:	2
PROFUNDIDAD:	80 cm.	CAPA:	---
DESCRIPCION DEL MATERIAL:	Limo con fragmentos de material de desperdicio		

DATOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA AASTHO MODIFICADA		PESO HÚMEDO		PESO SECO	
DEFORMACION (mm)	LECTURA DE CARGA (PLG)	300 GRS		255.2 GRS	
50	0.101	EXPANSIÓN			
100	0.29	MOLDE	L. INICIAL	L. FINAL	
150	0.39	10	10.45	9.86	
200	0.452				
300	0.601				
400	0.73	H1=	H2=	H3=	H4=
500	0.812	10.43	10.4	10.42	10.46

CALIDAD DE LA MUESTRA	BUENA
------------------------------	-------

VALOR RELATIVO DE SOPORTE	9.03
----------------------------------	------

5.2. Diseño de pavimento de concreto hidráulico.

En el presente apartado se mostrarán las variantes que llevarán a realizar el diseño del pavimento rígido con una capa de concreto hidráulico, el cual tendrá un desarrollo por medio del método PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA). Donde entra una variable muy importante para el diseño; el Valor Soporte de California (C.B.R.) también conocido en México como el Valor Relativo de Soporte (VRS), sustentado por los datos arrojados del estudio de la sub-rasante que en este caso es el terreno natural obteniendo como dato primordial el valor de los sondeos para posteriormente obtener el VRS mínimo que se implementara para el diseño de dicho pavimento.

El método se basa principalmente en la comparación de los esfuerzos que se presentan en una carpeta de concreto hidráulico, mejor dicho compara las cargas provocadas por los ejes de los vehículos respecto de la resistencia que presenta el pavimento rígido. Se tiene en cuenta para el diseño las características de la sub-base ya que es sobre esta capa que se estará desplantando o bien es la que soportara parte de los esfuerzos por lo que es de vital importancia para el diseño que se tome en cuenta lo que podría pasar con dicha capa o bien que si se tiene un mal comportamiento en la sub-base esto repercutirá gravemente en el funcionamiento de pavimento. El diseño y cálculos se basan en las Normas Técnicas de la SCT a igual que los manuales de Cemex. Manuales de la SCT y apoyos técnicos en distintos libros citados es las diferentes gráficas o tablas presentadas durante el diseño.

Dato importante, el aforo vehicular con el que se calculan los vehículos que estarán contemplados para un cierto periodo de años que para el presente diseño es de 20 años y que a su vez influye en los porcentajes de los esfuerzos provocados por tal número de vehículos. La expresión para calcular la proyección del tránsito es la siguiente:

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

Dónde:

Las incógnitas de tal ecuación se encuentran en el concentrado de datos del diseño. Donde, para obtener el dato de la Tasa de crecimiento por año se encuentra en la siguiente tabla:

Tasa de crecimiento anual, %	Factor de proyección	
	a 20 años	a 40 años
1.0	1.1	1.2
1.5	1.2	1.3
2.0	1.2	1.5
2.5	1.3	1.6
3.0	1.3	1.8
3.5	1.4	2.0
4.0	1.5	2.2
4.5	1.6	2.4
5.0	1.6	2.7
5.5	1.7	2.9
6.0	1.8	3.2

Tabla 5.1. Factores de proyección para crecimiento anual.

(Fuente: *Pavimentos de concreto para carreteras; IMCYC: 2002*).

Se diseñará para un crecimiento del 50% del v_{ten} en los 20 años por lo que se obtiene un valor de $TS= 1.2 \%$.

El número de carriles para el proyecto se toma con valor de 1, con referencia a que se pretende que la vialidad cumpla funciones en un solo sentido y teniendo en cuenta que se lleva paralelamente con el aforo vehicular también en un solo sentido. El método, por analizar las cargas de los ejes, se enfoca en las cargas con mayor daño hacia la estructura del pavimento que en tal caso es el tráfico pesado.

Clasificación de la vialidad	Factor de seguridad
Carreteras principales, vialidades de carriles múltiples, con alto volumen de tránsito pesado	1.2
Carreteras y vialidades urbanas con volumen moderado de tránsito pesado	1.1
Carreteras y calles con bajo volumen de tránsito pesado	1.0


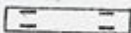
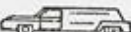








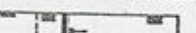



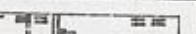


Tabla 5.2. Factores de seguridad de cargas.

(Fuente: *Pavimentos de concreto para carreteras; IMCYC: 2002*).

De la anterior tabla se toma un valor para el Factor de Correlación de Tránsito igual a 1.1 por tratarse de un diseño con un volumen moderado en vialidad urbana de tipo secundario.

La clasificación de los vehículos se da con respecto a lo establecido en la tabla siguiente, en donde se presenta el tipo de vehículo así como la simbología que

se emplea para su distinción. La representación se da por el tipo de eje, sabiéndose que se tienen sencillos (de un solo eje) y tándem (doble eje).

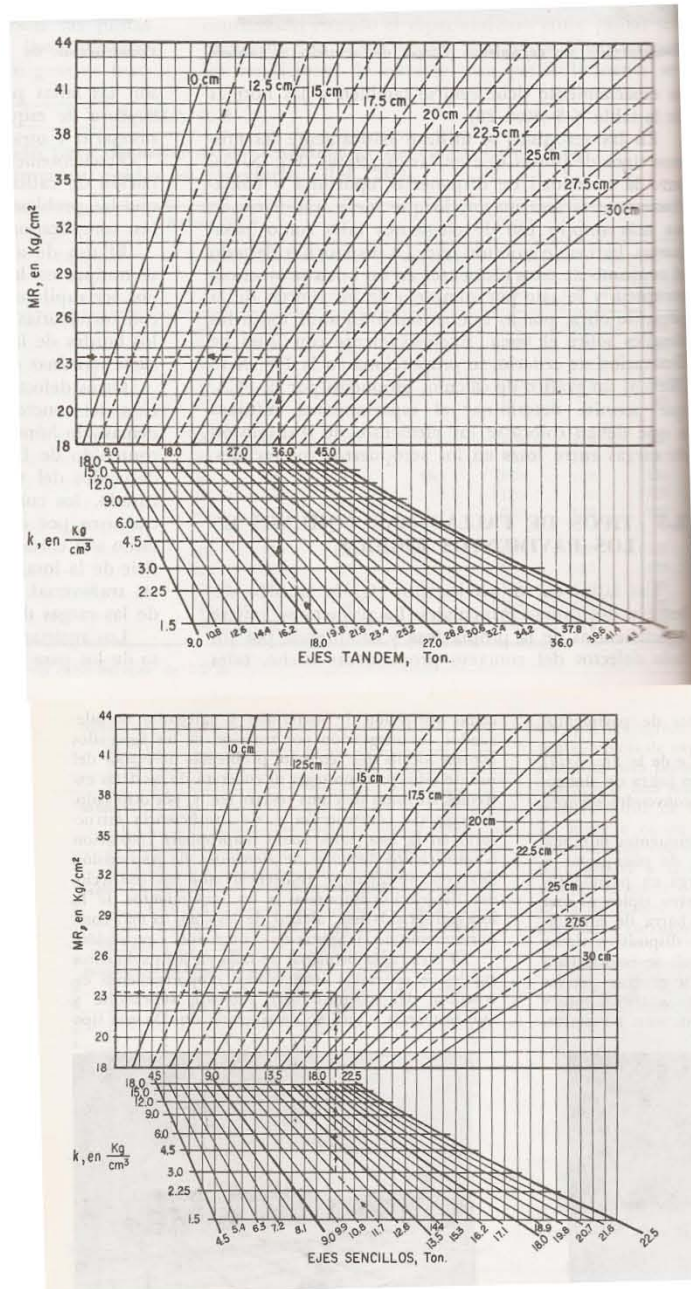
TIPO DE VEHICULO	NUM. DE EJES	ESQUEMAS		SIMBOLO	PORCENTAJE RESPECTO AL TOTAL DE CAMIONES	PORCENTAJE RESPECTO AL TOTAL DE VEHICULOS		
		PERFIL	PLANTA					
AUTOMOVILES	2			Ap	—	45	58	
CAMONETAS				Ac		12		
AUTOBUSES	2			B	—	12	42	
CAMIONES	2			C2	73	100		30
	3			C3	13			
				T2-S1				
	4			T2-S2	7			
	5			T3-S2	7			
			T2-S1-R2					
		OTRAS COMBINACIONES						
CAMIONES Y/O REMOLQUES ESPECIALES				V ⁿ _{n=variable}	VARIABLE			
MASINARIA AGRICOLA	VARIABLE							
BICICLETAS Y MOTOCICLETAS								
OTROS								

CLASIFICACION GENERAL DE LOS VEHICULOS

Tabla 5.3. Clasificación de los vehículos.

(Fuente: Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras; SCT).

Con el apoyo de las siguientes graficas se determina los esfuerzos actuantes sobre la losa de concreto hidráulico provocada por las diferentes cargas a transitar por dicha vía.



Gráfica 5.1. Determinación de los esfuerzos causados por ejes sencillos y tándem.

(Fuente: *Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres*; Rico: 1996).

Después de haber obtenido los parámetros anteriores el diseño del pavimento conforme al PCA arroja los siguientes resultados teniendo en cuenta los siguientes formatos:

ANÁLISIS PARA EL TRÁNSITO							
DATOS ARROJADOS DEL AFORO VEHICULAR:							
A =	58.00%	A2 =	30.00%	B2, B3 =	3.00%	Días de aforo:	4.0
C2 =	4.00%	C3 =	5.00%	T2 - S1 =	0.00%	Horas de aforo:	8
T2 - S2 =	0.00%	T3 - S2 =	0.00%	T3 - S3 =	0.00%	Fecha del aforo:	24-oct-12
Sumatoria de porcentajes=		100.00%					
DATOS REQUERIDOS PARA EL DISEÑO:				PROYECCION DE TRANSITO.			
TPDA	1385.0	Tránsito promedio diario anual.		$vt = \frac{TDPA (FP)}{N} \left(\frac{Tcp}{100}\right) \left(\frac{CCP}{100}\right) (365)$			
TS=	1.20%	Tasa de crecimiento anual.					
n =	20.0	P. de diseño (años).					
FP =	1.27	Factor de Proyección.					$FP = (1 + TS)^n$
N =	1.0	Número de carriles en un sentido.					
Tcp =	9.00%	Porcentaje de vehículos pesados.					
CCP =	1.1	Factor corrección de tránsito en el carril de diseño.		vt = 1,270,627.00 vehíc.			

TIPO DE OBRA: Pavimentación de la Calle Delicias y conexión con Av. Latinoamericana.

LOCALIZACIÓN: Uruapan, Michoacán. FECHA: 25 de Octubre del 2012

MÉTODO DE DISEÑO: Procedimiento de la Asociación de Cemento Portland (PCA)

REPETICIONES ESPERADAS.														
Tipo de Vehículo.	Peso Total (Ton)	Composición de Tránsito	Número de Vehículos	Número de Ejes del Vehículo			Peso de los Ejes. (Ton)		Clasificación de Ejes		Total Ejes C/1000 Vehic	REPETICIONES ESPERADAS		
				Delanteros	Traseros	TOTAL ES	Delanteros	Traseros	Peso Eje	Total Ejes				
EJES SENCILLOS														
A2	2.0	88.0%	1219	1219	1219	2438	1.0	1.0	1	2438	1760.29	2,236,670.48		
B2	15.5	3.0%	42	42	42	84	5.5	10.0	5.5	166	119.86	152,291.76		
C2	15.5	4.0%	55	55	---	55	5.5	---	10	42	30.32	38,531.65		
C3	23.0	5.0%	69	69	---	69	5.5	---						
T2-S1	24.5	0.0%	0	0	---	0	5.5	---						
T2-S2	31.5	0.0%	0	0	---	0	5.5	---						
T3-S2	39.0	0.0%	0	0	---	0	5.5	---						
T3-S3	43.0	0.0%	0	0	---	0	5.5	---						
EJES TANDEM														
C2	15.5	4.0%	55	---	55	55	---	18.0	18	124	89.53	113,760.11		
C3	23.0	5.0%	69	---	69	69	---	18.0	22.5	0	0.00	0.00		
T2-S1	24.5	0.0%	0	0	0	0	18.0	18.0						
T2-S2	31.5	0.0%	0	0	0	0	18.0	18.0						
T3-S2	39.0	0.0%	0	0	0	0	18.0	22.5						
T3-S3	43.0	0.0%	0	0	0	0	18.0	22.5						

TIPO DE OBRA: Pavimentación de la Calle Delicias y conexión con Av. Latinoamericana.
 LOCALIZACIÓN: Uruapan, Michoacán. FECHA: 01 de Noviembre del 2012
 MÉTODO DE DISEÑO: Procedimiento de la Asociación de Cemento Portland (PCA). Gráfico.

PROPUESTA PARA EL DISEÑO.

LOSA DE CONCRETO HIDRUÁLICO.

Módulo de Ruptura $kg/cm^2 =$ 41.00
 Concreto $f'c$ $kg/cm^2 =$ 341.67
 Factor de seguridad=1.1
 Tipo de vialidad=Urbana Secundaria.

SUBRASANTE Y CAPA DE APOYO.

Clasificación de Subrasante : MH (SUCS anexo)
 %VRS subrasante. 30.48 %
 Módulo de Reacción SR: 9.50 kg/cm^3
 Clasificación de Sub-base / Base : GW (SUCS anexo)
 %VRS sub-base/base. 90.00 %
 Módulo de Reacción SB/B: 21.00 kg/cm^3
 Módulo de Reacción diseño: 21.00 kg/cm^3

DETERMINACION DE LA FATIGA CONSUMIDA EN BASE A PROPUESTA DE ESPESORES:

SUPONIENDO UN ESPESOR DE LOSA DE 15 cm					
Peso por Eje	Peso afectado por F.S.	Esfuerzo actuante	Relación de Esfuerzos	Repeticiones permisibles	Porcentaje de Fatiga consumido
EJES SENCILLOS					
1.0	1.1	< 18	0.50	INFINITAS	0.0%
5.5	6.1	< 18	0.50	INFINITAS	0.0%
10.0	11.0	23.2	0.57	75,000.00	51.4%
EJES TANDEM					
18.0	19.8	20.8	0.51	400,000.00	28.4%
22.5	24.8	25.0	0.61	24,000.00	0.0%

SUMA = 80% MENOR AL 100% ¡OK!

5.2.1. Estructura del pavimento.

En base al cálculo anterior para la capa de concreto hidráulico y a la calidad de material de sub-rasante se opta por colocar una capa de sub-base que lleve un espesor mínimo de 20 centímetros de material triturado para obtener un VRS del 90% y una compactación al 100% de la prueba ASSTHO en la capa adyacente, a la de concreto según las normas técnicas de la SCT, teniendo en cuenta la siguiente estructura de pavimento para todo el tramo, mostrado en la figura siguiente:


ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PROPUESTO:		
ESPESOR (cm)	ESTRUCTURA DE PAVIMENTO (por capas)	NOTAS GENERALES.
15.00		CONCRETO HIDRAULICO MR 36 KG/CM2
20.00		SUBBASE HIDRUALICA VRS MIN 60
-----		TERRENO NATURAL

Figura. 5.1. Estructura de pavimento.

Fuente: Propia

5.3 Interpretación global de resultados.

Recabando la información de todo el análisis se hace un recuento de los datos usados y obtenidos. La calzada de la Calle Delicias se propone en base a una estructura de pavimento rígido con una resistencia $f'c=350$ kg/cm² el cual está

considerado sin ningún refuerzo de acero cumpliendo solamente con los requerimiento en cuanto a guarnición y patín el cual se determinara en base al ancho de las losas de concreto.

En la figura 5.1 se aprecia la estructura real de pavimento teniendo en su totalidad un espesor de 35 centímetros, a partir de la sub rasante, de la cual la base hidráulica consta con un espesor de 20 centímetros y la capa de concreto hidráulico requerirá de un espesor de 15 centímetros.

Todo el presente análisis corresponde a el diseño del pavimento de concreto hidráulico en la Calle Delicias para su adecuado funcionamiento así como para servir al desahogo del tráfico que se llega a generar en esta zona debido a la ineficiencia de las vialidades. Todo esto logrado gracias a los estudios de mecánica de suelos que proporcionaron datos que eran de suma importancia para la determinación de los cálculos antes realizados.

CONCLUSIONES

La necesidad que se tiene para resolver los problemas de tráfico de la Ciudad de Uruapan, Michoacán, en especial del primer cuadro de la ciudad el cual comprende la zona centro o la zona en estudio, es de vital importancia, pues el crecimiento vehicular que ha tenido la ciudad ha ido generando que las vialidades sean insuficientes para el número de carros que circulan por ellas. Es por lo anterior que se requiere una redistribución de vialidades al igual que la habilitación y rehabilitación de estas.

Teniendo como incógnita en el proyecto como poder resolver el caos vial que se genera en la zona centro y diseñar una estructura de pavimento adecuada para la circulación de los vehículos que por ahí transitaran, se tiene como propuesta una reestructuración de las calles, que en este caso es la Calle 2da. Diagonal de Aldama ya que el aforo vehicular que presenta dicha avenida es excedente para sus capacidades con lo que la habilitación de la Calle Delicias y su conexión con Av. Latinoamericana representa una buena solución en donde se observa la distribución en el plano anexo a este proyecto (Anexo 1).

Se encontró con que el aforo vehicular en la calle que se pretende desahogar el tráfico, es de un Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), es de 1385 vehículos transitados en un solo sentido, es decir, en el sentido en el que se pretende desviar a los automovilistas por esta calle, teniendo en cuenta que solo el 9% del total es de

vehículos pesados, lo cual se consideró como prioridad para obtener el diseño de pavimento.

Una de las formas más adecuadas para liberar el tránsito es la conexión de la Calle Delicias con Av. Latinoamericana, que a causa de que pasa el cauce del río Cupatitzio, se libraría con un puente de dimensiones pequeñas ya que el claro a salvar no requiere una estructura de grandes dimensiones.

Se tiene como obstáculo una pequeña calle que cruza exactamente por donde se pretende realizar la conexión, por lo cual se prevé la reubicación de dichos habitantes que se encuentran dentro de la zona de proyecto, pudiéndose ubicar a estos en el predio ubicado entre las calles de Manuel Pérez Coronado esq. con Avenida Latinoamericana llegándose a un acuerdo justo de compra-venta tanto para el dueño del predio, los habitantes a reubicar y el gobierno estatal.

Para la adecuada distribución del tránsito de la zona en estudio, se requiere la pavimentación de la Calle Delicias, para poder entroncar con la Calle Paris. Se optó por el diseño de un pavimento rígido, con una capa de concreto hidráulico simple, es decir, sin refuerzos de acero. La elección de este tipo de pavimento se toma en cuenta ya que la durabilidad es mucho más alta que la de un pavimento flexible; la inversión inicial es alta pero tiene muchos ahorros en la prevención y conservación de este.

El proceso de diseño del pavimento hidráulico se realizó mediante el método de la Asociación de Cementos Portland (PCA) apoyado de las gráficas y tablas que antes se mencionaron en el diseño. Este método se basa en la comparación de los

esfuerzos que se producen a causa de las cargas provocadas por los ejes y la reacción que hay de la estructura ante dichos esfuerzos. Este método de la PCA es el utilizado actualmente en la mayoría de los diseños para pavimentos de concreto hidráulico por su seguridad ante el diseño por cargas, presentando grandes resultados prácticos ya aplicados en campo.

El método ASSTHO es un proceso el cual también se utiliza para el diseño de los pavimentos rígidos, pero tiene mayor auge sobre los pavimentos flexibles, por lo que no se tiene en consideración a la hora de presentar diseños de concreto hidráulico. Es por ello que el método PCA va ligado con el método mencionado anteriormente, siendo que este participa en las pruebas para determinar el VRS de la subrasante, las pruebas Porter, granulometrías, etc.

El concentrado del estudio arrojó datos que se mencionan a continuación:

- Aforo vehicular: mediante este estudio se pudo determinar la cantidad de vehículos que circulan por dicha vía, para poder así clasificarlos en base a su tamaño y número de ejes. Dicho aforo arrojó un dato de circulación de 1385 vehículos por día.
- Pruebas de laboratorio: La finalidad de estos estudios fue determinar el tipo de suelo que se tiene para el desplante de las estructuras de pavimento, en el cual se encontró un limo con fragmentos de roca en el sondeo número uno, y un limo con fragmentos de desperdicios en el sondeo número dos. En observación en campo y en dichas pruebas de laboratorio arroja que se tienen

características favorables para el diseño del pavimento presentándose un VRS de 30.48% considerado como una buena sub rasante.

- Estructura de pavimento: Para un adecuado diseño en la capa de pavimento, que sirva para la circulación de diferentes tipos de vehículos, el método permite que la estructura se conforme de una sub base con un espesor de 20 centímetros compactada a un 100% de la prueba ASSTHO y que cuente con un VRS mínimo del 90% para cumplir con su función de capa de transmisión de cargas; así mismo el material a manejar será material triturado de banco.

Por último se tiene una capa de concreto hidráulico simple, la cual tiene un espesor de 15 centímetros; esta será de concreto de resistencia $f'c = 350$ kg/cm² hecho en obra con grava $\frac{3}{4}$ " y arena, tendrá un tiempo de fraguado a los 28 días para así poder garantizar que no sufra de grietas o de cualquier otro tipo de falla garantizando su buen funcionamiento.

BIBLIOGRAFIA

- Crespo Villalaz, Ing. Carlos (1980)
Vías de Comunicación.
Edit. Limusa, México.
- Bañón Blázquez, Luis (2010)
Manual de carreteras.
Edit. Universal, Chile.
- Mier Suarez, José Alfonso (1987)
Introducción a la Ingeniería de Caminos.
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México.
- Merrit S. Frederick, et. (2008)
Manual de Ingeniero Civil, Tomo II.
Ed. McGraw Hill, E.U.A.
- Olivera Bustamante, Fernando (2006)
Estructuración de Vías Terrestres.
Compañía Editorial Continental, México.

- Salazar Rodríguez, Ing. Aurelio (2002)
Guía para Diseño y Construcción de Pavimentos Rígidos.
IMCYC
- Dittenhoeffer M., Marc (1990)
Ingeniería de Tránsito.
Edit. Board Member, E.U.A.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes, (S.C.T.) (2010)
Normas y Manuales.
México.
- Secretaria de Obras Públicas de México (1975)
Estructuración de pavimentos.
México.
- Pérez Sepúlveda, Cristian (2011)
Diseño de la estructura de pavimento rígido para el Boulevard Industrial del
Km. 9+800 al 10+900 en la Ciudad de Uruapan, Mich.
Tesis inédita de la escuela de Ingeniería Civil, de la Universidad Don Vasco
A.C., en la Ciudad de Uruapan, Michoacán.

- López Villanueva, Jorge Alberto (2008)
Análisis comparativo del camino Jucutacato – Cutzato tramo del km. 0+000 al km. 3+500, Localidad de Jucutacato, Municipio de Uruapan. Mich.
Tesis inédita de la escuela de Ingeniería Civil, de la Universidad Don Vasco A.C., en la Ciudad de Uruapan, Michoacán.
- Martínez Chávez, Octavio (2001)
Diseño de Pavimento Flexible del camino Libramiento Oriente a la Colonia Manuel Pérez Coronado en Uruapan. Mich.
Tesis inédita de la escuela de Ingeniería Civil, de la Universidad Don Vasco A.C., en la Ciudad de Uruapan, Michoacán.
- Tamayo y Tamayo, Mario (2000)
El proceso de la investigación científica.
Edit. Limusa, México.

Otras fuentes de información.

- <http://normas.imt.mx/carr.htm>
- www.cemexmexico.com
- www.wikipedia.com
- http://dgst.sct.gob.mx/fileadmin/viales-2010/16_michoacan.pdf
- www.manualespdf.com
- <http://www.cemexmexico.com/pavimentos/datosGrales/datosAashto.asp?idPRJ=24979>