



UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.

Incorporación No. 8727-15

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

Escuela de Ingeniería Civil

**PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO
DEL CAMINO QUE CONDUCE DE LOS FRESNOS A URINGUITIRO
EN EL MUNICIPIO DE TANCITARO, MICH.**

Tesis

que para obtener el título de

Ingeniero Civil

presenta:

Ricardo Estrada Hurtado

Uruapan, Michoacán, 2008.

Agradecimiento

*De una manera muy especial y como forma de agradecimiento
dedico este trabajo de investigación,
primeramente a Dios por todos sus favores;
a mis padres,
Ricardo e Imelda por brindarme la oportunidad de crecer y superarme;
a mis hermanas, Bety, Nancy e Isela por su respaldo,
a mi esposa Lulú por su ánimo y apoyo incondicional,
a mis maestros por compartirme sus conocimientos,
y a mis asesores, Lic. Juan Luís, Ing. Blanco, Ing. Sadot,
Ing. Brito, Ing. Parra, Ing. Navarrete,
y demás personas que intervinieron en la realización de este trabajo.*

ÍNDICE

Introducción.

Antecedentes.	1
Planteamiento del problema.	3
Objetivos.	4
Pregunta de investigación	5
Justificación.	5
Delimitación	6

Capítulo 1.- Las vías terrestres

1.1.- Antecedentes de los caminos	8
1.2.- Historia de los caminos	9
1.3.- Inventario de los caminos	10
1.3.1.- Aplicaciones del inventario de caminos	11
1.4.- Elementos de la Ingeniería de Tránsito usados para el proyecto de las vías terrestres	12
1.4.1.- Elementos del tránsito.	13
1.4.1.1.- El usuario	13
1.4.1.2.- El vehículo	14
1.4.1.3.- El camino	18
1.5.- Velocidad	19
1.5.1.- Velocidad de proyecto	19
1.5.2.- Velocidad de operación	20

1.5.3.- Velocidad de punto	22
1.5.4.- Velocidad efectiva	22
1.6.- Volumen de tránsito	22
1.6.1.- Conteos de tránsito	23
1.6.2.- Estudios de origen y destino	24
1.6.3.- Previsión del tránsito	24
1.7.- Densidad de tránsito	25
1.8.- Derecho de vía	26
1.9.- Capacidad y nivel de servicio	27
1.9.1.- Factores que afectan la capacidad y el volumen de servicio de un camino.	29
1.10.- Distancia de visibilidad	31
1.11.- Mecánica de suelos	33
1.11.1.- Tipos de suelos	34
1.11.2.- Estructura de los suelos gruesos y finos	35
1.11.3.- Propiedades volumétricas y gravimétricas	36
1.11.4.- Relación entre volúmenes y pesos	36
1.11.5.- Pesos específicos y volumétricos	37
1.11.6.- Granulometría	38
1.11.7.- Carta de plasticidad	40
1.12.- Clasificación de los suelos	41
1.12.1.- Suelos gruesos	41
1.12.2.- Suelos finos	42

Capítulo 2.- Características de las vías terrestres

2.1.- Alineamiento vertical	44
2.1.1.- Pendiente gobernadora	45
2.1.2.- Pendiente máxima	45
2.1.3.- Pendiente mínima	46
2.1.4.- Longitud crítica	46
2.1.5.- Curvas verticales	46
2.2.- Alineamiento Horizontal	47
2.2.1.- Tangentes	47
2.2.2.- Curvas circulares	48
2.2.2.1.- Curvas circulares simples	48
2.2.2.2.- Curvas circulares compuestas	49
2.3.- Sección transversal	49
2.3.1.- Derecho de vía	50
2.3.2.- Corona	50
2.3.3.- Cunetas	54
2.3.4.- Taludes	55
2.3.5.- Carriles especiales	55
2.4.- Elementos constituyentes de un pavimento	56
2.4.1.- Tipos de Pavimentos	57
2.4.2.- Terracerias	58
2.4.2.1.- Características de las terracerias	59
2.4.2.2.- Desmontes	60
2.4.2.3.- Cortes	60

2.4.2.4.- Préstamos	61
2.4.2.5.- Terraplenes	61
2.4.2.6.- Canales	62
2.4.2.7.- Acarreos para terracerías	62
2.4.3.- Revestimientos	63
2.4.4.- Sub-Bases	63
2.4.5.- Base	65
2.4.6.- Carpeta asfáltica	67
2.4.6.1.- Estabilización de materiales	69
2.5.- Tipos de carpetas	71
2.5.1.- Riego de impregnación	71
2.5.2.- Mejoramiento con productos asfálticos	72
2.5.3.- Aplicación de los productos asfálticos	74
2.6.- Compuestos de una carpeta	77
2.6.1.- Proceso constructivo de mezcla asfáltica en planta o en caliente	77
2.6.2.- Procedimiento constructivo de la carpeta	78
2.6.3.- Carpetas asfálticas por el sistema de riegos.	79
2.6.4.- Carpetas asfálticas de mezcla en el lugar	80
2.6.5.- Riego de sello	81
2.6.6.- Morteros asfálticos	81
2.7.- Compactación	81
2.7.1.- Pruebas de compactación	84
2.8.- Programación de obra	85
2.8.1.- Etapas de una construcción	88

2.8.2.- Programas de construcción	89
2.8.3.- Selección de la maquinaria de construcción	89

Capítulo 3.- Marco de referencia

3.1.- Generalidades.	92
3.2.- Resumen ejecutivo	93
3.3.- Entorno geográfico	95
3.3.1.- Microlocalización	97
3.3.2.- Topografía regional y de la zona	98
3.3.3.- Geología regional y de la zona	99
3.3.4.- Hidrología regional y de la zona	99
3.3.5.- Uso del suelo regional y de la zona	100
3.4.- Informe fotográfico	100
3.4.1.- Informe del tipo de terreno y cobertura vegetal	101
3.4.2.- Problemas de drenaje superficial	104
3.4.3.- Estado físico actual	104
3.4.4.- Vehículos que circulan por la vía	105
3.5.- Estudio de tránsito	106

Capítulo 4.- Metodología

4.1.- Método empleado	108
4.2.- Enfoque de la investigación	109
4.2.1.- Alcance	110
4.3.- Diseño de la investigación	111

4.4.- Instrumentos de recopilación de datos	111
4.5.- Descripción del proceso	112

Capítulo 5.- Análisis de resultados

5.1.- Proceso constructivo	113
5.1.1.- Sub-base	113
5.1.2.- Base	115
5.1.3.- Riego de impregnación	116
5.1.4.- Riego de liga	119
5.1.5.- Carpeta asfáltica	120
5.1.6.- Sello	122
5.2.- Presupuesto existente del pavimento del camino	123
5.3.- Nueva propuesta de presupuesto para la estructura del pavimento	135
5.4.- Análisis del costo de los conceptos de los dos presupuestos	149
5.5.- Análisis final	151

Conclusiones	152
-------------------------------	------------

Bibliografía	155
-------------------------------	------------

Anexos

Resumen

El presente trabajo de investigación de tesis, tiene como título “Proceso constructivo de la estructura del pavimento del camino que conduce de los Fresnos a Urínguitiro en el municipio de Tancítaro, Mich.” en el cual el objetivo principal es proponer el proceso constructivo del pavimento en mención, y presentar adicionalmente una propuesta económica para su construcción; para lo cual es necesario primeramente, responder a la pregunta ¿Cuál es el proceso constructivo de un pavimento? y algunas otras preguntas que se generan y son respondidas a lo largo de la investigación. La construcción de la obra se justifica plenamente, ya que su realización traería beneficios directos a los habitantes de la zona sur del municipio de Tancítaro, facilitando el acceso a servicios de salud, educativos, de seguridad pública; y comerciales para la traslado de productos agrícolas propios de la región principalmente el aguacate. La investigación se integra a traves de cinco capítulos, de los cuales los dos primeros son de carácter teórico, donde se mencionan algunas generalidades sobre las vías terrestres y sus características, así como el procedimiento y normatividad para su construcción; el capítulo cuatro presenta una descripción acerca de la metodología aplicada en el presente trabajo, el cual corresponde al método matemático analítico, con un enfoque cuantitativo de alcance descriptivo y un diseño no experimental de carácter transversal. En el capítulo cinco se presenta además del proceso constructivo del pavimento, un análisis de los costos de construcción de cada uno de los conceptos que intervienen en la obra, presentándolos a manera de presupuesto, juntamente con el análisis de los precios unitarios que intervienen para su obtención.

INTRODUCCIÓN.

Antecedentes.

Desde su existencia, el ser humano ha tenido la necesidad de comunicarse; y uno de los medios principales que permiten al hombre el transportarse de un lugar a otro, son los caminos; de acuerdo con la página www.eudamed.net; los caminos han existido desde siempre, los primeros, eran senderos, carriles o veredas marcados por el uso; y no se producían deliberadamente. Fue con las expediciones guerreras y comerciales, cuando se comenzó con la construcción deliberada de vías de comunicación. Y fueron los países del Mediterráneo oriental y central, los que con la aparición de los vehículos con ruedas comenzaron con la construcción de caminos aptos para su paso denominados “carreteras”.

Países como China, hacia el 1100 a. C. ya contaban con un sistema de comunicaciones terrestres ampliamente desarrollado; mas tarde, imperios como el Persa tenían en su haber una red de caminos para atender las comunicaciones incluyendo algunos tramos pavimentados. Los egipcios, por ejemplo, fueron los primeros en utilizar losas de piedra en la construcción de carreteras; pero fueron los romanos los que llevaron las técnicas de construcción y la inversión en carreteras a su máximo nivel en aquel entonces, teniendo como fin principal la movilidad de sus legiones, el intercambio comercial y político. Pero durante muchos siglos siguientes, las vías terrestres quedaron relegadas a lugares secundarios; fue hasta el siglo XVIII que los franceses contaron con una red caminera que propició un gran desarrollo económico e hizo de estos el modelo a seguir por los países que aspiraban al desarrollo.

Hacia el siglo XIX se da en Europa, una verdadera fiebre por la construcción de caminos y mejora de las existentes, actitud que fue imitada por los países del continente americano; y en la que aplicaban la técnica de pavimentación del firme con piedras trituradas durante gran parte del siglo XX. En la actualidad, se han ido mejorando y perfeccionando las técnicas de construcción, haciendo de las vías terrestres uno de los principales medios de comunicación.

Considerando que en el desarrollo de una localidad, juega un papel muy importante la accesibilidad al mismo; es decir, es de vital importancia que tenga vías de comunicación rápidas y en buenas condiciones, que permitan el óptimo desplazamiento de sus productos y servicios. En la República Mexicana, podemos observar que sobre todo en las áreas rurales, se cuenta con un deficiente sistema carretero, ya que la nula existencia y las malas condiciones de conservación de las vías actuales, dificultan el adecuado crecimiento de estas regiones.

En el caso del Municipio de Tancítaro, Michoacán, donde existe una creciente actividad económica provocada por la producción de aguacate, actualmente hay un ligero crecimiento en la construcción de carreteras; ya que hace 5 años que se comenzaron a realizar pavimentaciones de algunas terracerías al interior del municipio; esto permiten a los agricultores transportar sus productos de una manera mas eficiente, y sin dañar el fruto. Una de las vías terrestres principales que existen en esta zona, es la que comunica a los municipios de Tancítaro - Buenavista y que actualmente presenta un avance aproximado de 50%, mejorando la accesibilidad a localidades importantes como El Limón (Buenavista), Pareo, Los Fresnos y Tancítaro, beneficiando a gran número de personas que viven al sur del municipio.

Planteamiento del Problema.

Considerando que el municipio de Tancítaro es uno de los principales productores a nivel nacional de aguacate, ya que cuenta con más de 30,000 hectáreas de cultivo de este fruto y casi el 50% de la producción anual en el país, Tancítaro es en su mayoría un municipio rural con escasa dotación de servicios y una geografía muy accidentada por su ubicación en zona montañosa; sus habitantes han ido padeciendo entre otras carencias, la falta de caminos en buenas condiciones que permitan transportar sus productos y comunicarse de una manera más eficiente con la cabecera Municipal. Actualmente, como las más importantes, existe la carretera que comunica a Tancítaro con el municipio de Peribán, pasando por una de las tres tenencias, la de Apo del Rosario, y la carretera que comunica con Nuevo San Juan Parangaricutiro, pasando por localidades importantes como Condébaro y Araparícuaro; sin embargo, fue hasta el año 2004 cuando se comenzó con la construcción de uno de los caminos más importantes que permitirá comunicar a la Población de Tancítaro con la Tenencia de Pareo y el municipio de Buenavista, pasando por la localidad de Los Fresnos, registrando hasta el momento un avance aproximado del 50%; y es precisamente en este entorno, en el que se realiza el presente proyecto, ya que se considera de gran importancia la construcción de una carretera que comunique a la tercer tenencia con la que cuenta el municipio, con la vía antes mencionada; es decir, el proyecto motivo de este trabajo, corresponde a la construcción de la estructura del pavimento, del tramo carretero que comunica a la tenencia de Urínguitiro con Los Fresnos en el municipio de Tancítaro Mich., ya que es la única tenencia del municipio que no cuenta con carretera pavimentada que permita tener una mejor comunicación con las localidades vecinas y con la cabecera.

Objetivos.

Como es bien sabido, el desarrollo de una comunidad, además de los servicios existentes, depende en gran medida de las comunicaciones con las que cuente; específicamente es de gran trascendencia para el desarrollo de un pueblo, el contar con caminos seguros y en buenas condiciones que permitan el intercambio comercial; ya que de ellos depende en consecuencia la facilidad para movilizar materias primas y productos elaborados para acceder al consumidor.

Por tal motivo, en la presente investigación de tesis, se trabajará para dar respuesta a un objetivo principal que es el de proponer el Proceso Constructivo de la estructura del pavimento del camino que conduce de Los Fresnos a Urínguitiro en el Municipio de Tancítaro Mich. Así mismo, se definirán algunos conceptos básicos y generalidades sobre lo que son las vías terrestres y sus características generales.

Se conceptualizará lo que son los pavimentos, los tipos existentes, y algunos de sus requerimientos mínimos; de igual forma se realizarán cálculos para el análisis del proyecto propuesto, cálculos sobre los costos de la estructura del pavimento, y la posible optimización de los recursos; de tal forma que se pueda reunir la información y los cálculos necesarios para conseguir el objetivo principal.

Además se tienen como objetivos, ampliar los conocimientos del que suscribe, así como de toda aquella persona que tenga acceso a esta tesis, puesto que la presente investigación de tesis, también viene a ser un trabajo que puede ser consultado con la finalidad de conocer ampliamente en que consiste el Proceso Constructivo de la estructura del pavimento de un camino, en específico, de la que conduce de Los Fresnos a Urínguitiro en el municipio de Tancítaro Michoacán.

Para cumplir con tales objetivos, podrán surgir algunas preguntas básicas las cuales serán resueltas en su momento y entre las que pueden figurar las siguientes.

Pregunta de investigación.

Es necesario para esta investigación de tesis, responder algunas preguntas básicas que saltarán a la luz conforme se aborde el tema, como pueden ser ¿Cuál es el proceso constructivo de un pavimento?, ¿Qué son las vías terrestres? ¿Cuál es su clasificación? ¿Cuáles son los tipos de pavimentos existentes? ¿Qué es el alineamiento vertical y horizontal de un camino? ¿Que es la subrasante, la sub-base, la base y la carpeta? Así como su dimensionamiento para el caso en particular, ¿Cuáles son los costos del pavimento de este camino? ¿existe la posibilidad de aminorar los costos de este pavimento aplicando las mismas condiciones del proyecto? ¿Cuáles son los volúmenes de material del pavimento? Y en general ¿Cuál es el proceso constructivo que se propone para la construcción del camino que nos ocupa?

Justificación.

Ante el creciente desarrollo de la región aguacatera de Tancítaro, y por la ubicación geográfica de la localidad de Urínguitiro con respecto a Los Fresnos, se considera que la construcción del pavimento de este tramo carretero, vendría a ser un puente entre las comunidades del sureste y suroeste del municipio, generando una mejor y mas ágil comunicación al interior del mismo; facilitando a su vez el traslado de esas comunidades con la región de tierra caliente, (Buenavista, Apatzingán) así como de la cabecera municipal, y demás localidades; lo cual traería

beneficios directos para los casi 30,000 habitantes que viven en esta zona, puesto que facilitará el acceso a servicios de salud, educativos, de seguridad pública y otros.

Además, considerando que el municipio de Tancítaro funge como uno de los más importantes productores de aguacate en el país, se considera de vital importancia contar dentro de la región, con un sistema carretero que permita la movilización del fruto de manera óptima.

De igual forma, este trabajo de tesis además de que permite resolver el problema del planteamiento del proceso constructivo del pavimento del camino Los Fresnos – Urínguitiro, en el municipio de Tancítaro, viene a ser un material de apoyo para la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Don Vasco, ya que contarán con los resultados de la investigación para posibles consultas posteriores; así como también servirá como material de apoyo para todos los interesados en el tema, realizando a su vez con esto, un aporte para la Ingeniería Civil.

Delimitación.

El ámbito de las vías terrestres dentro de la ingeniería civil es muy extenso, ya que existe una gran variedad de ellas; en la actualidad, la mayoría de las carreteras comienzan por ser simples brechas, que posteriormente al ser recubiertas con algunos materiales pétreos se les puede llamar terracerías, y que a su vez, se convierten en carreteras pavimentadas, obedeciendo a las demandas de crecimiento de los centros de población.

Y para el caso específico de en la presente investigación, no será la excepción, ya que actualmente existe como vía de comunicación entre la comunidad de Los Fresnos y Urínguitiro, un camino de terracería que incluso cuenta en algunos

tramos con empedrado. Por tal motivo, se trabajará partiendo de la existencia de esa terracería, sobre la cual, recabaremos la información topográfica que nos permita obtener un trazo geométrico de la carretera, conforme a los lineamientos y técnicas de proyección aplicables; haciendo especial mención que no se abordará ni se profundizará en la presente investigación sobre aspectos como terracerías, drenaje del camino, movimientos de tierras o señalización; ni sobre el trazo geométrico, ya que lo que se intenta es presentar el proceso constructivo de la estructura del pavimento de este camino.

Cabe mencionar que precisamente al lado oriente de la localidad de los Fresnos, pasa el proyecto de la carretera Tancítaro-Pareo-El Limón; y es precisamente en este punto donde intercepta el tramo del que se realiza el presente trabajo, denominándolo “Pavimento del camino Los Fresnos – Urínguitiro”.

El presente trabajo, estará conformado de una parte teórica en la cual se definirán algunos conceptos y se expondrá la secuencia a seguir para la determinación del proceso constructivo de la carretera; así como también de una parte práctica puesto que se tendrá que recabar información para su procesamiento y la realización de algunos cálculos para la obtención de resultados.

Será entonces necesario el realizar consultas de algún material bibliográfico así como del Internet, a fin de recabar la información técnica que permita cumplir con los objetivos, para lo cual se menciona el siguiente material.

CAPÍTULO 1

LAS VÍAS TERRESTRES

En este primer capítulo, se hace una recopilación de antecedentes e historia de los caminos, así mismo, se presentan algunos elementos de la ingeniería de tránsito que son aplicados al momento de proyectar un camino, con la finalidad de conocer los principales factores que intervienen en un proyecto.

1.1.- Antecedentes de los caminos.

Como se ha mencionado, los caminos han existido desde siempre, aunque en un principio eran solo senderos, carriles o veredas marcados por el uso constante de las personas o animales; página www.audamed.net.

Según señala Mier S. (1987), fue en Asia hace aproximadamente 5000 años donde se inventó la rueda; y como consecuencia, la necesidad de superficies de rodamiento aptas para que sobre ella circularan carretas de hasta cuatro ruedas, que en sus inicios cumplían la función de transportar personas y productos agrícolas; fue con el Imperio Romano que se comienza con la construcción deliberada de los caminos en forma científica.

Aunque, ante la caída de este importante imperio, cuyo auge sucedió en gran medida gracias a la extensa red carretera con que contaban; se provocó la nula construcción de caminos, y fueron los religiosos los que con su peregrinaciones los mantenían en uso, propiciando así, la comunicación entre España, Francia e Inglaterra; dichos caminos se encontraban en condiciones deplorables y sin ningún tipo de mantenimiento.

Al formarse las vías peatonales sobre terrenos blandos, se trataron de mejorar las condiciones utilizando la piedra, que colocada sobre la superficie de los caminos proporcionaba una mejor superficie de rodadura; y que con la aparición de la rueda, y el uso de carretas, originó caminos más cómodos y rápidos.

1.2.- Historia de los caminos en México.

En México existe una extensa red de caminos de todos tipos, que van desde los de cuota (de altas especificaciones), hasta sencillos caminos rurales y brechas.

A la llegada de los Españoles al territorio Nacional, los pobladores desconocían el uso de la rueda en vehículos de transporte, y tampoco utilizaban animales para tiro y carga; existían algunas calzadas de piedra, numerosos caminos, veredas y senderos, que permitían la comunicación entre los distintos pueblos.

Fueron los Aztecas y los Mayas quienes destacaron en la construcción de caminos, debido a su gran actividad comercial, religiosa y bélica; de los cuales aun existen importantes vestigios; pero fue hasta la época de la colonización que hubo un sensible mejoramiento de los caminos y la apertura de muchos otros, los cuales se ideaban de tal forma que permitieran una mejor movilización de productos hacia los puertos marítimos, que posteriormente se embarcarían al viejo continente.

Durante la guerra de independencia, se impidió la construcción de caminos, y fue hasta los años 1839 -1846, que se creó la Dirección de Colonización e Industria, que entre sus funciones tenía la de construir y conservar caminos.

En 1910 dio inicio la Revolución Mexicana, y cualquier intento constructivo se vio cancelado; además, la gran inestabilidad y la continua sucesión de gobernantes,

originó que solo se atendieran los aspectos sociales y políticos, haciendo imposible la formulación de planes para construcción de obras materiales de cualquier tipo.

Fue hasta los años 20 con la aparición del automóvil, que en México se propició la creación de caminos, la cual logró ser de mayor importancia a la registrada en los 400 años anteriores; y ante la aparición de camiones capaces de viajar a altas velocidades y con capacidades de carga no imaginadas, se obligó a la construcción de caminos que satisficieran esos requerimientos.

Con la creación de la Comisión Nacional de Caminos en 1925, inició en firme la construcción de caminos y el mejoramiento y conservación de los existentes; dando origen a que en 1932 esta comisión pasara a depender de la Secretaría de Obras Públicas que a su vez en 1958 se dividiera en Secretaría de Obras Públicas y en la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y que a partir de 1982 atiende todos los asuntos relacionados con los caminos.

1.3.- Inventario de los caminos en México.

Considerando que un inventario de caminos consiste en conocer el número y las características particulares de cada uno de los caminos que existen en el territorio Nacional; se cuenta con varios procedimientos que permiten realizar tales inventarios, y que pueden ir desde el mas sencillo, recorriendo los caminos en un vehículo y recabar información que se aprecia a simple vista; hasta hacerlo por medios sofisticados como topográficos o con Sistemas de Posicionamiento Global (GPS). Resultando, que los primeros serian muy limitados en la información proporcionada, y los segundos tiene el inconveniente de ser costosos y lentos.



1.1.- Mapa ilustrativo de las carreteras en México.

1.3.1.- Aplicaciones del Inventario de caminos

Entre algunas de las aplicaciones de los inventarios de los caminos, se pueden mencionar las siguientes:

- Obtención de la capacidad de los caminos que integran la red. Dicha capacidad esta determinada por factores como las características geográficas y las características del tránsito que circula por el; en donde las características geográficas pueden ser: su sección transversal, distancia a obstáculos laterales, ancho y estado de los acotamientos, alineamiento horizontal, alineamiento vertical, y distancia de visibilidad de rebase.

- La posibilidad de señalar las obras necesarias y prioridades en los programas de construcción, reconstrucción y conservación de caminos.
- Obtención de itinerarios de caminos
- Datos sobre las poblaciones por las que pasa el camino
- Datos sobre el estado y el número de las obras de drenaje
- Estado superficial de los caminos

1.4.- Elementos de la Ingeniería de Tránsito usados para el proyecto de las vías terrestres.

Conforme a lo expuesto por Mier S. (1987) la ingeniería de Tránsito es una rama de la Ingeniería que se encarga del estudio del movimiento de personas y vehículos en las calles y caminos, con el fin de hacerlos eficaces, rápidos y seguros.

En la actualidad el problema de tránsito radica en la disparidad que existe entre los vehículos modernos y los caminos que resultan ser obsoletos; no se puede pasar por alto la existencia de vehículos con características distintas, vías de comunicación inadecuadas que cuentan con trazos anacrónicos, calles y caminos muy angostos, fuertes pendientes y banquetas insuficientes; falta de planificación en el tránsito de los caminos proyectados con especificaciones anticuadas, falta de educación vial y ausencia de reglamentos de tránsito que obedezcan a las demandas actuales de los conductores.

Aunque para esto existen algunas soluciones, que van desde la creación de nuevos tipos de caminos que se adapten a los vehículos modernos, con el inconveniente de que se tendría que prescindir de todo lo existente, resultando

imposible tal adecuación en las ciudades; hasta soluciones parciales de menor costo en las que se realizarían las modificaciones necesarias a las calles y caminos para satisfacer las necesidades del tránsito actual; esta segunda solución requeriría de fuertes inversiones y en algunos casos resultaría imposible hacer tales adecuaciones; existe sin embargo una tercera opción con carácter parcial y bajo costo, consistente en aprovechar a toda su capacidad las condiciones actuales y maximizar la regulación del tránsito mediante la aplicación de leyes y reglamentos adaptados a los requerimientos de hoy.

Según Mier S. (1987) para producir un tránsito seguro y eficiente, deben existir tres elementos que trabajen simultáneamente: la ingeniería de tránsito, la educación vial y la legislación y vigilancia policíaca.

1.4.1.- Elementos del tránsito.

Existen tres elementos que constituyen el tránsito, y son: el usuario, el vehículo y el camino, los cuales se estudian a continuación.

1.4.1.1.- El usuario.

Cuando se habla del usuario, se refiere a la población en general; puesto que son los que utilizan las calles y caminos; indistintamente si es peatón o conductor.

Cabe mencionar que el peatón tiene una gran capacidad de movimiento, y se adapta con facilidad a las condiciones existentes, sin embargo en la mayor parte de los accidentes que ocurren, el peatón es el culpable, ya que desconoce las características de los vehículos actuales y las restricciones del conductor para

detenerse; por tal motivo, es necesario crear conciencia en el peatón sobre su responsabilidad ante el peligro que constituyen los automóviles, así mismo, enseñarle que la utilización de las carreteras solo es posible cuando existe plena seguridad. Las banquetas, son los caminos para los peatones y de igual forma, deben ser proyectadas adecuadamente para funcionar con fluidez.

El conductor, según Mier S. (1987), es el medio humano que controla el vehículo; para lo cual, debe contar con una adecuada educación vial, con pleno conocimiento de las características y limitaciones de los vehículos, y factores importantes como una adecuada visibilidad, que involucra tanto las características físicas del conductor, como las características con las que ha sido proyectado un camino, así mismo, el tiempo de reacción de un conductor ante la presencia de obstáculos o señales.

1.4.1.2.- El vehículo.

Es bien sabido del enorme desarrollo que ha tenido el automóvil en los últimos tiempos; los países mas adelantados, son los que han incorporado a su economía una mayor cantidad de vehículos.

En México, el número de automóviles, siempre ha ido en aumento, y haciendo deducciones de la estadística presentada por Mier S. (1987), para el año 1950, el crecimiento medio anual de vehículos fue de un 32%; mientras que el de automóviles fue de 40%; de 24% el de camiones y un 9% para autobuses; lo cual representaba un grave desequilibrio económico, ya que el número de camiones de carga, es un indicativo del crecimiento en lo que se produce y se transporta; mientras que el

crecimiento en vehículos, indica una mala planeación de los sistemas colectivos.

Día con día, la potencia de los vehículos va en aumento; los automóviles cada vez alcanzan velocidades muy superiores a las que permiten el tránsito y los caminos actuales; en los camiones, se va permitiendo mayor velocidad y capacidad de carga.

TIPO DE VEHICULO	NUM DE EJES	ESQUEMAS		SIMBOLO	PORCENTAJE RESPECTO AL TOTAL DE CAMIONES	PORCENTAJE RESPECTO AL TOTAL DE VEHICULOS	
		PERFIL	PLANTA				
VEHICULOS LIGEROS	AUTOMOVILES	2		Ap	—	46	
	CAMIONETAS	2		Ac	—	12	
VEHICULOS PESADOS	AUTOBUSES	2		B	—	12	
	CAMIONES	2		C2	73	100	30
		3		C3	13		
		4		T2-S1	7		
		4		T2-S2	7		
		5		T3-S2	7		
	OTRAS COMBINACIONES	5		T2-S1-R2	7		
VEHICULOS ESPECIALES	CAMIONES Y/O REMOLQUES ESPECIALES			En variable		VARIABLE	
	MAQUINARIA AGRICOLA						
	BICICLETAS Y MOTOCICLETAS						
	OTROS						

CARACTERISTICAS	VEHICULO DE PROYECTO				
	DE-335	DE-450	DE-610	DE-1220	DE-1525
Longitud total del vehículo	L	980	730	915	1525
Distancia entre ejes extremos del vehículo	DE	335	450	610	1220
Distancia entre ejes extremos del tractor	DET	—	—	—	397
Distancia entre ejes del semiremolque	DES	—	—	—	752
Vuelo delantero	Vd	92	100	122	122
Vuelo trasero	Vt	153	180	183	183
Distancia entre ejes tándem tractor	Tt	—	—	—	122
Distancia entre ejes tándem semiremolque	Ts	—	—	—	397
Distancia entre ejes interiores tractor	Di	—	—	—	701
Dist. entre ejes interiores tractor y semiremolque	Da	—	—	—	259
Ancho total del vehículo	A	214	244	259	259
Entrevía del vehículo	EV	183	244	259	259
Altura total del vehículo	Ht	187	214-412	214-412	214-412
Altura de los ojos del conductor	Hc	114	114	114	114
Altura de los faros delanteros	Hd	61	61	61	61
Altura de los faros traseros	Ht	61	61	61	61
Angulo de desviación del haz de luz de los faros	cc	1°	1°	1°	1°
Radio de giro mínimo (cm)	Ra	732	1040	1281	1220
Peso total (Kg)	Vehículo vacío	Wv	2500	4	7000
	Vehículo cargado	Wc	3000	10000	17000
Relación Peso/Potencia (Kg/HP)	Wp/Pp	45	90	120	180
VEHICULOS REPRESENTADOS POR EL DE PROYECTO	Ap y Ac	99	100	100	100
PORCENTAJE DE VEHICULOS DEL TIPO INDICADO CUYA DISTANCIA ENTRE EJES EXTREMOS (DE) ES MENOR QUE LA DEL VEHICULO DE PROYECTO	C2	30	90	99	100
	C3	10	75	99	100
	T2-S1	0	0	1	80
	T2-S2	0	0	1	93
	T3-S2	0	0	1	18
VEHICULOS REPRESENTADOS POR EL DE PROYECTO	Ap y Ac	99	100	100	100
PORCENTAJE DE VEHICULOS DEL TIPO INDICADO CUYA RELACION PESO/POTENCIA ES MENOR QUE LA DEL VEHICULO DE PROYECTO	C2	62	98	100	100
	C3	20	82	100	100
	T2-S1	6	55	100	100
	T2-S2	6	42	98	98
	T3-S2	2	35	80	80

Tabla No. 1.2.- Tipo de vehículos

En las tablas anteriores, pueden verse las características geométricas de los vehículos; las cuales están determinadas por sus dimensiones y sus radios de giro.

Para nombrar a los vehículos de proyecto de una carretera, el nombre obedece a la separación en centímetros que existe entre los ejes extremos.

En Ingeniería de Tránsito, el radio de giro se define "como el radio de la circunferencia trazada por la trayectoria de la rueda delantera externa del vehículo al efectuarse un giro" (Mier S; 1987:31). Y considerando que el radio de giro mínimo

se produce cuando el vehículo gira muy despacio con las ruedas torcidas al máximo posible, se presenta a continuación una figura con los radios de giro mínimos para los vehículos de proyecto.

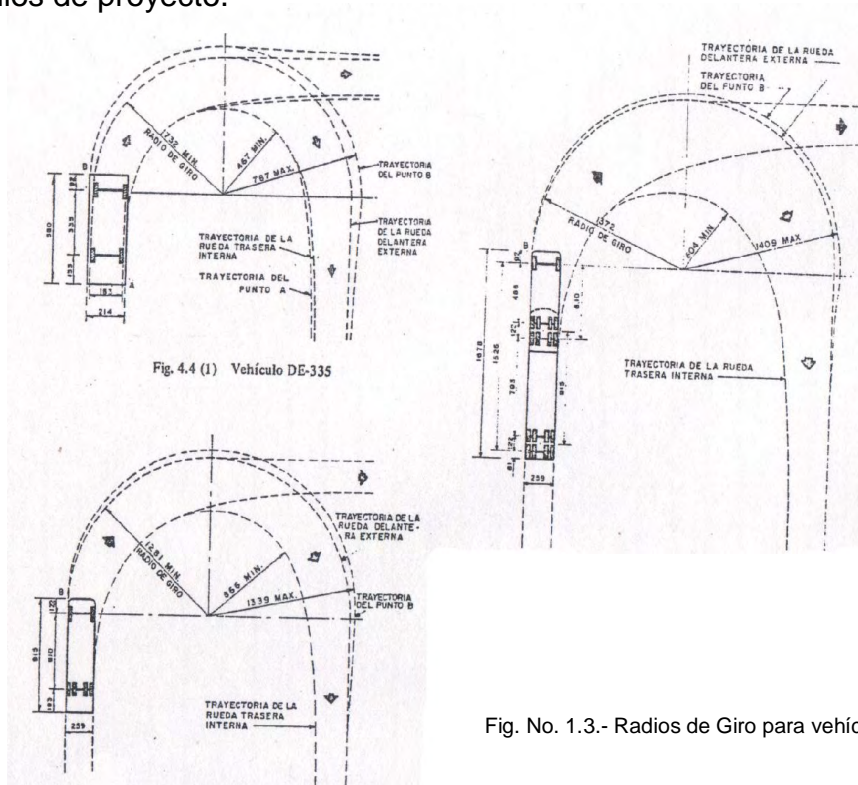


Fig. No. 1.3.- Radios de Giro para vehículos

Los vehículos pueden clasificarse en: vehículos ligeros y vehículos pesados; los ligeros tipo A son lo que tienen dos ejes y cuatro ruedas (automóviles, camionetas, unidades ligeras de carga, etc.), y los pesados, camiones de carga tipo C y autobuses tipo B y todos aquellos que tienen dos o mas ejes y seis llantas o más.

Existen también otros tipos de vehículos especiales como bicicletas, tractores, maquinaria agrícola, remolques para maquinaria pesada, coches deportivos etc. En las carreteras de la República Mexicana, según Mier S. (1987), existen las siguientes proporciones aproximadas de vehículos: el 58% son vehículos ligeros tipo A, de los que el 46% son automóviles (Ap) y el 12% camionetas (Ac); el 42% restante son

vehículos pesados, con 12% de autobuses tipo B y 30% camiones de carga.

Las características de operación de los vehículos se definen por su peso estando cargados, y por la potencia del motor; ya que se ha determinado que la relación peso/potencia, esta relacionada con la velocidad que alcanzan los vehículos en un camino y sus tiempos de recorrido; y dicha relación, depende directamente del hecho de que puedan acelerar o desacelerar mas o menos rápidamente, lo cual influye en el proyecto del alineamiento vertical y la capacidad del camino.

“Cuando la fuerza tractiva que genera el motor de un vehículo es mayor que las fuerzas resistentes que se oponen al movimiento se produce aceleración; cuando ocurre el caso contrario, existe desaceleración y si son iguales, el vehículo se mueve a velocidad constante” Mier S. (1987:33); la fuerza disponible para acelerar o desacelerar, está en función de la fuerza de tracción del carro; la cual resulta de restar a la fuerza del motor, todas las pérdidas de potencia y de la suma de resistencias que se oponen al movimiento del mismo; las cuales son las siguientes:

- Resistencia al rodamiento: que se produce por la fricción entre llanta y pavimento y por la deformación de la llanta.
- Resistencia por fricción en el frenado: que de igual forma se produce entre la llanta y el pavimento; para la cual, al momento de diseñar los caminos, existen coeficientes de fricción con los que se deben de diseñar las características de los caminos.
- Resistencia por pendiente: se presenta cuando una pendiente de una tangente es ascendente, razón por la cual ofrece resistencia al movimiento del vehículo.
- Resistencia por el aire: que para fines de diseño y velocidades pequeñas, se puede considerar despreciable.

1.4.1.3.- El camino.

De acuerdo a lo expuesto por Mier S. (1987), se define a los caminos como una faja de terreno acondicionada para permitir el tránsito de vehículos; tales caminos se pueden clasificar de varias formas:

- a) Clasificación por transitabilidad: clasifica a los caminos en dos, los primeros, como los transitables en cualquier época del año, abarca a los pavimentados y a los caminos revestidos; y los segundos, los transitables solo en tiempo de secas y que son las terracerías.
- b) Clasificación de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT): hace una clasificación tomando en cuenta el tipo de terreno en el que se encuentran;
 - M= Montañoso
 - L= Lomerío
 - P= Plano

CONCEPTO	UNIDAD	TIPO DE CARRETERA																													
		E					D					C					B					A									
TDPA EN EL HORIZONTE DE PROYECTO	veh/día	HASTA 100					100 a 500					500 a 1500					1500 a 3 000					MAS DE 3 000									
TIPO DE TERRENO		MONTAÑOSO LOMERIO PLANO																													
VELOCIDAD DE PROYECTO	Km/h	30	40	50	60	70	30	40	50	60	70	40	50	60	70	80	90	100	50	60	70	80	90	100	110	60	70	80	90	100	110
DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA	m	30	40	55	75	95	30	40	55	75	95	40	55	75	95	115	135	155	55	75	95	115	135	155	175	75	95	115	135	155	175
DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE REBASE	m	-	-	-	-	-	135	180	225	270	315	180	225	270	315	360	405	450	225	270	315	360	405	450	495	270	315	360	405	450	495
GRADO MÁXIMO DE CURVATURA	°	60	30	17	11	7.5	60	30	17	11	7.5	30	17	11	7.5	5.5	4.25	3.25	17	11	7.5	5.5	4.25	3.25	2.75	11	7.5	5.5	4.25	3.25	2.75
CURVAS	K	CRESTA	m / %					m / %					m / %					m / %					m / %								
		COLUMPIO	m / %					m / %					m / %					m / %					m / %								
VERTICALES	LONGITUD MINIMA	m					m					m					m					m									
PENDIENTE GOBERNADORA	%	9 7 -					8 6 -					6 5 -					5 4 -					4 3 -									
PENDIENTE MAXIMA	%	13 10 7					12 9 6					8 7 5					7 6 4					6 5 4									
LONGITUD CRITICA	m	VER FIG. No. IX-4					VER FIG. No. IX-4					VER FIG. No. I-4					VER FIG. No. IX-4					VER FIG. No. IX-4									
ANCHO DE CALZADA	m	4.0					6.0					6.0					7.0					7.0									
ANCHO DE CORONA	m	4.0					6.0					7.0					9.0					15.00									
ANCHO DE ACOTAMIENTOS	m	-					-					0.5					1.0					2.5									
ANCHO DE FAJA SEPARADORA CENTRAL	m	-					-					-					-					-									
BOMBEO	%	3					3					2					2					2									
SOBREELEVACION MAXIMA	%	10					10					10					10					10									
SOBREELEVACIONES PARA GRADOS MENORES AL MAXIMO	%	VER TABLA No. IX 5.1					VER TABLA No. IX 5.1					VER TABLA No. IX 5.2					VER TABLA No. IX 5.3					VER TABLA No. IX 5.4									
LONGITUDES Y LONGITUDES MINIMAS DE TRANSICIONES	m	VER TABLA No. IX 5.1					VER TABLA No. IX 5.1					VER TABLA No. IX 5.2					VER TABLA No. IX 5.3					VER TABLA No. IX 5.4									

1.4.- Tipo de carreteras

- c) Clasificación por capacidad: se divide a los caminos en tres de acuerdo a la práctica popular; autopistas (de cuatro o mas carriles); caminos de 2 carriles; y brechas.
- d) Clasificación por administración: son dos; los caminos federales que son proyectados, construidos y conservados por la Federación; y los caminos de cuota, que están constituidos con fondos de Caminos y Puentes Federales (CAPUFE), de ingresos y obras conexas.

1.5.- Velocidad.

Para el proyecto de un camino la velocidad es un factor fundamental, ya que la utilidad y correcto funcionamiento de éste, se define por la rapidez y seguridad con que transitan las personas en él; para tal fin, según Mier S. (1987), existen cuatro tipos de velocidad: de proyecto, de operación, de punto y efectiva.

1.5.1.- Velocidad de proyecto.

Para el caso del diseño de caminos, es la que mas interesa, ya que está definida por la velocidad máxima que ofrece seguridad en un tramo de un camino; y que además es la que marca las características del proyecto de dicho camino.

La velocidad debe ser congruente con el terreno y el tipo de camino del que se trate; y su elección para el diseño, obedece a la topografía de la región, el tipo de camino, los volúmenes de tránsito en el mismo y por el uso de la tierra en el lugar por donde pasa.

Una vez definida la velocidad de proyecto, todas las características

geométricas de la vía, quedan condicionadas a ella; siempre que sea posible proyectar todo el camino con la misma velocidad de proyecto, será lo ideal; solo que en muchos casos resulta imposible por circunstancia como la topografía o el uso de la tierra, ante lo cual se recomienda realizar los cambios en velocidad mediante transiciones suaves, no bruscas.

Debe tratarse de elegir la velocidad de proyecto ideal, tomando en cuenta todas las características que se han mencionado, por ejemplo, la experiencia ha demostrado que muy pocos conductores circulan a más de 110 KPH o a menos de 50, por lo que partiendo de esta base, las velocidades de proyecto se eligen de tal forma que se encuentre en este rango de variación; es decir, las recomendadas son 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, y 110 kilómetros por hora; de ahí que la Secretaría de Comunicaciones y Transportes recomienda como límites, 30 y 110 KPH.

También es necesario tomar en cuenta que los caminos generalmente se proyectan para una vida útil de 15 a 20 años, sin embargo, las características de los alineamientos horizontal y vertical que están relacionados con la velocidad de proyecto, se determinan con un tiempo mayor, ya que los elementos de la sección transversal pueden ser modificados con más facilidad ante algún requerimiento, pero los cambios en alineamiento horizontal o vertical, implicarían grandes costos.

1.5.2.- Velocidad de operación.

Se puede definir como la velocidad real con que transitan los vehículos sobre una vía, y es un indicativo claro de la eficiencia de la misma; de igual forma se le identifica como la velocidad mantenida en un tramo o a lo largo de una carretera; y

resulta ser de gran utilidad ya que cuando los volúmenes de tránsito son bajos en un camino determinado, la velocidad alcanzada es muy cercana a la velocidad de proyecto, originando así un camino eficiente; mientras que cuando ocurre lo contrario, volúmenes de tránsito altos, la velocidad de operación disminuye pues los conductores comienzan a verse afectados por las interferencias de otros vehículos.

En la siguiente gráfica se puede apreciar la relación que existe entre las velocidades de proyecto y operación para los diferentes volúmenes de tránsito (bajo, medio y alto).

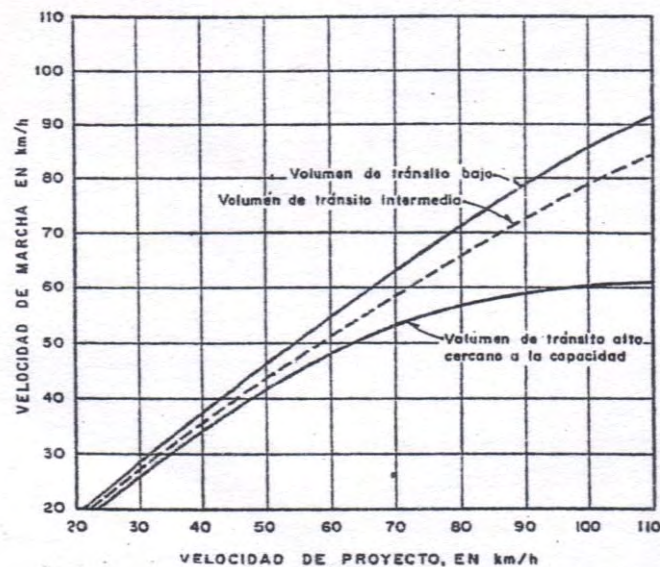


Tabla 1.5.- Velocidad de operación y velocidad de proyecto en un camino.

De aquí se puede deducir, que el proyecto debe realizarse para que el camino opere satisfactoriamente con velocidades de operación de volúmenes bajos, lo cual asegura su buen funcionamiento cuando los volúmenes aumenten.

VELOCIDAD DE PROYECTO (KPH)	VELOCIDAD DE OPERACIÓN (KPH)		
	VOLUMEN DE TRANSITO		
	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 1.6.- Velocidades de operación

1.5.3.- Velocidad de punto.

La velocidad de punto, es la que lleva un vehículo al pasar por un punto determinado; la cual, para los casos en que las características de operación varían poco, se puede considerar representativa de esta; y de gran utilidad para el proyecto de elementos del camino como sobre-elevación, carriles para cambio de velocidad, curvas en intersección etc.

1.5.4.- Velocidad efectiva.

Se considera como el promedio de la velocidad mantenida por un vehículo a lo largo de un camino; y se obtiene de dividir la distancia total recorrida entre el tiempo empleado en hacerlo, e incluye las paradas y retrasos ocasionados por las condiciones del camino.

1.6.- Volumen de tránsito.

El volumen de tránsito se refiere al número de vehículos que se mueven en una dirección o en direcciones específicas sobre el carril o carriles de un camino, y que pasan por un punto determinado durante un cierto periodo de tiempo.

Volumen Promedio Diario Anual (VPDA) es el número de vehículos que pasan por un punto dado del camino, durante un año dividido entre los 365 días, y no es el apropiado para el proyecto de un camino, ya que no indica la variación que ocurre en los diferentes meses del año.

Volumen Máximo Horario Anual (VMHA) es el volumen horario mas alto que acontece para un determinado año, y da como resultado el proyecto de obras

sobradas aunque es el que mas se acerca a las condiciones de operación.

Volumen Horario de Proyecto (VHP) es el volumen horario máximo en la hora 30; o sea aquel que durante un año solo es superado por otros 29 volúmenes horarios; el cual, para caminos rurales de dos carriles se considera como el tránsito total en ambas direcciones.

1.6.1.- Conteos de tránsito.

Los conteos de tránsito pueden obtenerse por medios estadísticos o tomarlos directamente mediante conteos de tránsito que pueden ser manuales o mecánicos.

El conteo manual, es el más sencillo y económico, llamado también de muestreos, ya que se ejecutan muestreos durante un periodo corto de tiempo (entre 5 y 10 días); aunque se le considera como un conteo imperfecto puesto que existen variaciones del tránsito en las diversas estaciones del año, los meses o con obras ocasionales de importancia.

Para este fin los vehículos solo se clasifican en dos:

Vehículos ligeros	tipo A (menos de 2.5 tons.)
Vehículos pesados	tipo B (camiones)
	tipo C (autobuses)

Los conteos mecánicos son los que se realizan automáticamente mediante diversos dispositivos; entre los que aparecen los contadores neumáticos, contadores electromagnéticos, contadores de presión – contacto y otros.

1.6.2.- Estudios de origen y destino.

Con este tipo de estudios, se pueden conocer los volúmenes de tránsito, los tipos de vehículos, clasificación por direcciones, el origen y el destino del viaje, tipo de carga y tonelaje, número de pasajeros y un sin número de información que hacen de estos estudios los mas completos para el aforo vehicular; además de un sin número de aplicaciones como: conocer la demanda que existe en una zona para usar en mayor o menor grado una cierta ruta, fijar rutas en un centro de población para desviar el movimiento de turistas y el del tráfico pesado, conocer la localización de una nueva carretera o mejorar alguna existente, o justificar la construcción de un nuevo camino.

Para la realización de este tipo de estudio existen cuatro maneras:

- Por medio de entrevistas directas al conductor
- Dando a los usuarios un cuestionario para contestarlo y después regresarlo
- Por medio de entrevistas personales hechas mediante muestreo estadístico en los domicilios de los usuarios
- Por la observación de las placas de los vehículos en diferentes puntos.

1.6.3.- Previsión del tránsito.

Se sugiere que el proyecto de un nuevo camino o el mejoramiento de los existentes no se base en los volúmenes actuales de tránsito, sino en volúmenes de tránsito futuro; haciendo la previsión a 15 o 20 años, teniendo en cuenta los siguientes factores:

- a) Tránsito actual: es el volumen actual de tránsito que tendría un camino

nuevo o mejorado si fuera abierto a la circulación; considerando que su uso depende del ahorro que represente para los usuarios disminuyendo costos, tiempo, longitud y riesgos.

b) Aumento de tránsito:

- Incremento del tránsito normal: aumento general del número de usuarios y vehículos.
- Tránsito generado: constituido por los viajes de vehículos que no se harían si el camino no se hubiera construido.
- Tránsito resultante del mejoramiento: debido al mejoramiento de las tierras adyacentes al camino.

1.7.- Densidad de tránsito.

La densidad de tránsito es el número de vehículos que se encuentran en un tramo de un camino en un momento determinado; y no debe de confundirse el término con el de volumen de tránsito, ya que este expresa el número de vehículos que circulan en una unidad de tiempo, de tal forma que en un camino congestionado el volumen puede ser de cero, mientras que la densidad podrá ser muy alta.

A continuación se muestra una ecuación que nos permite ver la relación que existe entre el volumen y la densidad; siendo que si la velocidad fuera constante, habría una relación lineal entre el volumen y la densidad, pero ante un aumento en el volumen, la velocidad se ve reducida.

$$VOLUMEN DE TRANSITO = VELOCIDAD \times DENSIDAD$$

1.8.- Derecho de vía.

Se le llama así a la franja de terreno que tiene un ancho suficiente para alojar una vía de comunicación, y que forma parte de la misma, dicho ancho debe establecerse para cumplir con las condiciones técnicas relacionadas con la seguridad, utilidad y eficiencia en el servicio de la vía.

En México se ha determinado un derecho de vía de 40 mts. (20 mts. a cada lado del eje del camino) el cual puede aumentar o disminuir dependiendo del tipo de vía de que se trate o en su paso por zonas urbanas.

Es necesario que el ingeniero conozca cuales son los lineamientos a seguir y los fundamentos legales para la adquisición del derecho de vía ya que actualmente la ley señala en su artículo No. 1 de la Ley de Vías Generales de Comunicación; que son vías generales de comunicación:

Los caminos.

- Cuando se entronquen con alguna vía de país extranjero
- Cuando comuniquen a dos o mas Entidades Federativas
- Cuando en su totalidad o mayor parte sean construidas por la Federación

Los puentes.

- Los construidos o que se construyan sobre líneas divisorias internacionales.
- Los construidos o que se construyan sobre vías generales de comunicación
- La construcción de puentes será previo permiso de la Secretarías de la Defensa nacional y de comunicaciones y transportes.

En su artículo 2do, menciona que son partes integrantes de las vías de comunicación:

- Los servicios auxiliares, obras, construcciones y accesorias de las mismas.
- Los terrenos y aguas que sean necesarios para el desarrollo de la misma.

1.9.- Capacidad y nivel de servicio.

La capacidad de un camino es el número máximo de vehículos que pueden circular por un camino en un periodo de tiempo determinado, considerando las condiciones de tránsito que presente; por lo que la capacidad es una medida de la eficiencia de una calle o un camino; mientras que el nivel de servicio determina las condiciones de operación que experimente un conductor en un viaje.

Sin embargo es necesario para la determinación de la capacidad de un camino que el periodo de tiempo sea perfectamente definido, ya que para periodos cortos la capacidad corresponde al tránsito máximo sostenido en ese periodo; mientras que cuando se consideran periodos largos la capacidad solo está en función de las preferencias de los conductores, cuando la demanda del camino es la máxima.

El nivel de servicio, está definido como una medida cualitativa del efecto de una serie de factores como la velocidad, el tiempo de recorrido, interrupciones del tránsito, la seguridad, comodidad de manejo, costos de operación etc., ya que un camino puede operar a muchos niveles de servicio dependiendo de los volúmenes y composición del tránsito, así como de las velocidades que se puedan alcanzar.

El volumen de servicio es el de tránsito correspondiente a un determinado nivel de servicio, considerando como el volumen de servicio máximo a la capacidad.

Puesto que los caminos presentan distintas características geométricas, las cuales se reflejan en su sección transversal y en las pendientes conforme al tipo de terreno por el que cruza la vía, estas afectan las características de operación de los vehículos pesados y en consecuencia la capacidad del camino; por ejemplo, los caminos en terreno plano permiten a los vehículos pesados, mantener una velocidad semejante a la de los ligeros; mientras que en un camino con lomeríos, las características obligan a los vehículos de carga, a reducir su velocidad por debajo de la de los ligeros en algunos tramos; de igual forma se provoca que los carros pesados operen con velocidades muy bajas en caminos montañosos.

Cabe también mencionar que los volúmenes de tránsito máximos observados bajo condiciones ideales son del orden de 2000 vehículos por hora (vph), en ambos sentidos en caminos de 2 carriles y de 2000 vph en un solo carril en caminos de 2 o mas carriles para un solo sentido; no obstante la capacidad varía en la medida que sus características geométricas y de operación son diferentes a las ideales, definiendo como condiciones ideales las siguientes:

- a.- Circulación continua
- b.- Únicamente vehículos ligeros
- c.- Carriles de 3.65 mts. de ancho, con acotamientos adecuados y sin obstáculos laterales en 1.80 mts. a partir de la orilla de la calzada.
- d.- Alineamiento horizontal y vertical adecuado para velocidades de proyecto de 110 km/h. o mayores y sin restricciones en la velocidad de rebase.

Las condiciones ideales no implican una buena operación, solo mayores volúmenes, por ejemplo: la capacidad de una carretera de carriles múltiples bajo

condiciones ideales, es de 2000 vehículos ligeros por hora y por carril; y para una carretera de 2 carriles con dos sentidos, se estima en 2000 vehículos ligeros por hora en ambos sentidos.

Para que una carretera proporcione un aceptable nivel de servicio, se necesita que el volumen de servicio sea menor que la capacidad de la carretera; por lo que a continuación se señalan los factores que deben considerarse en la evaluación del nivel de servicio:

- + Velocidad de operación y tiempo empleado durante el recorrido
- + Interrupciones del tránsito
- + Libertad para maniobrar a la velocidad deseada
- + Seguridad
- + Comodidad en el manejo
- + Economía en los costos de operación del vehículo.

1.9.1.- Factores que afectan la capacidad y el volumen de servicio de un camino.

Los factores que afectan la capacidad y el volumen de servicio son dos, los relativos al camino y los relativos al tránsito.

Factores relativos al camino.

a).- Ancho de carril: donde los carriles que tienen un ancho menor a 3.65 mts. tienen una capacidad menor.

b).- Obstáculos laterales: los que se encuentran a menos de 1.80 mts. reducen el ancho efectivo del carril; considerando esa distancia como la ideal para la capacidad, no así para la seguridad de las vías; además de que para que no tengan influencia,

estos deben ser menores de 0.20 mts. de altura.

c).- Combinación de ancho de carril y obstáculos laterales: para la práctica los obstáculos laterales producen el mismo efecto que el ancho del carril.

d).- Acotamientos: estos deben de ser de un ancho apropiado para permitir alojar vehículos descompuestos, y se consideran indispensables sobre todo cuando la carretera esta funcionando a su máxima capacidad, ya que de no ser así, los vehículos descompuestos pueden afectar la capacidad del camino, entorpeciendo a los otros carros; por lo que se recomienda la utilización de carriles auxiliares, de estacionamiento, para cambio de velocidad, para dar vuelta y en secciones de entrecruzamiento.

e).- Estado de la superficie de rodamiento

d).- Alineamiento: puesto que los alineamientos horizontal y vertical afectan en gran medida la capacidad del camino y el nivel de servicio, se sugiere en lo posible proyectarlos conforme a las velocidades de proyecto, y considerando las restricciones de visibilidad de rebase.

f).- Pendientes: afectan el volumen de servicio de la siguiente manera:

-Reduciendo la visibilidad de rebase en caminos de dos carriles

-Reduciendo o aumentando las distancias de frenado en pendientes ascendentes o descendentes.

-Reduciendo la velocidad de los vehículos pesados en pendientes ascendentes.

Factores relativos al tránsito.

a).- Camiones: los camiones desplazan a varios vehículos ligeros en la circulación, por lo que debe usarse el concepto de “vehículos ligeros equivalentes” para la

determinación de la capacidad.

b).- Ancho de carril y distancia a obstáculos laterales: que para el caso de autopistas se considera despreciable, ya que sus estándares exceden estos requerimientos; pero que para caminos menores si deben ser considerados.

Ancho de carril. (m)	Capacidad como % de la capacidad de un carril de 3.65 m.	
	Caminos de 2 carriles	Caminos de carriles múltiples
3.65	100	100
3.30	88	97
3.00	81	91
2.70	76	81

1.7.- Efecto del ancho del carril en la capacidad.

c).- Camiones, autobuses y pendientes: se deben tomar en cuenta las equivalencias de estos en vehículo ligeros.

d).- Interrupciones del tránsito.

1.10.- Distancia de visibilidad.

Para el caso del proyecto de las vías terrestres, se manejan dos tipos de distancias de visibilidad:

Distancia de visibilidad de parada (dp) que según Mier S. (1987); se define como la necesaria para que el conductor de un vehículo moviéndose a la velocidad de proyecto, pueda pararse antes de llegar a un objeto fijo en el camino; para lo cual se supone que el ojo del conductor se ubica a 1.15 mts sobre el pavimento y el objeto tiene 15 cms de alto.

La distancia de visibilidad de parada se compone de dos términos; distancia recorrida desde que se percibe el objeto sobre el camino, hasta que coloca su pié en

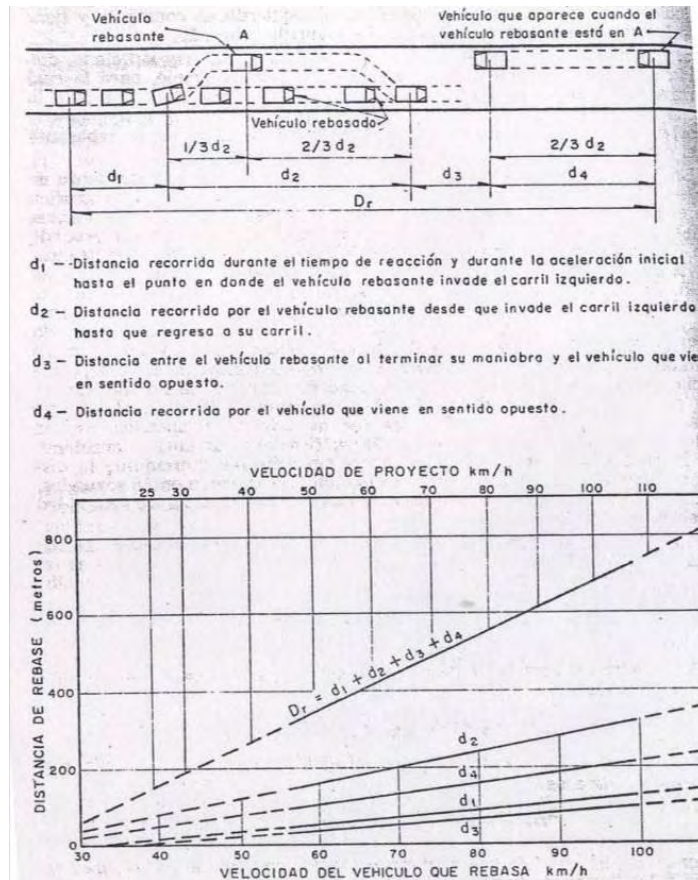
el pedal del freno (*dr* o *distancia de reacción*); y la distancia que se recorre desde el momento en que se aplica el freno hasta que el vehículo se detiene (*df* *distancia de frenado*).

Por lo que la distancia de visibilidad de parada se expresa: $dp = dr + df$, en donde para el cálculo de estas variables, intervienen factores como la velocidad de operación, tiempo de reacción, distancia de reacción, velocidad en el momento de aplicar el freno, tiempo que tarda el vehículo en detenerse, aceleración, distancia de frenado, aceleración de la gravedad, coeficientes de fricción y otros; cuyos valores están contenidos y determinados en la siguiente tabla:

Velocidad de Proyecto en KPH.	Velocidad de Operación	Tiempo de reacción (seg)	Distancia de reacción <i>dr</i>	Coeficiente de fricción longitudinal (<i>f</i>)	Distancia de frenado <i>df</i>	Distancia de visibilidad de parada $dp = dr + df$	
						Calculada	Recomendable para proyecto
30	30	2.3	19.44	0.400	7.72	27.16	25
40	37	2.5	25.69	0.380	14.28	39.87	40
50	46	2.5	31.34	0.360	23.24	55.04	55
60	55	2.5	38.15	0.340	35.03	73.22	75
70	63	2.5	43.75	0.325	48.05	91.83	90
80	71	2.5	49.30	0.310	64.02	113.22	115
90	79	2.5	34.86	0.303	80.56	135.42	135
100	86	2.6	53.77	0.300	97.06	156.83	155
110	92	2.3	63.84	0.295	112.95	176.83	175

Tabla 1.8.- Distancias de visibilidad de parada

Distancia de visibilidad de rebase (*dr*) es la distancia necesaria para que un vehículo pueda adelantarse a otro que se encuentra en su línea de circulación, sin peligro de chocar con otro que aparezca en sentido contrario; para lo cual el conductor debe ver delante una distancia suficiente sin vehículos de tal forma que pueda completar la maniobra de rebase con seguridad.



1.9.- Distancia de Visibilidad de rebase

1.11.- Mecánica de suelos.

Se define al suelo como el material formado por partículas minerales y vacíos, los cuales pueden o no estar ocupados por agua, y son producidos por la descomposición de las rocas, de las que se distingue porque el suelo puede ser disgregado por medios manuales, o mediante la utilización de agua, no siendo posible lo mismo con las rocas.

Existen dos procesos principales para la desintegración de las rocas, y son:

Desintegración mecánica.

- Congelación de agua (efecto de cuña al aumentar su volumen dentro de las rocas)
- Cambios de temperatura
- Efectos de los organismos (raíces, roedores, etc.)

- Esfuerzos tectónicos
- Efectos abrasivos del agua y el viento
- Efectos telúricos (sismos, terremotos, etc.)
- Efectos de la gravedad (taludes, derrumbes, etc.)

Descomposición química.

La descomposición química se da en presencia de agua y otras sustancias naturales, y se origina al estar en contacto la roca con el agua y ocurrir algunas reacciones químicas. Lo anterior da lugar generalmente a suelos finos.

1.11.1.- Tipos de suelos.

a) Suelos residuales: los que permanecen en el sitio donde fueron formados.

b) suelos transportados: son aquellos formados por los productos de alteración de las rocas y depositados en otro sitio del que fueron formados, siendo los principales agentes de transporte, el viento, los glaciares, la gravedad; y de acuerdo a su forma de transporte pueden dividirse en:

Suelos Aluviales. Son los transportados por el agua y que dependiendo de la velocidad de la misma, genera depósitos gruesos o finos; siendo principalmente los gruesos bancos de grava, cantos rodados o arenas en los lechos de los ríos; y los finos originados cuando la velocidad del agua es menor como arcillas y limos muy compresibles y de baja resistencia al corte.

Suelos Lacustres. Son depósitos de partículas finísimas acarreadas por el agua y depositadas por ejemplo en un río.

Suelos Eólicos. Son los suelos formados por las partículas que acarrea y deposita el viento

Depósitos de pié de monte. Son los formados por la acción directa de la gravedad, constituidos en su mayoría por fragmentos de roca, materiales finos (limos y arcillas), gravas, arenas y materia orgánica.

Los suelos pueden ser gruesos o finos, sus tamaños fluctúan de la siguiente manera:

7.6 cm. > Suelos Gruesos > 0.074 mm. (Malla No. 200) > Suelos Finos

1.11.2.- Estructura de los suelos gruesos y finos.

Se conoce como estructura de un suelo a su ubicación, arreglo y orientación; aunque la estructura de los suelos gruesos es muy simple, ya que las partículas se apoyan indistintamente una sobre otra en forma continua, debiéndose a la gravedad como única fuerza de contacto entre las partículas, es decir, su peso propio.

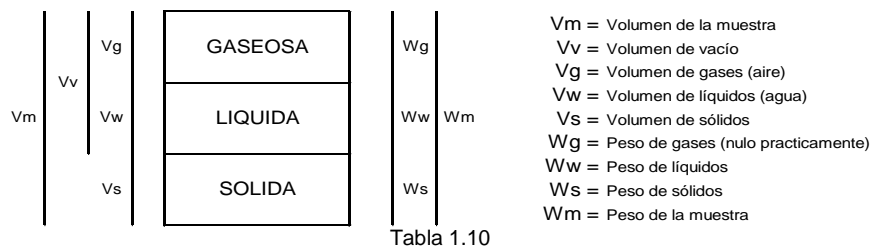
Los factores que influyen en el comportamiento de un suelo grueso son:

- *Condiciones de drenaje.* El efecto del agua sobre los suelos gruesos es desfavorable, ya que disminuyen su resistencia al corte y aumentan su compresibilidad.
- *Compacidad del suelo.* Ya que un suelo compacto es mucho mas útil que uno en estado suelto.
- *Estratigrafía.* Son las capas horizontales que lo forman.
- *Granulometría.* Entran en juego dos aspectos el tamaño de las partículas y la distribución granulométrica.
- *Resistencia individual* o Dureza de los granos.
- *Forma de los granos.* Existe la equidimensional, la alargada, la redonda, la angulosa y la subangulosa.
- *Rugosidad de las partículas.* Se consideran los movimientos de los granos.

La estructura de los suelos finos es mucho más compleja, ya que intervienen de manera determinante fuerzas electromagnéticas y de origen molecular.

1.11.3.- Propiedades volumétricas y gravimétricas.

A simple vista un suelo se podría definir como un sistema de partículas cuyos espacios libres pueden estar parcial o totalmente llenos de agua; teniéndose tres fases para esta, la sólida, la líquida y la gaseosa. Lo anterior lo podemos idealizar de la siguiente manera:



Un suelo formado por las fases sólida y líquida se denomina saturado; uno formado por la fase sólida y gaseosa es un suelo seco, y uno integrado por las tres fases, es un suelo parcialmente saturado.

1.11.4.- Relación entre volúmenes y pesos.

Relación de vacíos. Se denomina relación de vacíos, oquedad o índice de poros a la relación entre volumen de vacíos y volumen de sólidos en un suelo y sus valores teóricos varían desde 0 hasta infinito.

e	Suelo
0.25	Arenas muy compactas
0.85	Arena limosa
1.0	Arena fina uniforme
1.2	Limo uniforme
6.0	Arcilla muy compresible
15.0	Arcillas altamente compresibles

Porosidad. Se le llama así a la relación entre su volumen de vacíos y el volumen de su masa, representa pues, que tantos huecos tiene una muestra. Se expresa en % y teóricamente sus valores van de 0 a 100%.

n	Material
20%	Arenas muy compactas
90%	Arcillas muy compresibles
100%	Aire

Grado de saturación. Es la relación entre el volumen de agua y su volumen de vacíos; lo que nos permite observar si un suelo es seco, parcialmente saturado o saturado.

n	Tipo de Suelo
0%	Suelo seco
1.99%	Suelo parcialmente saturado
100%	Suelo totalmente saturado

Contenido de agua. Resulta de relacionar el peso del agua entre el peso de la fase sólida de una muestra, es de las mas sencillas en determinar y obedece a la relación del peso mojado W_w , entre el peso seco W_s , en %:

$$W (\%) = W_w / W_s \times 1003$$

1.11.5.- Pesos específicos y volumétricos.

Peso específico húmedo: es el cociente del peso total de la muestra entre el volumen de la misma. Sus unidades generalmente son en ton/m^3 .

TIPO DE SUELO	PESO VOLUMETRICO (ton/m^3)		
	MAXIMO	MINIMO	
Tepetates	Secos	1.60	0.75
	Saturados	1.95	1.30
Arena de grano en tamaño uniforme	Seca	1.75	1.40
	Saturada	2.10	1.85
Arena bien graduada	Seca	1.90	1.55
	Saturada	2.30	1.95
Arcilla típica del Valle de México en cond. Naturales		1.50	1.20

Tabla 1.11

Peso específico seco. Resulta de dividir el peso de los sólidos entre el volumen de la muestra, es decir, se excluye el peso del agua.

Peso específico sumergido. Es en el caso de un suelo sumergido en agua y que experimenta un empuje hacia arriba igual al peso del volumen del agua desalojada.

Peso específico relativo. Es la relación entre el peso específico de una sustancia y el peso específico del agua. En la práctica el más usual es el peso específico de los sólidos, también llamado densidad de sólidos.

1.11.6.- Granulometría.

Es la parte de la mecánica de suelos que estudia lo referente a las formas y distribución de tamaños de las gravas o partículas que conforman un suelo.

Suelos gruesos. Se sabe que los suelos bien graduados tienen un mejor comportamiento mecánico e hidráulico que los que no tienen esta característica; para ello, la medición en el tamaño de los granos se puede efectuar como sigue:

-Análisis Directo: se puede hacer para suelos con partículas de más de 3 pulgadas y con aparatos de precisión manual como el Vernier.

-Medición con mallas: consiste en ordenar en forma descendente una serie de mallas y hacer pasar la muestra, agitándola en forma horizontal y vertical durante un periodo de tiempo; posteriormente se calcula el porcentaje retenido en cada malla, y se grafican los porcentajes de material que pasa, en peso y el diámetro de la malla para obtener la Curva de Distribución Granulométrica.

- *Curva granulométrica:* Nos indica en general el tamaño de los granos y la buena o mala graduación de estos; dando origen a gráficas como las siguientes:

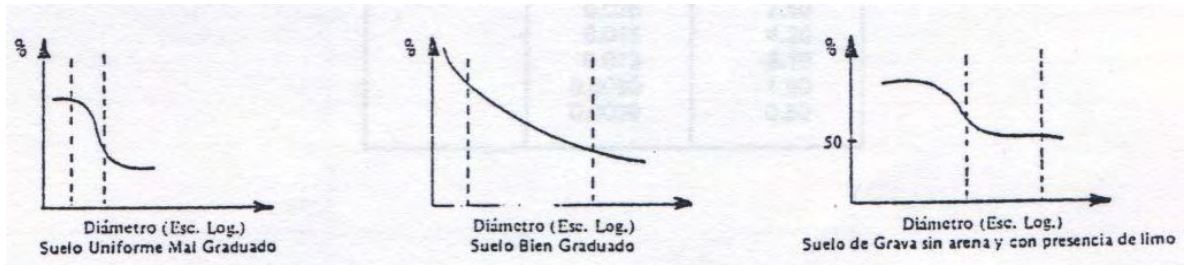


Tabla 1.12.- Curvas granulométricas de los suelos.

Suelos finos. Generalmente el análisis granulométrico solo se hace en suelos gruesos, o en aquellos en que el rango de tamaño varía entre 0.074 y 76.2 mm., sin embargo para suelos finos se puede determinar la granulometría mediante un procedimiento que se llama del hidrómetro que consiste en realizar una mezcla homogénea suelo-agua y estudiar su velocidad de sedimentación.

ESTADO DE CONSISTENCIA	LIQUIDO	SEMIQUIDO	PLASTICO	SEMISOLIDO	SOLIDO
Propiedades y Carácter del suelo	Suspensión	Comportamiento de un fluido viscoso	Comportamiento plástico	Disminución del volumen al perder humedad (contracción)	No disminuye volumen al secarse

Límite Líquido (LL) Límite Plástico (LP) Límite de Contracción (LC)

Índice de plasticidad

$$Ip = LL - LP$$

Tabla 1.13.- Límites

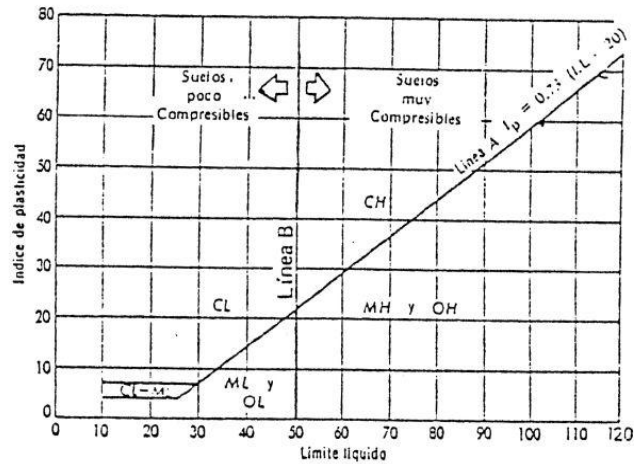
Límite líquido (LL). Contenido de agua de un suelo fino para el cual este tiene una resistencia al esfuerzo cortante de 25 kg/cm².

Límite plástico (LP). Contenido de agua según el cual un suelo comienza a perder sus propiedades plásticas para pasar a un estado semisólido.

Límite de contracción (LC). Es el contenido de agua a partir del cual el volumen de un suelo permanece constante aunque la humedad disminuye.

1.11.7.- Carta de plasticidad.

En base a los límites líquidos e índices plásticos, Casagrande obtuvo características indicativas del comportamiento de los suelos y construyó la llamada carta de plasticidad en la que se puede obtener información sobre el comportamiento de los suelos; la carta se muestra a continuación:



Característica	Límite líquido constante, pero índice plástico creciente	Índice plástico constante, pero límite líquido creciente
Compresibilidad	Prácticamente la misma	Crece
Permeabilidad	Disminuye	Disminuye
Razón de variación volumétrica	Disminuye	Disminuye
Tenacidad	Disminuye	Disminuye
Resistencia en estado seco	Disminuye	Disminuye

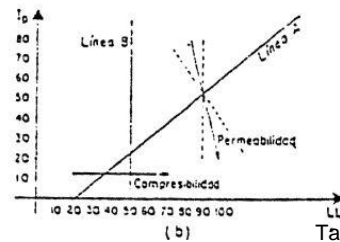
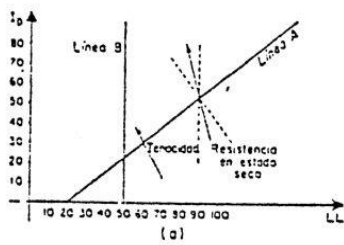


Tabla 1.14.- Carta de plasticidad

Símbolo	Significado
M	Limos inorgánicos
C	Arcillas inorgánicas
O	Limos y Arcillas Inorgánicas

Figura 1.14

1.12.- Clasificación de los suelos.

Debido a la necesidad de uniformizar y normar un criterio referente a las características y propiedades mecánicas de los suelos, se ha dado pie a la creación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), que distingue los suelos gruesos de acuerdo a las partículas que pasan la malla No. 200 (0.074 mm.).

El SUCS, considera a cada grupo representándolo con dos letras mayúsculas, que son las iniciales de los nombres ingleses de los suelos más comunes como se indica a continuación:

SIMBOLO	SIGNIFICADO
G	Gravas
S	Arenas y suelos arenosos

Se sabe que un suelo pertenecerá al grupo G si mas del 50% de su fracción gruesa no pasa la malla No. 4, y si sucede lo contrario, el suelo formará parte del grupo S.

1.12.1.- Suelos gruesos.

Las gravas y arenas dan lugar a la siguiente clasificación, dependiendo de las características de limpieza, graduación y porcentaje de finos de cada grupo.

SIMBOLO	SIGNIFICADO
W	Material limpio de finos, bien graduado
P	Material limpio de finos, mal graduado
M	Material con finos no plásticos
C	Material con finos plásticos.

Precedidos de la grava (G) o de la arena (S), dan lugar a lo siguiente:

GRUPO	DESCRIPCION
GW Y SW	Suelos bien graduados y con pocos finos o bien limpios de tal manera que en la práctica, el contenido de finos sea menor del 5% en peso.
GP y SP	Son suelos mal graduados, con apariencia uniforme o presentan predominio de algún tamaño.

GM y SM	En estos suelos la proporción de finos afecta las principales características mecánicas de la parte gruesa (resistencia, esfuerzo-deformación, drenaje). La plasticidad de estos finos es nula.
GC y SC	Para estos suelos, el contenido de finos debe ser mayor al 12% en peso; y estos son de media a alta plasticidad.

1.12.2.- Suelos finos.

Se consideran suelos finos (S) a los suelos que en mas del 50% pasan la malla No. 4 y al igual que en los suelos gruesos, el SUCS también clasifica a los suelos finos agrupándolos en dos letras mayúsculas como sigue:

SIMBOLO GENERICO	MATERIAL
M	Limos orgánicos
C	Arcillas inorgánicas
O	Limos y arcillas inorgánicas.

Al añadir al símbolo genérico la letra L (low compressibility) significa de baja compresibilidad y al añadir la letra H (Hig compressibility) se refiere a alta compresibilidad, y se agrupan como se muestra:

GRUPO	DESCRIPCION
CL y CH	Se refiere a las arcillas inorgánicas, arcillas formadas por la descomposición orgánica o cenizas volcánicas.
ML y MH	Hace alusión a los limos típicos inorgánicos y limos arcillosos
OL y OH	Son igual a los ML y MH, aunque en el SUCS se encuentran cercanos a la línea A, como veremos en la figura siguiente.

CAPÍTULO 2

CARACTERÍSTICAS DE LAS VIAS TERRESTRES

Dentro de la construcción de vías terrestres, existe una enorme diversidad de elementos que deben ser considerados al momento de proyectar un camino; por lo que en el presente capítulo se abordan las principales características que deben ser contempladas en la elaboración de este tipo de proyectos.

2.1.- Alineamiento vertical.

Los alineamientos horizontal y vertical de una vía, afectan su capacidad y el nivel de servicio; ya que estos alineamientos están diseñados en base a la velocidad de proyecto; a continuación se muestra en lo que consiste el alineamiento vertical.

Según el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras de la SCT (1974); se define al alineamiento vertical como la proyección sobre un plano vertical del desarrollo del eje de la subrasante; considerando que la subrasante es la línea de referencia que define el alineamiento vertical.

El alineamiento vertical de un camino se compone de tangentes y curvas; caracterizándose las tangentes por su longitud y su pendiente y están limitadas por dos curvas sucesivas; siendo la longitud de una tangente, la distancia medida horizontalmente entre el fin de la curva anterior y el principio de la siguiente, y la pendiente de la tangente es la relación entre el desnivel y la distancia entre dos puntos de la misma.

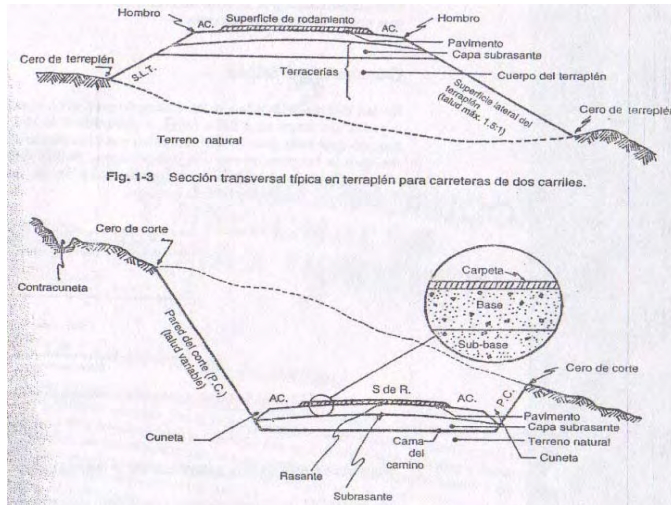


Figura 2.1.- Sección de un camino

2.1.1.- Pendiente gobernadora.

Se refiere a la pendiente media que puede darse a la línea subrasante para dominar un desnivel, está en función de las características del tránsito y del terreno; buscándose optimizar los costos de construcción, conservación y operación de esta.

2.1.2.- Pendiente máxima.

Es la mayor pendiente que se puede permitir en el proyecto; y queda determinada por el volumen y composición del tránsito, así como por la configuración del terreno.

La pendiente máxima se empleará cuando así convenga desde el punto de vista económico y para salvar obstáculos importantes; con la salvedad de no rebasar la longitud crítica.

Se recomienda que para caminos principales, las pendientes no excedan las mostradas a continuación; aunque para caminos secundarios y con escaso volumen de tránsito estas pueden incrementarse hasta en dos por ciento.

TIPO DE TERRENO	PORCIENTO EN PENDIENTE MAXIMA PARA DIVERSAS VELOCIDADES DE PROYECTO, EN KM/h.						
	50	60	70	80	90	100	110
Plano	6	5	4	4	3	3	3
Lomerío	7	6	5	5	4	4	4
Montañoso	9	8	7	7	6	5	5

Tabla 2.2.- Relación entre pendiente máxima y velocidad de proyecto (caminos principales)

2.1.3.- Pendiente mínima.

La pendiente mínima es la que se fija para permitir el drenaje, aunque en los terraplenes puede ser nula y en los cortes, se recomienda 0.5% mínimo, para garantizar el correcto funcionamiento de las cunetas, tomando en cuenta que esto puede variar dependiendo de la precipitación pluvial y de la longitud de los cortes.

2.1.4.- Longitud crítica.

El Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras de la SCT(1974), señala que la longitud crítica de una tangente del alineamiento vertical, es la longitud máxima en la que un camión cargado puede ascender sin reducir su velocidad en más de un límite establecido; los factores que intervienen en su determinación, el vehículo de proyecto, la configuración del terreno, el volumen y la composición del tránsito.

Cuando se trata de caminos con volúmenes de tránsito alto en cualquier tipo de terreno o con cualquier volumen de tránsito en terrenos planos o lomerío suave, se considera que la longitud crítica de cualquier pendiente es aquella que provoca una reducción en la velocidad de marcha del vehículo de proyecto en 25 km/h.

2.1.5.- Curvas verticales.

Las curvas verticales son las que enlazan dos tangentes consecutivas del alineamiento vertical, para que en su longitud se efectúe el paso gradual de la

pendiente de la tangente de entrada a la de la tangente de salida.

La expresión recomendada para usarse en las curvas verticales corresponde a la de una parábola, pudiendo tener concavidad hacia arriba o hacia abajo, recibiendo el nombre de curvas en columpio o en cresta.

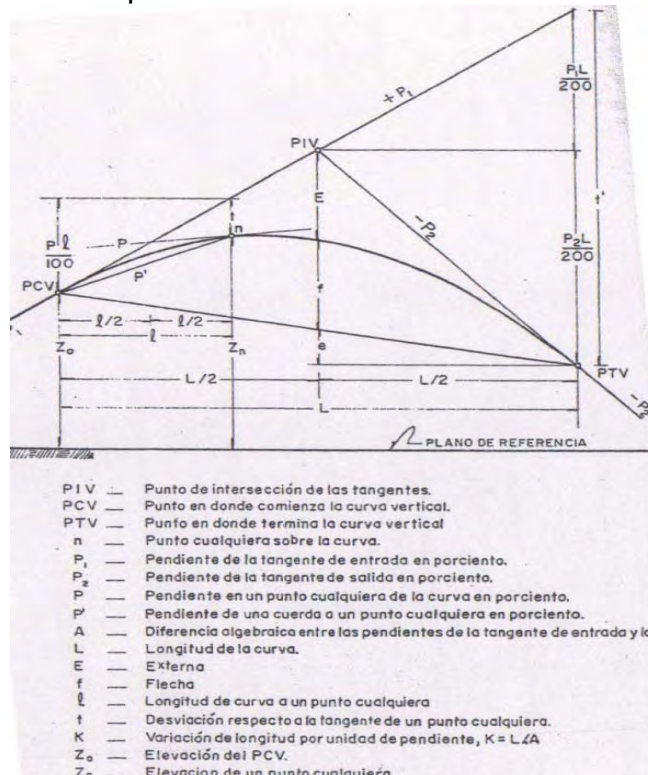


Figura 2.3.- Curva

2.2.- Alineamiento horizontal.

El alineamiento horizontal de un camino es la proyección sobre un plano horizontal del eje de la subcorona o sobrasante de un camino; y está integrado por las tangentes, las curvas circulares y las curvas de transición. A continuación se definen cada una de estas.

2.2.1.- Tangentes.

Son la proyección sobre un plano horizontal de las rectas que unen las curvas. Como las tangentes van unidas entre si por curvas, la longitud de una tangente es

la distancia comprendida entre el fin de la curva anterior y el inicio de la siguiente, considerando a cualquier punto localizado sobre el terreno sobre una tangente como punto sobre tangente. La longitud máxima de una tangente está condicionada por la seguridad; ya que tangentes muy largas son causa de posibles accidentes porque producen somnolencia o porque favorecen los deslumbramientos.

2.2.2.- Curvas circulares.

Según lo estipula en el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras de la SCT (1974), las curvas circulares, son arcos de círculo que forman la proyección horizontal de las curvas empleadas para unir dos tangentes consecutivas; pueden ser simples o compuestas, si se trata de un solo arco, dos o más de diferente radio.

2.2.2.1.- Curvas circulares simples.

Se originan cuando dos tangentes están unidas entre si por una sola curva circular; y en el sentido del cadenamamiento pueden ser hacia la izquierda o hacia la derecha, teniendo como elementos característicos los siguientes:

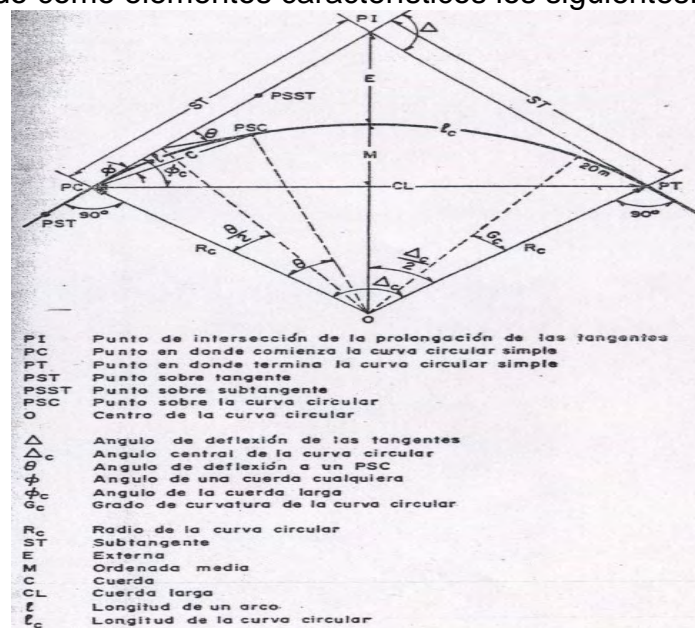


Figura 2.4.- Elementos de la curva circular simple

2.2.2.2.- Curvas circulares compuestas.

Son aquellas que están formadas por dos o más curvas circulares simples del mismo sentido y de diferentes radios, o de diferente sentido y cualquier radio, pero siempre con un punto de tangencia común entre dos consecutivas.

Cuando son del mismo sentido se llaman compuestas directas y cuando son de sentido contrario, compuestas inversas.

2.3.- Sección transversal.

La sección transversal de una carretera en un punto de ésta es un corte vertical normal al alineamiento horizontal, el cual permite definir la disposición y dimensiones de los elementos que forman la carretera en el punto correspondiente a cada sección y su relación con el terreno natural.

Los elementos que integran y definen la sección transversal son: derecho de vía, corona, calzada, bermas, carriles, cunetas, taludes y otros elementos.

La estructuración de la sección transversal de un camino debe hacerse de tal forma que los esfuerzos que lleguen a los materiales con que están contruidos sean menores que los que pueden resistir, sin presentar fallas ni deformaciones visibles.

Conforme a lo expuesto por Olivera (2006), existen tres tipos posibles de secciones en una vía terrestre: en terraplén, en cajón y en balcón o mixta.

En la siguiente figura se pueden observar los elementos constituyentes de una sección transversal tipo, donde se mencionan todas sus características.

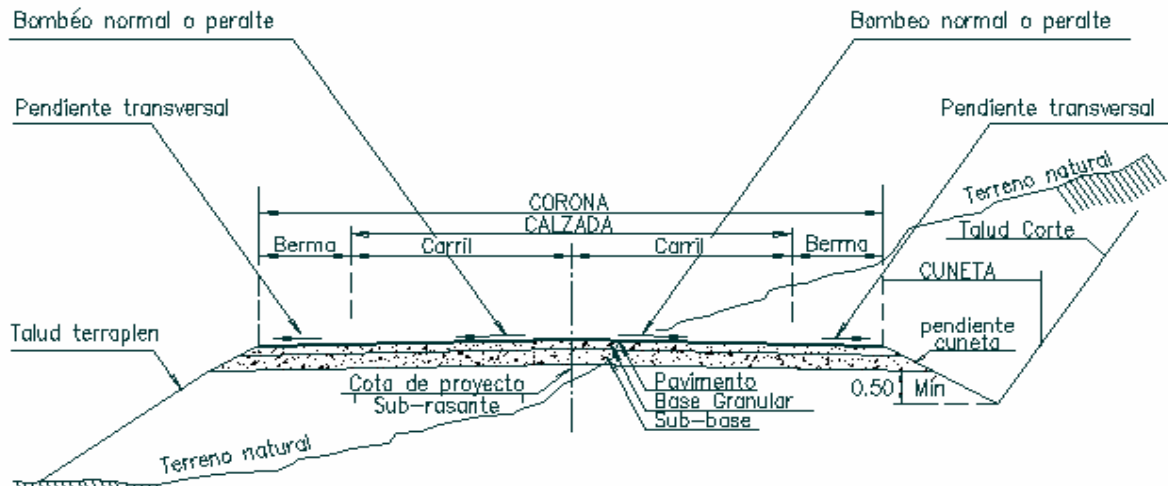


Fig. 2.5.- Sección Transversal Típica

2.3.1.- Derecho de vía.

Es la faja de terreno destinada a la construcción, mantenimiento, futuras ampliaciones de la vía si la demanda de tránsito así lo exige, servicios de seguridad y servicios auxiliares.

2.3.2.- Corona.

La corona es la superficie de la carretera terminada que queda comprendida entre los bordes de las bermas de la carretera, o sea las aristas superiores de los taludes del terraplen y/o las interiores de las cunetas. En la sección transversal está representada por una línea. Los elementos que definen la corona son: rasante, pendiente transversal, calzada y acotamientos.

a) Rasante: La rasante es la línea que resulta de establecer las cotas del eje de referencia de la geometría de la carretera a lo largo de su desarrollo. En la sección transversal está representada por un punto que debe coincidir con la referencia para el giro de peralte.

b) Pendiente Transversal: Es la pendiente que se da a la corona y a la subrasante de plataforma normal a su eje. Según su relación con elementos del alineamiento horizontal se pueden presentar tres casos:

Bombeo: El bombeo o pendiente transversal normal es la pendiente que se da a la corona en las tangentes del alineamiento horizontal hacia uno u otro lado de la rasante para evitar la acumulación del agua sobre la carretera. Un bombeo apropiado será aquel que permita un drenaje correcto de la corona con la mínima pendiente, a fin de que el conductor no tenga sensaciones de incomodidad e inseguridad.

Tipo de superficie de rodadura		Bombeo (%)
Muy buena	Superficie de concreto hidráulico o asfáltico, colocada con extendedoras mecánicas.	2
Buena	Superficie de mezcla asfáltica colocada con terminadora. Carpeta de riegos.	2 - 3
Regular a mala	Superficie de tierra o grava.	2 - 4

Fig. 2.6.- Bombeo de la calzada

Peralte: El peralte es la pendiente que se da a la corona hacia el centro de la curva para contrarrestar parcialmente el efecto de la fuerza centrífuga de un vehículo en las curvas del alineamiento horizontal. Algunos problemas relacionados con la construcción, operación y conservación de la carretera, han mostrado la necesidad de fijar un peralte máximo. Se recomienda usar un peralte máximo absoluto del 8%.

c) Calzada: por lo señalado en el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras de la SCT (1974), La calzada es la parte de la corona destinada a la circulación de vehículos y constituida por dos o más carriles, entendiéndose por carril a la faja de ancho suficiente para la circulación de una fila de vehículos.

El ancho de la calzada es variable a lo largo de la carretera y depende de la localización de la sección en el alineamiento horizontal y excepcionalmente en el vertical. Normalmente el ancho de la calzada se refiere al ancho en tangente del alineamiento horizontal. En la siguiente tabla se suministran los anchos de calzada recomendados en función del tipo de carretera, del tipo de terreno y de la velocidad de diseño.

Tipo de Carretera	Tipo de Terreno	VELOCIDAD DE DISEÑO (Km/h)									
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Carretera Principal de dos calzadas	Plano	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30
	Ondulado	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	7.30
	Montañoso	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	7.30
	Escarpado	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	7.30
Carretera Principal de una calzada.	Plano	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-	-
	Ondulado	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	7.30	-	-
	Montañoso	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-	-	-
	Escarpado	-	-	-	7.00	7.00	7.00	-	-	-	-
Carretera Secundaria	Plano	-	-	7.00	7.30	7.30	7.30	-	-	-	-
	Ondulado	-	7.00	7.00	7.30	7.30	7.30	-	-	-	-
	Montañoso	-	6.60	7.00	7.00	7.00	-	-	-	-	-
	Escarpado	6.00	6.00	6.60	7.00	-	-	-	-	-	-
Carretera Terciaria	Plano	-	5.00	6.00	6.60	-	-	-	-	-	-
	Ondulado	5.00	5.00	6.00	6.60	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	5.00	5.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Escarpado	5.00	5.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 2.7.- Ancho recomendado de la calzada.

Ancho de calzada en tangente: El ancho de la calzada en tangente se determinará con base en el nivel de servicio deseado al finalizar el período de diseño o en un determinado año de la vida de la carretera. En consecuencia, el ancho y número de carriles se determinarán mediante un análisis de capacidad y niveles de servicio. Los anchos de carril usados son: 2.50 m, 3.00 m, 3.30 m, 3.50 m y 3.65 m y normalmente se proyectan dos, cuatro o más carriles.

En tangentes del alineamiento vertical con fuerte pendiente longitudinal, puede ser necesario ampliar la calzada mediante la adición de un carril para que por él

transiten los vehículos lentos, mejorando así la capacidad y el nivel de servicio. El ancho y la longitud de ese carril se determina mediante un análisis de operación de los vehículos.

Ancho de calzada en curvas del alineamiento horizontal: Cuando un vehículo circula por una curva del alineamiento horizontal, ocupa un mayor ancho que cuando circula sobre una tangente y el conductor experimenta cierta dificultad para mantener su vehículo en el centro del carril, por lo que se hace necesario proporcionar un ancho adicional a la calzada respecto al ancho en tangente.

A esta ampliación se le llama **sobreancho**, el cual debe darse tanto a la calzada como a la corona. El sobreancho de la calzada en las curvas, se da en el lado interior. Para pasar del ancho de calzada en tangente al ancho de calzada en curva, se aprovecha la longitud de transición requerida para desarrollar el peralte, de manera que la orilla interior de la calzada forme una curva suave sin quiebres bruscos a lo largo de ella.

d) Acotamientos: Son las fajas contiguas a la calzada, comprendidas entre sus orillas y las líneas definidas por los hombros de la carretera. Tienen como ventajas principales las siguientes:

- Dar seguridad al usuario de la carretera al proporcionarle un ancho adicional fuera de la calzada, en el que puede eludir accidentes potenciales o reducir su severidad, pudiendo también estacionarse en ellas en caso obligado. Por todo ello se hace obligatorio disponer la superficie del acotamiento al mismo nivel que la superficie de rodadura de la calzada.

- Proteger contra humedad y posibles erosiones a la calzada, así como dar confinamiento al pavimento.
- Mejorar la visibilidad en los tramos en curva, alojados en corte.
- Facilitar los trabajos de conservación.
- Proporcionar mejor apariencia a la carretera.
- Separar los obstáculos del borde de la calzada.

El ancho de los acotamientos depende principalmente del volumen de tránsito y del nivel de servicio a que la carretera vaya a funcionar.

En el caso de que el acotamiento se pavimente, será necesario añadir lateralmente al mismo para su adecuado confinamiento, una banda de mínimo 0.5 metros de anchura sin pavimentar. A esta banda se le denomina sobreebanco de compactación y puede permitir la localización de señalización y defensas.

2.3.3.- Cunetas.

Son zanjas abiertas en el terreno, revestidas o no, que recogen y canalizan longitudinalmente las aguas superficiales y de infiltración. Sus dimensiones se deducen de cálculos hidráulicos, teniendo en cuenta la intensidad de lluvia prevista, naturaleza del terreno, pendiente de la cuneta, área drenada, etc.

En general por razones de seguridad son deseables cunetas de sección trapecial con taludes suaves, fondos amplios y aristas redondeadas, lo que requiere bastante espacio junto a la plataforma (o corona), lo cual puede llegar a ser demasiado costoso. Por razones de orden constructivo, sin embargo, las cunetas en tierra tienen en la mayoría de los casos una sección triangular así sean preferibles

desde el punto de vista hidráulico las de sección trapezoidal.

2.3.4.- Taludes.

Los taludes son los planos laterales que limitan la sección. Su inclinación se mide por la tangente del ángulo que forman tales planos en la vertical, en cada sección de la vía. Un talud se designa en tanto por uno, donde la unidad tiene sentido vertical; por ejemplo, un corte de $\frac{1}{2}$ por uno es un talud de 0.50m por m.

Altura de taludes corte o terraplén (m)	Talud horizontal a vertical por tipo de terreno		
	Plano u ondulado	Montañoso	Escarpado
0 a 1.20	6 a 1	4 a 1	4 a 1
1.20 a 3.00	4 a 1	3 a 1	2 a 1
3.00 a 4.50	3 a 1	2½ a 1	1¾ a 1
4.50 a 6.00	2 a 1	2 a 1	1½ a 1
> 6.00	2 a 1	1½ a 1	1½ a 1

En suelos erosionables se debenevitar taludes altos.

Tabla 2.8.- Valores indicativos para taludes

2.3.5.- Carriles especiales.

Por lo expuesto por Olivera (2006), los constituyen ensanchamientos de la calzada, para fines específicos; entre otros, se tienen:

a. Carriles de cambio de velocidad: Antes de entrar en una vía de giro o ramal, normalmente los vehículos tienen que frenar, así como acelerar al salir de aquélla, ya que su velocidad es inferior a la de la vía principal. Para que estos cambios de velocidad no perturben el tránsito en tanto mayor grado cuanto más elevado sea el volumen, se habilitan carriles especiales, que permitan a los vehículos hacer sus cambios de velocidad fuera de la vía principal, que debe ser una vía dividida. Estos carriles son imprescindibles en carreteras principales de una o de dos calzadas; o en

otras carreteras que tengan movimientos de giro superiores a 25 vehículos por hora.

b. Carriles de desaceleración: Tienen por objeto permitir que los vehículos que vayan a ingresar en la vía puedan reducir su velocidad hasta alcanzar la de ésta. Su utilidad es tanto mayor cuanto mayor sea la diferencia con la vía principal. Si los vehículos deben detenerse, para efectuar su giro a la izquierda, por ejemplo, puede ser necesario prolongar el carril de desaceleración con una zona de espera.

c. Carriles de aceleración: Se diseña y construye un carril de aceleración para que los vehículos que salen de sus ramas de giro, y deseen incorporarse a la vía principal, puedan hacerlo con una velocidad similar a la de los vehículos que circulan por ésta, Los carriles de aceleración no siempre se justifican. No deben implantarse cuando la vía secundaria está controlada por señales de pare o por semáforos, pues resultan demasiado largos y antieconómicos e innecesarios.

2.4.- Elementos constituyentes de un pavimento.

Se llama pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente.

De acuerdo con lo señalado por Olivera (2006), las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento son las siguientes: anchura, trazo horizontal y vertical, resistencia adecuada a las cargas para evitar las fallas y los agrietamientos, además de una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aun en

condiciones húmedas. Deberá presentar una resistencia adecuada a los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua.

Puesto que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad, se deberán colocar los materiales de mayor capacidad de carga en las capas superiores, siendo de menor calidad los que se colocan en las terracerías; además de que por ser materiales comunes en la naturaleza, resultan ser los más económicos.

La división en capas que se hace en un pavimento obedece a un factor económico, ya que cuando determinamos el espesor de una capa el objetivo es darle el grosor mínimo que reduzca los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior.

2.4.1.- Tipos de pavimentos.

Según lo señalado por Olivera (2006), básicamente existen dos tipos de pavimentos: rígidos y flexibles.

El pavimento rígido es una estructura compuesta de varias capas de material que tienen como función el transmitir de forma disipada las cargas que se exponen en la superficie formada por losa de concreto hidráulico, y que en algunas ocasiones presenta un armado de acero, tiene un costo inicial más elevado que el flexible, su periodo de vida varía entre 20 y 40 años; el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa (comúnmente) en las juntas de las losas.

El pavimento flexible resulta más económico en su construcción inicial, tiene un

periodo de vida de entre 10 y 15 años, pero tiene la desventaja de requerir mantenimiento constante para cumplir con su vida útil. Este tipo de pavimento esta compuesto principalmente de una carpeta asfáltica, de la base y de la sub-base.

2.4.2.- Terracerías.

En el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras de la SCT (1974), se le llama terracería al conjunto de obras compuestas de cortes y terraplenes, formadas principalmente por la sub-rasante y el cuerpo del terraplén, constituida generalmente por materiales no seleccionados y se dice que es la subestructura del pavimento; aunque de igual forma puede definirse como los volúmenes de materiales que se extraen o que sirven de relleno en la construcción de un camino.

La extracción de esos volúmenes puede hacerse a lo largo de la línea de la obra y si este volumen se usa en la construcción de terraplenes o rellenos, las terracerías son compensadas y el volumen de corte que no se usa se denomina desperdicio; y si el material no es suficiente y se tiene que extraer fuera de la línea, se le llama de préstamo lateral o de banco.

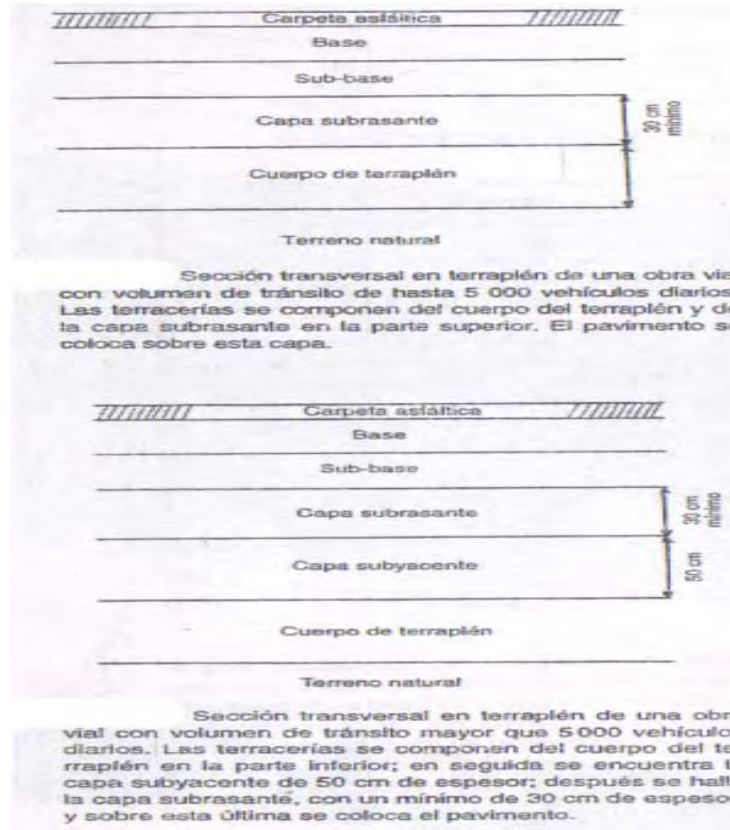


Fig. 2.9.- Secciones

transversales.

2.4.2.1.- Características de las terracerías.

Las características y funciones de los materiales utilizado en estas capas de las terracerías según Mier S. (1987), son las siguientes.

Cuerpo del terraplén: la finalidad de esta parte de la estructura de las vías terrestres, es la de alcanzar la altura necesaria para satisfacer las especificaciones geométricas (pendiente longitudinal) resistir las cargas del transito transmitidas por las capas superiores y distribuir los esfuerzos para transportarlos al terreno natural. Los materiales utilizados en su construcción se dividen en compactables y no compactables o en la facilidad que tienen para compactarse.

2.4.2.2.- Desmontes.

Se le llama así al despeje de la vegetación existente en el derecho de vía y en las áreas destinadas a bancos; el objetivo es evitar la presencia de materia vegetal en la obra; y comprende las siguientes operaciones: tala, que consiste en cortar los árboles y arbustos; roza, que consiste en quitar la maleza, hierba, zacate o residuos de las siembras; limpia y quema, que consiste en retirar a un lugar idóneo, el producto del desmonte.

2.4.2.3.- Cortes.

Son excavaciones a cielo abierto en el terreno natural, en ampliación o abatimiento de taludes, en rebajes en la corona de cortes o terraplenes existentes, derrumbes, en escalones y en despalmes de cortes o desplantes de terraplenes; todos con el objeto de preparar o formar la sección de la obra.

De acuerdo con la dificultad que presentan los materiales para ser extraídos y cargados, y por lo expuesto por Mier S. (1987), se clasifican en:

Material A: es el material blando o suelto, que puede ser excavado fácilmente, y son generalmente suelos poco o nada cementados con partículas hasta de 3”.

Material B: es el material que solo puede ser excavado mediante el uso de tractores o palas mecánicas y sin el uso de explosivos; se presenta generalmente como piedras sueltas menores de 75 cms., y mayores de 3”.

Material C: es aquel material que solo puede ser extraído mediante el uso de explosivos, como materiales fuertemente cementados y rocas de mas de 75 cms.

En el caso de que el corte este compuesto por materiales de diferente grado de dificultad para su excavación, cada material se clasifica por separado; aunque en el caso de no ser posible lo anterior, se fija a todo el volumen de corte la clasificación representativa que más predomine.

2.4.2.4.- Préstamos.

Son las excavaciones ejecutadas en los lugares determinados por el proyecto, para obtener los materiales con que se forman los terraplenes no compensados, pudiendo ser laterales o de banco; estos se hacen dentro de las fajas ubicadas fuera de los cerros, en uno o en ambos lados del eje del camino.

Los anchos de la fajas se miden a partir de ese eje y pueden ser de 20, 40, 60, 80, o 100 mts., y de esto se define que los préstamos de banco, son aquellos que se ejecutan fuera de esta faja.

2.4.2.5.- Terraplenes.

Los terraplenes son estructuras de tierra ejecutadas con material producto de cortes o préstamos; se consideran como tales a las cuñas contiguas a los estribos de los puentes y de pasos a desnivel, la ampliación de la corona, el tendido de los taludes y la elevación de la sub-rasante.

Para la construcción de los terraplenes, los materiales aplicados se clasifican en compactables, que son los suelos, los fragmentos de roca muy alterada, los conglomerados medianamente cementados, las areniscas blandas y los tepetates; y los materiales no compactables como son los fragmentos de roca proveniente de mantos sanos como basaltos, conglomerados fuertemente cementados, calizas etc.

Se recomienda siempre despaldar el sitio del desplante de los terraplenes, rellenando los huecos causados por el desenraice; así mismo, para lograr que todo el terraplén alcance su grado máximo de compactación fijado, debe construirse con una corona mas ancha que la teórica del proyecto.

2.4.2.6.- Canales.

Los canales son excavaciones a cielo abierto que se realizan para formar la sección de las contracunetas, de cauces artificiales y de rectificación de cauces naturales.

2.4.2.7.- Acarreos para terracerías.

Se definen así a los transportes de material producto de cortes, excavaciones adicionales debajo de la subrasante, ampliación o abatimiento de taludes, rebajes de corona de cortes o terraplenes, escalones, despaldes, préstamos y canales; el cual es utilizado para construir un terraplén o efectuar un desperdicio; y puede incluirse también como acarreo, al transporte del agua.

El acarreo libre es el efectuado hasta una distancia de 20 mts., y es el parámetro para el origen de los sobreacarreos.

2.4.3.- Revestimientos.

De conformidad a lo expuesto por Mier S. (1987), son capas de material seleccionado generalmente no compactado que se tiende sobre las terracerías, a fin de servir como superficie de rodamiento; y los materiales que se utilizan para tal efecto, se pueden clasificar en materiales que no requieren tratamientos, materiales que requieren ser disgregados, materiales que requieren ser triturados parcialmente y cribados; y materiales que requieren ser triturados y cribados.

2.4.4.- Sub - Bases.

Según las normas de la Secretaría de Comunicaciones y transportes para la construcción de carreteras, la subbase se puede definir como una capa de materiales pétreos seleccionados que se construye sobre la subrasante, cuyas funciones principales son la de proporcionar un apoyo uniforme a la base de una carpeta asfáltica a una losa de concreto hidráulico, soportar las cargas que éstas le transmiten aminorando los esfuerzos inducidos y distribuyéndolos de forma adecuada en la capa inmediata inferior, así como prevenir la migración de finos hacia las capas superiores.

Cumple una cuestión de economía, ya que nos ahorra dinero al poder

transformar un cierto espesor de la capa de base a un espesor equivalente de material de sub-base, además de que impide que el agua de las terracerías ascienda por capilaridad y evita que el pavimento sea absorbido por la sub-rasante.

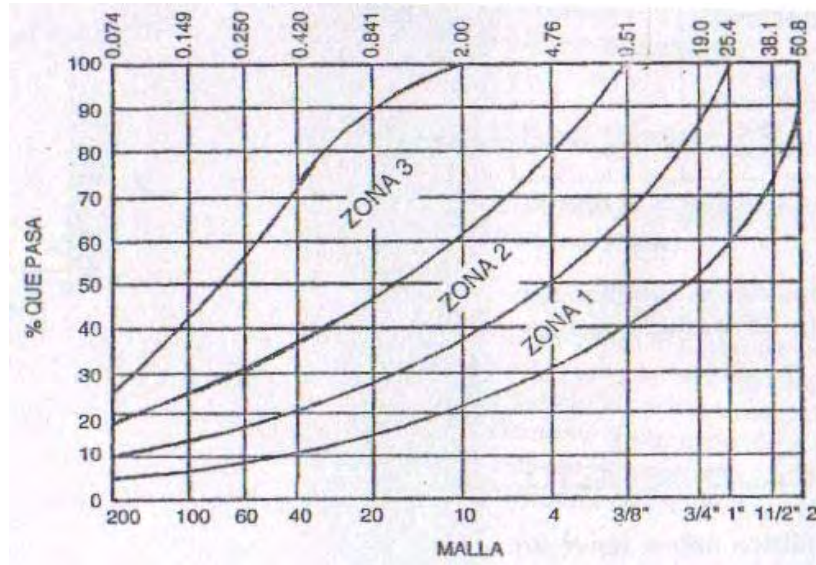


Tabla 2.10.- Características de calidad requeridos en los materiales que se utilizan como sub-bases de pavimento

Los materiales que se utilizan para la construcción de sub-bases se pueden clasificar en:

- Materiales que no requieren tratamiento: los poco o nada cohesivos, (limos, arenas y gravas que al extraerlos quedan sueltos y que no contienen mas de 5% de partículas mayores de 2").
- Materiales que requieren ser disgregados: aquellos que al extraerlos resultan con terrones, pero que al someterlos a la acción de los equipos de disgregación, no contienen mas de 5% de partículas mayores de 2".
- Materiales que requieren ser cribados: los que al extraerlos, quedan sueltos y con contenido entre el 5 y el 25% de material mayor de 2"; los cuales deben ser cribados

por la malla No. 2.

- Materiales que requieren ser triturados parcialmente y cribados: los que al extraerlos quedan sueltos y contienen mas del 25% de partículas mayores de 2", los cuales tienen que ser triturados y cribados.
- Materiales que requieren ser triturados totalmente y cribados con la malla de 1 ½".

2.4.5.- Base.

De igual forma, y en relación a lo expuesto en el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras de la SCT (1974), la base de un camino, se puede definir como la capa de material pétreo seleccionado que se construye generalmente sobre la subbase, y cuyas funciones principales son proporcionar un apoyo uniforme a la carpeta asfáltica, soportar las cargas que ésta le transmite aminorando los esfuerzos inducidos y distribuyéndolos adecuadamente a la capa inmediata inferior, proporcionar a la estructura de pavimento la rigidez necesaria para evitar deformaciones excesivas, drenar el agua que se pueda infiltrar e impedir el ascenso capilar del agua subterránea.

Es la capa que recibe la mayor parte de los esfuerzos producidos por los vehículos, y la carpeta es colocada sobre de ella porque la capacidad de carga del material friccionante, es baja en la superficie por falta de confinamiento.

Regularmente esta capa además de la compactación, necesita otro tipo de mejoramiento (estabilización), para poder resistir las cargas del tránsito sin

deformarse y además de transmitir las en forma adecuada a las capas inferiores, por lo que el valor cementante en una base, es indispensable para proporcionar una sustentación adecuada a las carpetas asfálticas delgadas, de lo contrario, cuando las bases se construyen con materiales inertes y se comienza a transitar por la carretera, los vehículos provocan deformaciones transversales.

En el caso de la granulometría, no es estrictamente necesario que los granos tengan una forma semejante a la que marcan las fronteras de las zonas, siendo de mayor importancia que el material tenga un VRS (valor relativo de soporte) y una plasticidad mínima; además se recomienda no compactar materiales en las bases que tengan una humedad igual o mayor que su límite plástico.

De acuerdo con el criterio usado, en la actualidad se tiene que para carreteras con un tránsito menor a 1000 vehículos pesados, se recomienda que el espesor de la bases sea de 12 cm.; y cuando el tránsito sea mayor, se recomienda que el espesor mínimo sea de 15cm. Para las sub-bases la SCT recomienda un espesor mínimo de 10 cm.

Las sub-bases y las bases tienen finalidades y características semejantes; sin embargo las primeras pueden ser de menor calidad; a continuación se mencionan algunas de sus funciones principales.

- Recibir y resistir las cargas del tránsito a través de la capa que constituye la superficie de rodamiento.
- Transmitir estas cargas adecuadamente al distribuirlas en las terracerías.

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

2.4.6.- Carpeta asfáltica.

La carpeta asfáltica es la parte superior del pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento, es elaborada con material pétreo seleccionado y un producto asfáltico dependiendo del tipo de camino que se va a construir; las principales características con que debe cumplir el material pétreo son las siguientes:

- a) un diámetro menor de una pulgada y tener una granulometría adecuada.
- b) deberá tener cierta dureza para lo cual se le efectuarán las pruebas de *desgaste los ángeles, intemperismo acelerado, densidad y durabilidad*.
- c) la forma de la partícula deberá ser lo más cúbica posible, se recomienda no usar material en forma de laja o aguja pues se rompen con facilidad alterando la granulometría y pudiendo provocar fallas en la carpeta, se efectuarán pruebas de equivalente de arena ya que los materiales finos en determinados porcentajes no resultan adecuados.

En las mezclas asfálticas, es de gran importancia conocer la cantidad de asfalto por emplearse, debiéndose buscar un contenido óptimo; ya que en una mezcla este elemento forma una membrana alrededor de las partículas de un espesor tal que sea suficiente para resistir los efectos del tránsito y de la intemperie;

pero no debe resultar muy gruesa ya que además de resultar antieconómica puede provocar una pérdida de la estabilidad en la carpeta, además este exceso de asfalto puede hacer resbalosa la superficie; para calcular este óptimo se tienen las pruebas de compresión simple para mezclas en frío, la prueba Marshall para muestras en caliente y la prueba de Hveem.

Para conocer la adherencia entre el material pétreo y el asfalto se pueden utilizar pruebas de desprendimiento por fricción, pérdida de estabilidad o bien, cubrimiento por el método ingles; en caso de que las características del material pétreo no sean aceptables, se pueden lavar o bien usar un estabilizante para cambiar la tensión superficial de los poros.

El tipo y espesor de una carpeta asfáltica se elige de acuerdo con el tránsito que va a transitar por ese camino, tomando en cuenta el siguiente criterio:

Intensidad del tránsito pesado en un solo sentido	Tipo de carpeta
Mayor de 2000 veh/día	Mezcla en planta de 7.5cm de espesor mínimo
1000 a 2000	Mezcla en planta con un espesor mínimo de 5cm
500 a 1000	Mezcla en el lugar o planta de 5cm como mínimo
Menos de 500	Tratamiento superficial simple o múltiple.

Tabla 2.11.- Tipos de Carpetas utilizables.

Los materiales para la elaboración de las carpetas asfálticas deben ser de los tipos que se señalan a continuación:

1.- Materiales que requieren ser cribados. Los poco o nada cohesivos que al extraerlos quedan sueltos y que:

a) deben ser cribados por una malla para eliminar el desperdicio de tamaños mayores a 1", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ " o $\frac{1}{4}$ ".

b) por 2 mallas, para eliminar desperdicios mayores de 1" y $\frac{3}{4}$ ", y tamaños menores que en cada caso se especifiquen.

c) por 3 mallas, para eliminar desperdicios mayores de 1" y $\frac{3}{4}$ " y obtener además materiales con tamaños máximos de $\frac{1}{2}$ " y $\frac{1}{4}$ ".

d) por varias mallas, para obtener los materiales pétreos necesarios para la construcción de carpetas por el sistema de riego.

2.- Materiales que requieren ser triturados parcialmente y cribados.

3.- Materiales que requieren ser triturados totalmente y cribados.

El equipo más usual para la construcción de sub-bases y bases es:

De producción de material pétreo: equipo de barrenación de trituración, cribas, rotatoria, vibratoria o fija.

De carga y acarreo: camiones de volteo, cargadores frontales o pala mecánica.

De construcción: para el mezclado y tendido se usa la motoconformadora o mezcladora móvil y para la adición del agua se usan las pipas. Para bases estabilizadas con asfalto se requiere de petrolizadota; y para estabilizaciones con cal o cemento se puede utilizar equipo especial, o incorporarlo sobre el camellón y revolverlo con motoconformadora o mezcladora.

2.4.6.1.- Estabilización de materiales:

La estabilización consiste en agregar un producto químico o aplicar un tratamiento físico con la finalidad de lograr que se modifiquen las características de los suelos.

Según Mier S. (1987), se dice que es la corrección de una deficiencia para darle una mayor resistencia al terreno o bien, disminuir su plasticidad. Las tres formas de lograrlo son las siguientes:

Físicas.

- Mezclas de suelos (común)
- Geotextiles telas permeables no biodegradables que pueden emplearse como filtros en sustitución de agregados graduados como estabilizadores de suelos blandos y como elementos para sustituir la erosión de suelos y el acarreo de azolves.
- Consolidación previa.

Químicas.

- Cal. Económica para suelos arcillosos (disminuye plasticidad)
- Cemento Pórtland para arenas o gravas finas (aumenta la resistencia)
- Productos asfálticos. Para material triturado sin cohesión (emulsión, muy usada)
- Cloruro de sodio. Para arcillas y limos (impermeabilizan y disminuyen los polvos)
- Cloruro de calcio. Para arcillas y limos (impermeabilizan y disminuyen los polvos)
- Escorias de fundición. Comúnmente en carpetas asfálticas, (dan mayor resistencia, impermeabilizan y prolongan la vida útil).
- Polímeros. Comúnmente en carpetas asfálticas, (dan mayor resistencia, impermeabilizan y prolongan la vida útil).
- Hule de neumáticos. Comúnmente en carpetas asfálticas, (dan mayor resistencia, impermeabilizan y prolongan la vida útil).

Mecánicas.

- Compactación (regularmente se hace en la sub-base, base y en carpetas asfálticas).

2.5.- Tipos de carpetas.

- Realizadas en planta o en caliente con tránsito de hasta 2000 vehículos (AC-20, material pétreo y temperatura de 140 a 160° C.)
- Carpetas de riegos (emulsión y material pétreo.)
- Carpetas asfálticas en frío o en el lugar.
- Revestimientos. Se puede circular todo el año (espesor de 15cm) con material seleccionado (en desiertos arenas con emulsión asfáltica en una cantidad de 6lt/m³ de pétreo; después de compactado se debe efectuar un poreo para tapar oquedades.) (en la costa arena con 100lt/m³ y sin poreo), para un régimen pluvial alto se recomienda estabilizar con cemento la terracería y colocar fragmentos de roca chica.)

Sin embargo las carpetas asfálticas no deben desplazarse ni disgregarse por la acción del tránsito, deben tener suficiente resistencia al intemperismo y soportar pequeñas deformaciones sin agrietarse; de igual forma debe tomarse en cuenta que el espesor compacto de la carpeta sea mayor o igual a 3cms., que no se realicen camellones de mas de 5 kms., de longitud, que no pasen mas de 15 días desde que se inicie el tiro en una estación y hasta que se empiece la incorporación del asfalto, que pasen mas de 4 días desde la mezcla hasta el comienzo del tendido.

No debe aplicarse material asfáltico en tramos mayores de los que puedan ser cubiertos de inmediato con el material pétreo

Materiales	Tipo de Carpeta		
	Tres riegos	Dos riegos	Un riego
Cementos asfálticos Material petreo 1	0.6-1.1 20-25	-----	-----
Cemento asfáltico Material petreo 2	1.0-1.4 8 _ 12	0.6-1.1 8 _ 12	
Cemento asfáltico Material petreo 3A			0.7-10 8 _ 10
Cemento asfáltico Material petreo 3B	0.7-10 6 _ 8	0.8-1.1 6 _ 8	
Cemento asfáltico Material petreo 3C			0.8-1.0 9 _ 11

Tabla 2.12.- Cantidades de materiales empleados en carpeta asfáltica.

2.5.1.- Riego de impregnación.

Consiste en la aplicación de un asfalto rebajado a una superficie terminada, con objeto de impermeabilizarla y estabilizarla para favorecer la adherencia entre ella y la carpeta asfáltica; para lo cual, generalmente se emplean materiales rebajados de fraguado medio.

2.5.2.- Mejoramiento con productos asfálticos.

El asfalto es un material bituminoso, sólido o semisólido con propiedades aglutinantes y que se licua gradualmente al calentarse, se obtiene de la destilación del petróleo. En México este tipo de producto se emplea para la construcción de carpetas desde aproximadamente 1920; anteriormente se le clasificaba de acuerdo a su dureza, siendo el cemento asfáltico más usado el que tenía una dureza media (CA-6).

Con la entrada de México al TLC se tuvieron que adecuar las normas Mexicanas a las de la ACTM y a las especificaciones del SEP (Programa Estratégico de investigación de Carreteras.) de la ASTM (American Standard Test Materials.) de ese tiempo a la fecha, los materiales asfálticos se clasifican de acuerdo a la viscosidad que presentan.

A continuación se anotarán las recomendaciones generales para cada uno de los productos asfálticos con la finalidad de darles un mejor uso.

ASFALTO	REGION RECOMENDADA
AC-5	Sirve para elaborar emulsiones y concretos asfálticos que se utilicen en la zona de la sierra madre occidental, en Durango o Chihuahua, y en algunas regiones altas de los estados de México, Morelos y Puebla.
AC-10	Se recomienda para la región central y el altiplano de la república mexicana.
AC-20	Para el sureste de la república y las regiones costeras del golfo y el pacífico, pasando por Sinaloa e inclusive hasta Baja California.
AC-30	Norte y noreste del país, excluido el estado de Tamaulipas.

Tabla 2.13.- Asfaltos recomendados según la región a aplicarlos.

Esta distribución se basa en condiciones climáticas y no incluye otras variables importantes como el tipo de agregado pétreo, la intensidad del tránsito y otros factores. Por lo que para realizar un concreto asfáltico de calidad deberán tomarse en cuenta las siguientes características:

- a) utilizar materiales pétreos sanos, limpios y bien graduados,
- b) utilizar procedimientos constructivos adecuados y
- c) aplicar las temperaturas recomendadas.

2.5.3.- Aplicación de los productos asfálticos.

Tabla 2.14

Cemento asfáltico o emulsión.	Trabajos recomendados en forma general.
AC-5, AC-10, AC-20, y AC-30 (solos o modificados)	Para realizar concretos asfálticos en las regiones señaladas y sobre todo en carreteras de alta circulación con alta intensidad de tránsito y con un elevado número de carga por eje.
Emulsiones asfálticas catiónicas de fraguado lento o superestable.	Para riego de impregnación de bases hidráulicas.
Emulsiones asfálticas catiónicas de fraguado medio	Para carpetas asfálticas mezcladas en frío, para carreteras con tránsito máximo de 2000 vehículos, también se emplea en trabajos de bacheo, re-nivelación y sobre-carpetas.
Emulsiones de fraguado rápido.	Se utiliza para riegos de liga, carpetas asfálticas de riego y riegos de sello convencionales.

Tabla 2.14.- Cemento asfáltico y emulsión recomendados.

El material asfáltico que se emplea para mejorar un suelo puede ser el cemento asfáltico, asfalto rebajado o bien las emulsiones asfálticas, el primero es el residuo último de la destilación del petróleo.

Para eliminarle los solventes volátiles y los aceites, y para ser mezclado con material pétreo deberá calentarse a temperaturas que varían de 140 a 160° C, el más común que se emplea en la actualidad es el AC-20, este tipo de producto tiene la desventaja de que resulta un poco más costoso y que no puede mezclarse con materiales pétreos húmedos.

Conforme a lo expuesto por Mier S. (1987), en las estabilizaciones, las emulsiones asfálticas son las más usadas ya que este tipo de productos si puede emplearse con materiales pétreos húmedos y no se necesitan altas temperaturas para hacerlo maniobrable, ya que este tipo de producto se encuentra en suspensión con el agua, además se emplea un emulsificante que puede ser el sodio o el cloro,

para darle una cierta carga a las partículas y con ello evitar que se unan dentro de la emulsión; cuando se emplea sodio, se tiene lo que se conoce como *emulsión aniónica* con carga negativa y las que tienen cloro son las *emulsiones catiónicas* que presentan una carga positiva, siendo estas últimas las que presentan una mejor resistencia a la humedad que contienen los pétreos.

Se tienen emulsiones de fraguado lento, medio y rápido, de acuerdo al porcentaje de cemento asfáltico que se emplea.

Una emulsión asfáltica es una dispersión de asfalto en agua en forma de pequeñas partículas de diámetro de entre 3 y 9 micras.

Este tipo de aglutinantes puede usarse casi con cualquier tipo de material aunque por economía se recomienda se emplee en suelos gruesos o en materiales triturados que no presenten un alto índice de plasticidad, puede usarse también con arcillas pero solo le procura impermeabilidad, resultando muy costoso.

Es importante que el material pétreo que se va a mejorar, presente cierta rugosidad para que exista un anclaje adecuado con la película asfáltica, situación que se agrava si el material pétreo no es afín con el producto asfáltico.

Algunos productos asfálticos contienen agua y si esto no se toma en cuenta se pueden presentar problemas muy serios al momento de compactar, la prueba que más comúnmente se emplea en el laboratorio para determinar el porcentaje adecuado de asfalto a utilizar se conoce como "prueba de valor soporte florida modificada" y el procedimiento consiste en elaborar especímenes de materiales pétreos que presentan cierta humedad usando diferentes porcentajes de asfalto,

se compactan con carga estática de 11.340 Kg. (140 Kg/cm²), después de esto se pesan y se meten a curar al horno a una temperatura de 60° C, se sacan y se penetran hasta la falla o bien hasta que tengan una profundidad de 6.35mm registrándose la carga máxima en Kg., se efectúa una gráfica para obtener el porcentaje óptimo de emulsión y se recomienda que el material por mejorar presente un equivalente de arena mayor de 40% y el porcentaje de emulsión varíe en un porcentaje de 1.



Fig. 2.15.- Porcentajes de emulsión

Los riegos asfálticos deben darse por medio de petrolizadoras, y cuando se utiliza cemento asfáltico para elaborar el concreto asfáltico en planta, una vez calentado el cemento a la temperatura fijada, se añade al material pétreo dosificándolo por peso y procediendo a su mezclado, hasta obtener un producto homogéneo y a la temperatura fijada.

Las temperaturas de los materiales asfálticos en el momento de su empleo deben ser las que se indican a continuación:

Material Asfáltico	Tipo	Temperatura de Aplicación
Cementos Asfálticos	---	de 120°C a 160°C
Asfaltos rebajados de fraguado lento	FL-0 FL-1 FL-2 FL-3 FL-4	de 20°C a 30°C de 30°C a 45°C de 75°C a 85°C de 85°C a 95°C de 95°C a 100°C
Asfaltos rebajados de fraguado medio	FM-0 FM-1 FM-2 FM-3 FM-4	de 20°C a 40°C de 30°C a 60°C de 70°C a 85°C de 80°C a 95°C de 90°C a 100°C
Asfaltos rebajados de fraguado rápido	FR-0 FR-1 FR-2 FR-3 FR-4	de 20°C a 40°C de 30°C a 50°C de 40°C a 60°C de 60°C a 80°C de 80°C a 100°C
Emulsiones asfálticas (por lo general no se les debe aplicar calentamiento)	Hacen mas trabajables los asfaltos	de 5°C a 40°C

Tabla 2.16.- Tipos de material asfáltico y temperaturas de aplicación.

2.6.- Compuestos de una carpeta asfáltica.

Una carpeta asfáltica está compuesta de:

- *Material asfáltico.* Puede ser cemento asfáltico (AC-2.5, AC-5, AC-10, AC-20, AC-30 y AC-40. los AC-5 normalmente son emulsiones.
- *Emulsión asfáltica.* Aniónicas (-), catiónicas (+) y de rompimiento rápido, medio y lento.
- *Agregados pétreos.*

2.6.1.- Proceso constructivo de mezcla asfáltica en planta o en caliente.

Se construyen mediante el tendido y compactación de mezclas elaboradas en caliente, en una planta estacionaria, utilizando cementos asfálticos.

El Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras de la SCT (1974), expone que en la planta de concreto asfáltico se deberá tener el material pétreo del diámetro adecuado (menor de una pulgada), que de preferencia deberá estar triturado y

cumplir con las especificaciones que marca la SCT. Este material se eleva a un cilindro de calentamiento y secado hasta llegar a una temperatura de 160 a 175° C, de ahí se pasa a la unidad de mezclado donde se criba para alimentar 3 o 4 tolvas con material de diferente tamaño, se pesa la cantidad de material necesaria de pétreo y se depositan en las cajas mezcladoras donde se le provee de cemento asfáltico AC-20 el cual deberá estar a una temperatura de 130 a 150° C, se recomienda no exceder estos valores para evitar que se pierdan propiedades, se realiza la mezcla hasta su homogenización y ésta se vacía a los vehículos a una temperatura de entre 120 y 130° C, de preferencia esta mezcla se cubre con una lona para evitar se enfríe en el trayecto.

2.6.2.- Procedimiento constructivo de la carpeta.

En el lugar donde se va a colocar la carpeta, la SCT sugiere que unas dos horas antes de que llegue el concreto asfáltico, se efectúa un riego de emulsión asfáltica de rompimiento rápido que se conoce como *riego de liga*, esta capa de asfalto nos ayudará a que exista una adherencia adecuada entre el suelo de la base y la carpeta, este riego se efectúa en una proporción de 0.7lt/m², se barren los charcos de asfalto excesivo y se elimina el total de la basura y materiales extraños, para evitar que este riego sea desprendido por las ruedas de los vehículos, se recomienda efectuar un riego de arena.

La mezcla asfáltica deberá llegar a una temperatura de 115 a 125° C, esto se verifica con un termómetro de varilla. La mezcla se vacía en la máquina finisher o

extendedora que formará una capa de mezcla asfáltica, se recomienda tener una cuadrilla de rastrillos que aseguren una textura conveniente en la superficie y que borren las juntas longitudinalmente entre franjas.

A una temperatura de entre 110 y 120° C se le aplica una compactación con un rodillo ligero de entre 8 y 10 toneladas de peso; los rodillos se moverán paralelamente al eje del camino y de la orilla hacia el centro, y del lado interior hacia el exterior en las curvas.

Después de hacer esto con el rodillo ligero, se compacta con un rodillo más pesado hasta alcanzar el grado de compactación que marca el proyecto (min. 95%).

Durante el tendido y compactación de la mezcla pueden aparecer grietas y desplazamientos motivados por diferentes causas, tales como la aplicación de un riego de liga defectuoso, ya sea en exceso o escaso, falta de viscosidad del asfalto producida por el calentamiento excesivo, o bien, porque el material pétreo no perdió completamente la humedad.

Para la eliminación de estas grietas, puede utilizarse el cemento asfáltico, que es una capa delgada formada por arena, emulsión asfáltica y fina de relleno mineral; la cual puede emplear para rellenar grietas en pavimentos, para sellar superficies porosas e impermeabilizar.

2.6.3.- Carpetas asfálticas por el sistema de riegos.

Como se ha mencionado con anterioridad, y según lo señala Mier S. (1987), las carpetas asfálticas por el sistema de riegos se construyen mediante uno, dos o

tres riegos de materiales asfálticos, cubiertos sucesivamente con capas de materiales pétreos de diferentes tamaños.

a).- *Carpeta de un riego*: incluye las siguientes etapas, se barre la base impregnada; sobre la base superficialmente seca se da un riego de material asfáltico, del tipo y la cantidad necesario, cubriendo enseguida con material pétreo, para después proseguir con el rastreo y planchado del material, para luego de tres días como mínimo, realizar el barrido y retirada del material no adherido.

b).- *Carpeta de dos riegos*: es la misma secuencia que la anterior solo que enseguida del rastreado y planchado del material del primer riego, se repite la operación y se coloca otro riego de material asfáltico sobre el primero.

c).- *Carpeta de tres riegos*: para este tipo de carpetas se aplica compactación a todas las capas de material pétreo desde el primer riego; una vez transcurrido el segundo riego se abre a la circulación por 15 días, y después se procede a colocar el tercer riego compactándolo y retirando a los tres días el material no adherido.

2.6.4.- Carpetas asfálticas de mezcla en el lugar.

Estas carpetas se construyen mediante el mezclado, tendido y compactado de materiales pétreos y un material asfáltico; los materiales asfálticos utilizados son rebajados de fraguado rápido a medio, o emulsiones de rompimiento medio o lento.

Primero se da un riego de liga con petrolizadora, posteriormente cuando se utilice la motoconformadora para efectuar la mezcla de los materiales, el asfalto se

aplica mediante petrolizadora sobre el material pétreo previamente extendido, procediendo después de cada riego a revolverlos hasta obtener un producto homogéneo, el cual es extendido con la motoconformadora y compactado.

2.6.5.- Riego de sello.

Es la aplicación de un material asfáltico, que se cubre con una capa de material pétreo, para impermeabilizar la carpeta, protegerla del desgaste y proporcionar una superficie antiderrapante.

2.6.6.- Morteros asfálticos.

Se elabora con material pétreo, agua y emulsión asfáltica, para ser aplicada sobre una base impregnada o una carpeta asfáltica, con el objeto de impermeabilizarla y protegerla del desgaste; dicha mezcla debe ser tal, que permita la estabilización una vez tendida en un periodo entre una y cinco horas.

2.7.- Compactación.

Mier S. (1987), señala que la compactación puede entenderse como el incremento artificial del peso específico de los suelos provocado por medios mecánicos; y su importancia radica en el aumento de resistencia, compresibilidad y disminución de capacidad de deformación de dichos suelos, que generalmente es aplicada en rellenos artificiales; y cuya finalidad es obtener un suelo de tal manera

estructurado que posea y mantenga un comportamiento mecánico adecuado a través de toda su vida útil.

Los métodos de compactación dependen del tipo de material con el que se trabaje, por ejemplo, los materiales puramente friccionantes, como la arena, se compactan eficientemente por métodos vibratorios, mientras que para suelos plásticos es más recomendable el procedimiento de carga estática; aunque existen gran variedad de maquinaria para compactar como lo son los rodillos lisos, las plataformas vibratorias, neumáticos y “pata de cabra”.

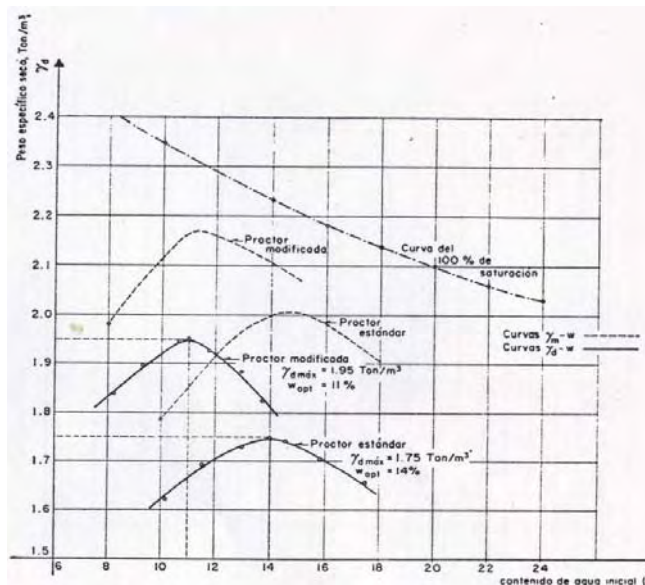


Fig. 2.17.- Curvas de compactación en pruebas Proctor estándar y modificada.

Es recomendable además, realizar las pruebas de laboratorio necesarias, a fin de conocer las características del material a compactar, así mismo, los requerimientos de compactación y la selección adecuada del equipo.

Compactación por amasado: son los que se realizan generalmente con rodillo pata de cabra, el cual, concentra su peso sobre la relativamente pequeña superficie de todo un conjunto de puntas de forma variada, ejerciendo presiones estáticas muy

grandes en los puntos en que penetran el suelo; la acción es tal, que hace progresar la compactación de abajo hacia arriba, ya que inicialmente la mayor presión se ejerce en el lecho inferior de la capa y gradualmente se va compactando hasta no permitir mas compactación en la superficie.

A esta manera de compactar se le denomina acción de amasado y permite obtener una distribución uniforme de la energía de compactación y una buena liga entre capas.

Compactación por presión: esta se logra generalmente con el uso de rodillos lisos (remolcados o autopropulsados) y neumáticos; los cuales realizan un efecto de compactación de arriba hacia abajo.

Compactación por impacto: se logra mediante el uso de pisones (bailarinas) cuyo empleo está reservado para áreas pequeñas, y ciertas clases de rodillos apisonadores (tamper) semejantes a los rodillos pata de cabra, pero con velocidades mucho mayores. Su empleo está limitado a zanjas, desplante de cimentaciones, áreas adyacentes a alcantarillas o estribos de puentes, rellenos, y donde no pueden usarse otros equipos.

Compactación por vibración: en este tipo de compactación se ha visto que la frecuencia de la vibración influye de manera extraordinaria en el proceso de compactación; además de que ofrecen la ventaja de que se puede trabajar con capas de mayores espesores.

2.7.1.- Pruebas de compactación.

Las pruebas de laboratorio para compactación suelen agruparse en uno de los siguientes grupos:

Pruebas dinámicas

Pruebas estáticas

Pruebas por amasado

Pruebas por vibración

Pruebas especiales o en proceso de desarrollo.

En la actualidad existen varias pruebas que pueden reproducir en un laboratorio las condiciones de compactación de un material; uno de los métodos mas conocidos es el llamado Prueba Proctor Estándar; dicha prueba consiste en compactar el suelo en cuestión en tres capas, dentro de un molde de dimensiones y forma específicas, por medio de golpes de un pisón especificado, que se deja caer libremente desde una altura establecida.

Mediante esta prueba, se puede determinar la influencia que tiene el contenido inicial de agua sobre la compactación de un suelo; considerando este de fundamental importancia, ya que se observa que a contenidos de humedad crecientes, se obtienen mayores pesos específicos secos, y en consecuencia mejores compactaciones; pero esta tendencia no se mantiene así indefinidamente, ya que al pasar de ciertos valores, los pesos específicos secos disminuyen, por lo que cabe señalar que existe una humedad inicial llamada “óptima” que es la que produce la mayor compactación.

A consecuencia del rápido crecimiento de los equipos de compactación disponibles, ha sido necesaria la modificación de la prueba Proctor Estándar, aumentando la energía de compactación para dar paso a la Prueba Proctor Modificada.

A diferencia de que para suelos friccionantes suelen utilizarse pruebas de compactación estática, las cuales por sus procedimientos ponen en entredicho su representatividad.

Las pruebas de compactación por amasado y vibrado, son relativamente nuevas, y aunque no son muy conocidas todavía, están adquiriendo un gran uso en los últimos años

2.8.- Programación de obra.

Para la realización de cualquier obra, es responsabilidad del ingeniero, diseñar el proyecto que se aproxime mas a satisfacer las necesidades del dueño y con el menor costo posible; dicho costo estará influenciado por los requisitos del diseño y el ingeniero deberá considerar cuidadosamente los métodos y el equipo que podrá emplearse.

Se debe tomar en cuenta que los requisitos que aumenten el costo de la obra y no den beneficios proporcionales, deben ser eliminados; el costo de un proyecto puede dividirse en varios puntos como son:

Materiales
Equipos
Mano de obra
Costos fijos y supervisión
Ganancia

Se debe tomar en cuenta que los materiales que tengan que ser transportados desde una gran distancia, generarán costos elevados, por lo que se recomienda dentro de lo posible, utilizar materiales disponibles cerca del sitio de la obra.

Algunas sugerencias que se pueden tomar en cuenta a fin de reducir costos en la construcción son:

- 1.- Diseñar estructuras con el mayor número de miembros iguales para permitir la reutilización de moldes.
- 2.- Simplificar los diseños de la estructura en donde sea posible.
- 3.- Diseñar para el empleo de equipo y métodos económicos.
- 4.- Eliminar requisitos de construcción innecesarios.
- 5.- Diseñar para reducir la mano de obra al mínimo.
- 6.- Especificar calidades de mano de obra de acuerdo a la calidad del proyecto.
- 7.- Proporcionar datos fundamentales adecuados en donde sea posible.
- 8.- Evitar que el contratista recabe datos que deben ser proporcionados por el ingeniero o por el proyecto.
- 9.- Usar materiales locales cuando sean satisfactorios.
- 10.- Escribir especificaciones sencillas y claras.
- 11.- En donde sea posible, utilizar especificaciones estandarizadas.
- 12.- Llevar a cabo reuniones con los contratistas antes de la convocatoria para eliminar dudas.

13.- Emplear inspectores que tengan suficiente criterio y experiencia para comprender el proyecto y tomar decisiones.

Para el contratista se sugieren los siguientes métodos para la reducción de costos en la construcción:

- Estudios del proyecto y del sitio tales como:
 - Topografía
 - Geología
 - Clima
 - Fuentes de abastecimiento de materiales
 - Acceso a la obra
 - Habitaciones si se requieren
 - Almacenamiento para materiales y equipo
 - Mano de obra disponible
 - Servicios locales
- El empleo de equipos de construcción con mayores eficiencias y menores costos.
- El pago de bonificaciones al personal clave por una producción excesiva.
- El empleo de celulares, radios y demás medios de comunicación entre oficinas y personal clave
- Realizar juntas periódicas con el personal clave para discutir planos, procedimientos y resultados.
- Adoptar prácticas de seguridad para reducir accidentes.
- Considerar la factibilidad de subcontratar operaciones especializadas con otros contratistas con el objetivo de realizar algunos trabajos más baratos.

El planteamiento que se hace para comenzar una obra deberá facilitar la construcción estableciendo:

- a).- *El tiempo de entrega de materiales*
- b).- *Los tipos, cantidades y tiempos de empleo de los equipos.*
- c).- *La clasificación y número de obreros necesarios y el tiempo durante el cual se ocuparán.*
- d).- *La cantidad de financiamiento necesario si se necesita*
- e).- *El tiempo necesario para completar la obra.*

2.8.1.- Etapas de una construcción.

Para la realización de obras de mayor magnitud, puede ser esencial dividir el proyecto en varias etapas de construcción; las cuales pueden ser construidas bajo un contrato diferente, y para lo cual es indispensable conocer por adelantado las cantidades de trabajo y la duración de construcción de cada etapa con el objetivo de que puedan construirse conforme a una secuencia adecuada.

Operaciones de construcción. Es común que muchos proyectos sean divididos en operaciones de construcción para facilitar el planteamiento de la obra; como por ejemplo al planear la construcción de una carretera se podrá dividir en las siguientes operaciones:

- 1.- Transporte al sitio de obra y armado de la planta.
- 2.- Limpieza y desenraice del derecho de vía
- 3.- Trabajos de tierra, cortes y terraplenes
- 4.- Estructuras de drenaje y alcantarillado
- 5.- Pavimentación
- 6.- Limpieza y desmantelado de la planta.

Para poder estimar cualquier adelanto, el planificador deberá determinar la cantidad de trabajo que requiera cada operación, estimar la rapidez con que se llevará a cabo el trabajo, deduciendo los tiempos perdidos por lluvias y otros motivos.

Para lo anterior, las fechas estimadas de comienzo y terminación, pueden mostrarse en una gráfica de barras.

2.8.2.- Programas de construcción.

Un programa de construcción de una obra, generalmente esta en forma de una gráfica de barras; la cual muestra las operaciones, la cantidad, la unidad y la rapidez de construcción de cada operación, así como las fechas estimadas de inicio y terminación; algunas obras que requieren de menos de un año para su construcción se pueden expresar en semanas; y cuando exceden del año, pueden expresarse en meses.

Para la preparación de un programa de obra, es indispensable dividir el proyecto en sus respectivas operaciones, determinarse la cantidad de trabajo a realizar y su rapidez, seleccionar el número de trabajadores y las unidades de equipo que resulten más convenientes.

2.8.3.- Selección de la maquinaria de construcción.

Uno de los problemas mas frecuentes con que se encuentra el ingeniero, es la selección de la maquinaria mas adecuada para los trabajos que tiene que realizar en

una obra determinada; por lo que debe considerar el dinero gastado en la maquinaria, como una inversión de pueda recuperar con una utilidad, durante la vida útil de la maquina.

En el caso de que la maquinaria sea propia, y que no se tiene que pagar por renta de maquinaria en una obra, la máquina debe pagarse a si misma produciendo más dinero del que cuesta.

Adicionalmente, se requiere realizar un programa de empleo de equipo, en el que se detallen las cantidades de trabajo a realizar, así como el tiempo en el cual se llevarán a cabo; para lo cual, al momento de cuantificar los costos por maquinaria, se debe tomar en cuenta lo siguiente:

Costos de ser propietario y de operar equipos de construcción: para estos casos la estimación es una buena aproximación del costo, y se puede también usar como guía datos de los registros de equipos previamente usados. Aunque hay que tener cuidado ya que no se tiene seguridad de que los equipos semejantes tengan costos semejantes, puesto que las condiciones de operación pueden variar dependiendo de algunos factores.

Costos de operación: puesto que la maquinaria de construcción es impulsada por motores de combustión interna, requiere de combustibles y aceites lubricantes que deben ser considerados en los costos de operación.

Costos de mantenimiento y reparación: el costo anual de esta característica, puede expresarse como un porcentaje del costo de depreciación anual o de forma independiente; pero en cualquier caso debe ser lo suficientemente

grande para cubrir el costo del mantenimiento del equipo para mantenerlo operando.

Costos de refacciones: además de considerar un costo de mantenimiento, será necesario también considerar la posibilidad de la compra de refacciones, por lo que es necesario además, determinar el lugar donde se pueden conseguir las refacciones a fin de evitar retrasos en los trabajos a realizar por la maquinaria.

Costos de inversión: el ser propietario de maquinaria cuesta tiene también un costo e independientemente de las horas que se use; por lo que con frecuencia estos costos se clasifican como costos de inversión e incluyen el interés del dinero invertido, los impuestos que se le fijan al mismo, los seguros y el almacenamiento.

Depreciación: cuando se pone en operación una maquinaria comienza a desgastarse, independientemente de los cuidados y reparaciones; por lo que al final de cuentas el equipo se desgastará y será anticuado y se tendrá la necesidad de reemplazarlo. Por lo que el método mas común para determinar el costo por depreciación, es el de suponer una vida útil de la máquina, expresada en años, horas, o unidades de producción. Por lo que si el costo total de la maquinaria se divide entre su vida útil estimada, se obtendrá la depreciación anual, horaria o por unidad de producción.

De esta forma, se puede apreciar la gran cantidad de consideraciones que deben tomarse en cuenta para la realización de una obra carretera; por lo que para el caso de esta tesis, en el siguiente capítulo se abordará directamente el marco de referencia del tramo que se estudia.

CAPÍTULO 3

MARCO DE REFERENCIA

En este capítulo, se presentan algunas de las características del lugar donde se realizará el proyecto motivo del presente trabajo de investigación de tesis; con el objeto, de conocer las condiciones que tiene el sitio del proyecto, así como su entorno físico, y también se mostrarán algunos aspectos económicos, sociales y culturales de la región que permitirán comprender de mejor manera la importancia del mismo.

También, se presenta una reseña de las características físicas actuales del camino, de su ubicación geográfica y características topográficas, además de algunas características del tránsito y demás información que pudiera resultar de utilidad para la realización de la obra.

3.1.- Generalidades.

Para el presente trabajo de investigación de tesis, se consideró el estudio de un tramo carretero que actualmente se encuentra construido al nivel de terracerías, el cual sirve como enlace para algunas comunidades del sur del Municipio de Tancítaro; siendo de gran importancia la realización de la obra, ya que permitiría una mejor dinámica económica en las comunidades que lo circundan, permitiendo una eficiente distribución de productos agrícolas, y mejoras en vías de comunicación y salud para los habitantes.

El nombre del proyecto se ha definido como: “Proceso constructivo del Pavimento de la carretera que conduce de los Fresnos a Urínguitiro, en el Municipio de Tancítaro Mich”; el cual tiene una Longitud de proyecto de 2.4 kms.

El presente proyecto, beneficia aproximadamente a 15,000 habitantes de la región sureste y suroeste del Municipio, incluyendo de forma directa a los habitantes de las localidades de los Fresnos y Urínguitiro.

Actualmente se realiza un tiempo de recorrido de 30 minutos entre las localidades mencionadas; por lo que se considera que una vez construida la estructura del pavimento del camino y al proporcionar una superficie de rodamiento en buenas condiciones, se logrará realizar el mismo recorrido en un tiempo máximo de 10 minutos.

3.2.- Resumen ejecutivo.

No se debe perder de vista que el actual camino esta construido hasta el nivel de terracerias, y que es transitable durante todo el año, siendo la principal vía de comunicación de la localidad de Urínguitiro hacia el norte del Municipio con varias comunidades y con la Cabecera; el cual presenta un ancho aceptable para la construcción de la estructura del pavimento y tiene el derecho de vía suficiente; por tal motivo la obra está exenta de cualquier trabajo de ampliación o daño a propiedad privada.

Para la realización del presente proyecto, se han realizado estudios preliminares, principalmente se conoce la ubicación de dos bancos de material de la

región, que permitirían la dotación de materiales para la construcción del pavimento; de igual forma se ha realizado el levantamiento topográfico del lugar y se conoce detalladamente cada una de sus curvas y pendientes actuales, las cuales se pueden considerar como adecuadas para la circulación de cualquier tipo de vehículos.

Del mismo estudio topográfico que se ha realizado, se tiene el alineamiento horizontal, el alineamiento vertical, por lo que se ha podido obtener las secciones con lo que se puede proceder al cálculo de volúmenes de movimiento de tierras.

Adicionalmente se han realizado estudios de tránsito consistentes en aforos para conocer la cantidad y tipo de vehículos que circulan por el lugar, esto para el posterior diseño de la estructura del pavimento.

Aunque hasta el momento el camino es una terracería transitable durante todo el año, y que eventualmente se le da mantenimiento para su conservación, con sus consecuentes gastos elevados para tal fin; se tiene el inconveniente de que en época de lluvias, la superficie de rodamiento se descompone y presenta una difícil transitabilidad, traducida en el deterioro de los vehículos, pérdida de tiempo, y el deterioro de los productos que se transportan; en consecuencia se considera que la mejor opción para corregir tales situaciones, es la de elaborar la pavimentación del camino; ya que con esto se lograrán mayores beneficios como son los mencionados con anterioridad para toda la comunidad.

Se partirá entonces del hecho de que la mejor alternativa de solución es la construcción del pavimento del camino, y que por razones de economía será un pavimento del tipo flexible, ya que un pavimento rígido elaborado con concreto

hidráulico resultaría mas costoso inicialmente, debido al alto costo del cemento y los agregados pétreos; por lo cual el motivo de elaboración de la presente investigación, es la de proponer el proceso constructivo de la estructura del pavimento flexible; cuya velocidad máxima de proyecto está definida en los 40 km/h, con una ancho de corona de 7 mts, para un camino tipo D.

La estructura del pavimento del camino se compone de:

- Sub-base formada con material seleccionado y con un espesor de 15 cms compactados al 100%
- Base hidráulica formada con material seleccionado y un espesor de 15 cms compactado al 100%.
- Riego de impregnación a base de colocación de emulsión asfáltica, la arena para el poreo y posterior barrido.
- Riego de liga
- Colocación de carpeta asfáltica con mezcla en caliente de 5 cms de espesor, compactado al 95% y un ancho de 7 mts.
- Riego de sello utilizando el material pétreo 3-A

3.3.- Entorno geográfico.

Conforme a información obtenida en Internet, www.michoacan.gob.mx; el municipio de Tancítaro se localiza al Oeste del Estado de Michoacán, en las

coordenadas 19°20' de latitud Norte y 102°22' de longitud Oeste, a una altura promedio de 2,080 msnm. Limita al Norte con los Municipios de Peribán y Nuevo Parangaricutiro, al Este con Nuevo Parangaricutiro y Parácuaro, al Sur con Parácuaro, Apatzingán y Buenavista, y al Oeste con Peribán y Buenavista. Su distancia aproximada a la capital del Estado es de 170 km.

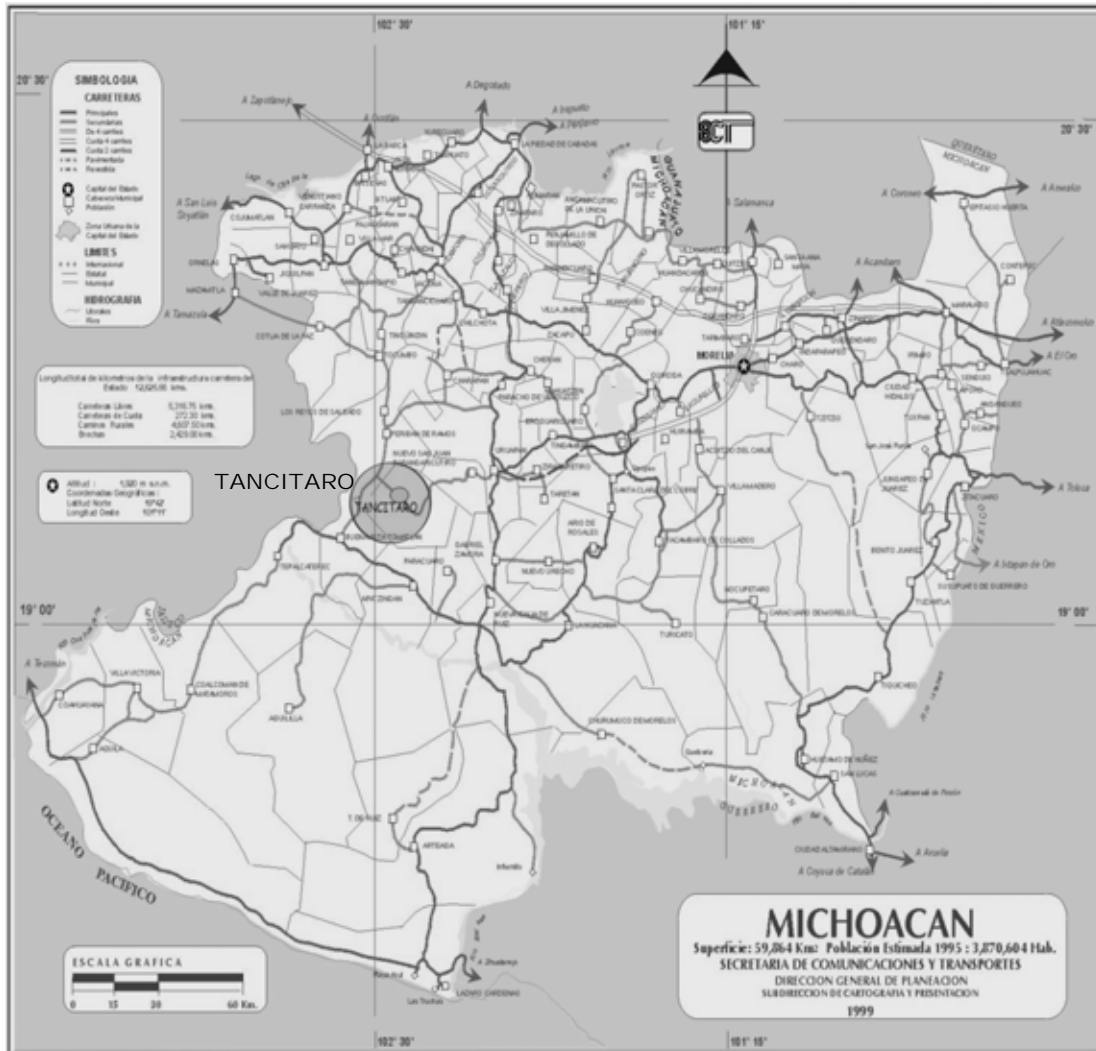


Fig. 3.1.- Ubicación del Municipio de Tancitaro en el Estado

Extensión: El municipio cuenta con una extensión superficial de 717.65 Km² y representa 1.21 % del total de la superficie del Estado de Michoacán.

Orografía: Su relieve lo constituyen el sistema Volcánico Transversal, las sierras de Tancítaro, Paracho y Nahuatzen y los cerros Don Celso, El Astillero, Guayimba y Pico de Tancítaro; siendo el tramo del camino de forma descendente de los Fresnos a Urínguitiro.

Hidrografía: Su hidrografía la constituyen arroyos y manantiales de agua fría, Zirimóndiro, Condébaro, Zirimbo, Santa Catarina, Chóritiro y El Cuate, no presentándose arroyos o manantiales a lo largo del tramo en mención.

Clima: Su clima es templado con lluvias en verano. Tiene una precipitación pluvial anual de 900 mm y temperaturas que oscilan entre 7° y 38° centígrados.

Principales Ecosistemas: domina el bosque de coníferas, con pino, oyamel y junípero y el bosque mixto, con pino y encino. Su fauna la conforman el venado, coyote, armadillo, conejo, tejón, zorrillo, tlacuache, zorra, gallina de cerro, pichón, águila negra, calandria, jilguero y gorrión.

Recursos naturales: La superficie forestal del municipio en el aspecto de maderables es ocupada por pino y encino principalmente, y en el caso de los no-maderables por matorrales, chaparral espinoso y selva baja que se localiza principalmente en la zona sur del mismo.

Características del suelo: Los suelos del municipio datan de los períodos cenozoico, terciario y mioceno, corresponden principalmente a los del tipo podzólico; es decir que poseen poca materia orgánica, su color es café oscuro o café rojizo y a menudo cementado y endurecido.

3.3.1.- Microlocalización.

En la siguiente ilustración se presente la localización del camino donde se pretende realizar la pavimentación, señalando algunas de las principales comunidades existentes en el municipio; enfatizando precisamente en la ubicación del tramo carretero motivo de este trabajo de investigación de tesis:

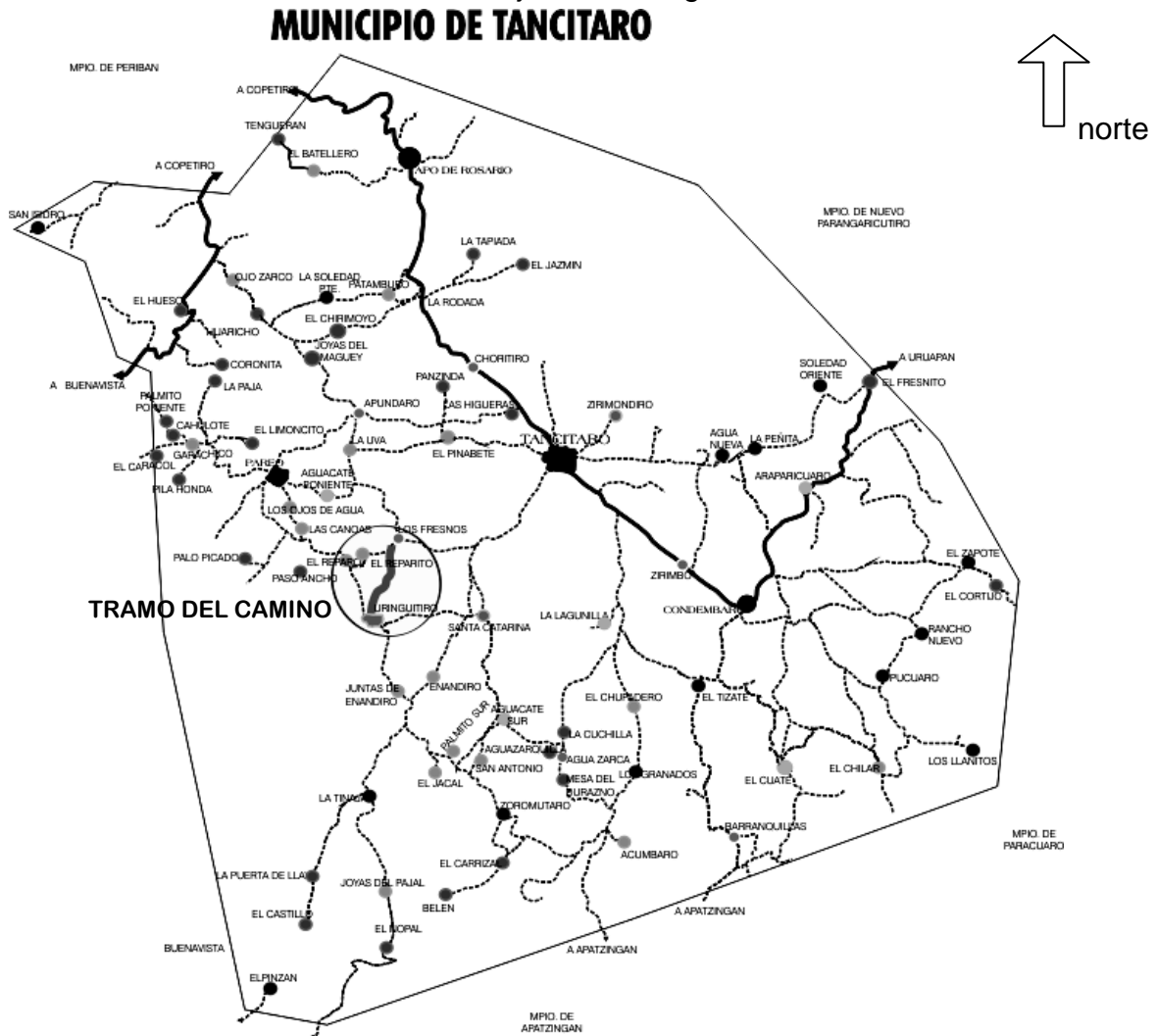


Fig. 3.2.- Localización del tramo del camino.

3.3.2.- Topografía regional y de la zona.

Aunque en su mayoría el Municipio de Tancitaro cuenta con una topografía muy accidentada, para el caso que nos requiere el presente estudio, se puede

observar que la topografía que presenta, no tiene accidentes topográficos importantes que puedan representar dificultad para la realización del proyecto; puesto que no existen a lo largo del trazo ningún tipo de obstáculos por salvar como pudieran ser barrancas o depresiones importantes que incluso requirieran la construcción de puentes; únicamente se realizarán obras de drenaje, que aunque pudieran generar complicación, ya que se presente una pendiente constante desde la localidad de los Fresnos hasta Urínguitiro, no se pueden considerar como complicadas, pues por fortuna se cuenta con algunas zonas naturales sobre las cuales se puede encauzar el agua de lluvia para retirarla de la carretera.

3.3.3.- Geología regional y de la zona.

Geológicamente los suelos que se tienen en este Municipio datan de los períodos Cenozoico, Terciario y Mioceno, corresponden principalmente a los del tipo podzólico; con existencia de rocas ígneas extrusivas.

Superficialmente el terreno sobre el cual se desarrolla el presente proyecto, presenta condiciones uniformes a lo largo del tramo, correspondiendo el material del terreno natural a limos y arcillas inorgánicas; aunque actualmente por existir un camino de terracerías y puesto que requiere ser transitado durante todo el año, se han colocado recubrimientos del terreno con gravas volcánicas, lo cual le permite contar una superficie de rodamiento en condiciones de transitabilidad.

3.3.4.- Hidrología regional y de la zona

Hidrológicamente la región de Tancítaro presenta una precipitación pluvial muy abundante en temporada de lluvias, manteniendo un rango de 1200 a 1500 mm

de precipitación promedio anual, por lo que se considera como de lluvias abundantes; mostrando una ligera disminución en la zona Sur del municipio en donde por su ubicación geográfica, la precipitación se ve mermada.

La zona en la que se trabajará en el presente proyecto, se encuentra ubicada hacia el sur del municipio, por lo que se considera una precipitación promedio anual de entre 1000 mm.

3.3.5.- Uso de suelo regional y de la zona

Actualmente su uso esta definido primordialmente como forestal, aunque a últimas fechas debido al gran auge que ha presentado el cultivo de aguacate en la región, ha habido un creciente uso agrícola del suelo, y en una menor proporción el uso ganadero; pudiendo ser identificado el municipio como uso agrícola para el cultivo del aguacate principalmente.

Cabe mencionar que para la zona del proyecto, el uso principal del suelo es agrícola y forestal; ya que actualmente y como se ha mencionado con anterioridad, se cultiva el aguacate como principal producto, habiendo también aunque en escala mucho menor, cultivos de chirimoya, durazno, y algunas verduras; se pueden apreciar además algunos cultivos de maíz y frijol de los llamados de temporal, así como una gran variedad de frutos en huertos familiares de la región.

3.4.- Informe fotográfico.

En seguida se presenta de forma gráfica, las principales características que presenta el camino actualmente; para lo cual se realizó una visita al lugar de la obra para tomar algunos datos y las fotografías que se presentan a continuación:

3.4.1.- Informe del tipo de terreno y cobertura vegetal.

Como se puede apreciar en las siguientes fotografías, la terracería del camino se encuentra en estado regular, siendo transitable en este momento, y presentando características de suelo con existencia de material pétreo compactado por el tránsito de los vehículos que por ahí circulan.



Fotos 3.3.- Se aprecia el tipo de terreno existente y la vegetación.

Como se puede apreciar, en algunos pequeños tramos del camino, se ha colocado concreto hidráulico para mejorar la superficie de rodamiento; aunque solo en las rodadas de los vehículos, lo cual permite que en época de lluvias, el camino pueda ser transitable, sobre todo en las áreas donde por las características del suelo (pendiente excesiva) lo anterior se dificulta.



Foto 3.4.-La imagen muestra la existencia de un tramo que tiene concreto

La vegetación actual que presenta el lugar en el derecho de vía corresponde a chaparral espinoso y selva baja, contando también con algunos pinos, encinos, huisaches, que no repercutirían en la construcción del pavimento.



Fotos 3.5.- Se puede apreciar el tipo de vegetación existente en e lugar.

El camino en dos pequeñas zonas, cuenta con empedrado que ha sido colocado a fin de mejorar las condiciones del mismo y propiciar su conservación.



Fotos 3.6.- Se observa claramente la pendiente que presente al camino y la existencia de tramos empedrados.

En su totalidad, el camino se encuentra enmarcado por huertas para el cultivo de aguacate, siendo esta, la principal actividad económica de la zona, así como el cultivo de algunos otros frutos como durazno, chirimoya y verduras en menor escala.



Foto 3.7.- Se aprecia la existencia de huertas de aguacate a los costados del camino



Fotos 3.8.- Se muestra el estado de la terracería, el tipo de suelo y vegetación existente.

3.4.2.- Problemas de drenaje superficial.

Aunque la terracería actual se puede considerar como de pendiente constante hacia la localidad de Urínguitiro, en su mayoría, la obra presenta las condiciones necesarias para el correcto desalojo del agua pluvial; en este momento se cuenta con un sistema de cunetas en terreno natural que permiten el desalojo del agua; cuenta también con algunos pasos de agua y zonas de descarga menores que podrán ser utilizadas con eficiencia para tal fin.



Fotos 3.9.- El camino actualmente cuenta con cunetas sobre terreno natural que permiten el desalojo del agua.

3.4.3.- Estado físico actual.

Como se puede apreciar en las fotografías, el camino de terracería presenta una condición de conservación de carácter regular; ya que se ha visto afectado por las últimas lluvias que han sido muy intensas en la zona.

Puesto que es un camino que permite la movilización del aguacate en la región, se considera apto para transitar todos los meses del año.



Fotos 3.10.- Se observan las condiciones que presenta el camino.

3.4.4.- Vehículos que circulan por la vía.

En su mayoría los vehículos que circulan por el lugar son vehículos ligeros como coches, camionetas pick up, camionetas de carga; sin embargo también existe un tránsito pesado ya que circulan camiones de 3 a 7 tons que transportan aguacate principalmente y vehículos de transporte urbano.

Se pudieron observar incluso motocicletas, que a últimas fechas ha resultado ser un medio de transporte muy eficiente para este tipo de localidades.



Foto 3.11.- Vehículos que circulan por el lugar.



Fotos 3.12.- Predomina el tránsito de camionetas tipo pick up.



Fotos 3.13.- Vehículos pesados que circulan por ese camino



Fotos 3.14.- Transporte urbano y transporte de carga que transita por el lugar

3.5.- Estudio de tránsito.

Conforme al proyecto, se considera la construcción de este tramo carretero, como un camino tipo "D", con velocidad de proyecto de 40 kms/h. y un tránsito vehicular de menos de 100 vehículos por hora.

Conforme al aforo vehicular realizado en el lugar, se pudieron obtener los siguientes datos:

Promedio Diario de Vehículos

	Tipo de vehículo	No. de ejes	No. de Vehículos	Clasificación
Ligeros	Automoviles	2	22	Tipo A
	Camionetas	2	49	
Pesados	Camiones	2 y 3	12	Tipo B
	Autobuses	2	5	Tipo C
Total:			88	

Dada esta información y lo recopilado como apoyo teórico, en el siguiente capítulo se realizará una descripción de las características con que cuenta este trabajo, definiendo la metodología y el tipo de enfoque con que cuenta la investigación; para posteriormente hacer un análisis de los costos para la construcción de la estructura del pavimento del camino.

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA

En este capítulo se presenta una reseña que explica acerca de la metodología que se sigue en el presente trabajo de investigación de tesis; con la finalidad de que el lector tenga una noción de la forma en que se ha elaborado la misma, y conozca, la forma en que se ha realizado el proceso de investigación.

4.1.- Método empleado.

Es bien sabido que el conocimiento se da en tres etapas: percepción, abstracción y comprobación de un hecho; en el presente trabajo se ha señalado que uno de los propósitos es el de generar nuevo conocimiento, por lo que se parte del método científico para la consecución de nuestro objetivo; sin dejar de mencionar que el método científico se da de dos formas: inductiva, partiendo de un caso particular hasta llegar a leyes generales, y de forma deductiva, donde se va de casos generales para llegar a casos muy particulares como es el caso de este trabajo.

Dentro de los procesos de investigación existentes, hay una gran variedad de métodos para la obtención de respuestas o resultados en cualquier investigación; y un método es un medio para alcanzar un objetivo, y según como expresa Mendieta (2005), las primeras nociones de un concepto que capta el ser humano, es la noción de cantidad, ya que comúnmente se comparan cantidades para obtener ideas derivadas de importancia o de valor económico y de capacidad.

De tal forma que el **método matemático**, según Mendieta (2005), es en el que se trabaja con números y fórmulas; es decir, es el método que involucra números de relaciones constantes, variedad de hipótesis, diversidad de comprobaciones que se toman en cuenta para afirmar o negar algo, en consecuencia este trabajo aplica el método cuantitativo.

Cabe señalar también que se aplica el **Método Analítico**; que según Jurado (2005), consiste en la observación y el examen de los hechos, haciendo mención de que este método distingue los elementos de un fenómeno y permite revisar ordenadamente cada uno de ellos por separado como lo hacen algunas ciencias.

Se señala que para llevar a cabo una investigación analítica, se debe cumplir varias fases de manera continua:

- Observación
- Descripción
- Descomposición del fenómeno
- Enumeración de sus partes
- Ordenación
- Clasificación

4.2.- Enfoque de la investigación.

Conforme a lo señalado por Hernández (2004), en su libro Metodología de la Investigación, existen dos tipos de enfoques, el enfoque cuantitativo, que nos ofrece la posibilidad de generalizar los resultados ampliamente, nos otorga control sobre los fenómenos y un punto de vista de conteo y magnitudes de los mismos; y el

enfoque cualitativo, que da profundidad a los datos, la contextualización del ambiente o entorno, los detalles y las experiencias únicas.

Para las ciencias exactas, han sido mas usados los enfoques cuantitativos, ya que presentan una mayor flexibilidad para la comprobación de resultados; por lo que serán también utilizados dentro del presente proceso de investigación.

4.2.1.- Alcance.

Una vez que se ha decidido que la presente investigación vale la pena y se realizará, se debe proseguir por definir el alcance de estudio a efectuar; por tal motivo de acuerdo a lo expresado por Hernández (2004), se conocen tres tipos de investigación que son: exploratorios, descriptivos, correlacionales y explicativos; señalando que de este tipo de estudios depende la estrategia de investigación, el diseño, los datos que se recolectan, la manera de obtenerlos, el muestreo y todos los componentes del proceso de investigación.

Toda vez que en el presente trabajo el propósito del investigador es describir situaciones, eventos y hechos; es decir, describir la manera como se presenta el fenómeno, se le puede considerar a la investigación como de un **Alcance Descriptivo**, ya que se buscan especificar las propiedades, las características de las vías terrestres que influyen en la determinación del proceso constructivo.

Considerando además que desde el punto de vista científico, describir es recolectar datos, se considera que esta tesis debe ser incluida como tal.

4.3.- Diseño de la investigación.

Los tipos de diseño que presentar una investigación son experimental: es decir, donde se realizan experimentos para la obtención de respuestas; y no experimental: no se realizan experimentos o se parte de experimentos realizados.

Por lo que en este trabajo de investigación se parte de un **Diseño No Experimental de carácter Transversal**, con lo que se dice que la recolección de datos se da en un solo momento, en un tiempo único, ya que el propósito es describir las variables y analizar su incidencia en un momento determinado; así pues se considera que este proyecto es aplicable bajo las circunstancias actuales a este mismo momento, pudiendo presentar condiciones distintas anteriores o futuras.

4.4.- Instrumentos de recopilación de datos.

Como es sabido, la recopilación de datos para cualquier investigación puede darse de distintas maneras; entre las más conocidas técnicas de investigación, y aunque no son instrumentos, existe la investigación documental y la de campo.

En el presente caso, la recolección de datos implica seleccionar el método e instrumentos disponibles o desarrollados (cuantitativos y/o cualitativos), para la consecución del objetivo; posteriormente tendremos que aplicar los instrumentos necesarios y adecuar las mediciones obtenidas y datos levantados para realizar un análisis correcto y obtener una solución.

Como se ha dicho con anterioridad, puesto que se utiliza un enfoque cuantitativo, la recolección de los datos corresponde a medir, y para nuestro caso, es necesario medir las variables que intervienen en el proceso constructivo de nuestro pavimento; por lo que podemos deducir que aplicamos una **Observación Cuantitativa** como instrumento de recopilación y análisis de datos.

Otro de los instrumentos aplicables es la utilización de **Programas Computacionales** como el Autocad que es un programa de dibujo técnico que nos permite plasmar mediante trazos, las características actuales y de proyecto que contiene o debe contener el presente trabajo, tales como información topográfica, trazo del proyecto, y cada una de sus características contenidas en el mismo.

4.5.- Descripción del proceso de investigación.

Para el presente estudio de investigación, se da un desarrollo partiendo inicialmente de la ubicación de un tramo de carretera, para posteriormente verificar si para ese caso se contaba o no con alguna propuesta del proceso constructivo de la estructura del pavimento de la misma; que para el caso específico se trata de la carretera que conduce de los Fresnos a Urínguitiro en el Municipio de Tancítaro.

Posteriormente, se precisó recurrir a la investigación documental para recopilar la información teórica que soportara la revisión de dicho proyecto; de tal manera que fue necesario establecer el encuadre metodológico para definir el alcance e instrumentos de recopilación de datos.

Enseguida se realizó la captura de datos, teniendo como herramienta fundamental el programa computacional Autocad, y se contrastó dicha información con la teoría recabada, haciendo un análisis minucioso del proyecto hasta establecer las condiciones que dieran cumplimiento al objetivo y pregunta de investigación de tesis, sin descuidar la normatividad establecida para tales proyectos.

De tal forma que el presente trabajo de investigación utiliza el método científico en forma deductiva; a través del método matemático analítico, teniendo un enfoque cuantitativo de alcance descriptivo; con un diseño no experimental de carácter transversal y teniendo como instrumentos de recopilación y análisis de datos, la investigación documental, investigación de campo, la observación cuantitativa y el manejo de programas computacionales como el Autocad y el Opus Ole (programa de cálculo de presupuestos y programación de obra).

En el siguiente capítulo se podrá analizar directamente la información obtenida en campo, y se realizarán los cálculos necesarios para la obtención de resultados que permitan realizar una propuesta adecuada al tema motivo de este trabajo.

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS DE RESULTADOS

El presente capítulo, hace una descripción sobre el proceso constructivo a seguir para la construcción de la estructura del pavimento; de igual forma, muestra una comparativa de un presupuesto existente sobre el proyecto, en relación con una propuesta de las mismas características; y que tiene como función principal, mostrar las diferencias que existen entre las dos propuestas para realizar una crítica sobre los costos de la mismas.

5.1.- Proceso constructivo.

A continuación se realiza una descripción de la forma en que se deberá llevar a cabo la construcción de la estructura del pavimento, señalando cada uno de los trabajos a realizar en los diferentes conceptos que integran la obra, y que han sido motivo de este trabajo de investigación:

5.1.1.- Sub-base.

Para comenzar con la construcción de la sub-base, debe tenerse en consideración que es necesario que la superficie sobre la que se colocará, estará debidamente terminada dentro de las líneas y niveles previamente establecidos; es decir, se parte del hecho de que los trabajos de terracerías y obras de drenaje se encuentran terminados y conforme a lo establecido en las normas; la superficie no

deberá presentar irregularidades como baches, procurando que los acarreos de material, al transitar sobre la superficie donde se construirá la sub-base o la base, se distribuyan uniformemente en todo lo ancho a fin de evitar concentraciones y deterioros de dicha superficie.

Las descargas del material para la sub-base, se realizará por estaciones menores de 20 mts, y en tramos que no sean mayores a los que se puedan extender; posteriormente se prepara el material extendiéndolo parcialmente e incorporándole el agua necesaria para su compactación, por medio de riegos y mezclados sucesivos, hasta alcanzar la humedad adecuada y obtener homogeneidad en granulometría y humedad.

Posteriormente, se extiende el material en todo lo ancho de la corona, y se conforma de tal manera que se obtenga una capa uniforme de material sin compactar, para su inmediata compactación y para cada una de las capas sucesivas, de espesores no mayores a los que puedan ser compactados conforme a lo indicado en el proyecto, llegando a una capa de 20 cms de espesor para la sub-base y de 15 cms para la base, conforme a lo estipulado en el proyecto y dando cumplimiento a los lineamientos establecidos en la normatividad aplicable a la construcción de sub-bases y bases.

La compactación se deberá realizar longitudinalmente, de las orillas hacia el centro en las tangentes y del interior al exterior en las curvas, con un traslape de por lo menos la mitad del ancho del compactador en cada pasada, teniendo especial cuidado en la humedad, realizando riegos agua para compensar la que pudiera ser

evaporada; dando cabal cumplimiento a lo estipulado en la norma NCTRCAR104002/00.

5.1.2.- Base.

Considerando que la base es la capa de materiales pétreos que se construyen sobre la sub-base, cuyas funciones son proporcionar un apoyo uniforme a la carpeta asfáltica, soportar las cargas que estas le transmiten aminorando los esfuerzos inducidos y distribuyéndolos a la capa inmediata inferior, proporcionar a la estructura de pavimento la rigidez para evitar deformaciones, drenar el agua que se pueda infiltrar e impedir el ascenso capilar del agua subterránea.

Primeramente se verificará que ya se encuentre la capa de sub-base debidamente compactada y nivelada dentro de las tolerancias, se construirá una capa de base con un espesor de 15cms, con agregados de tamaño máximo de treinta y ocho (38) mm (1 ½”), se utilizará material seleccionado de banco GW gravas bien graduadas y SM arenas limosas, teniendo como resultado un material para base de buena calidad para ser usado en este tramo carretero, el material será cargado con un cargador frontal y se transportará del banco hacia el tramo en camiones volteo de 6 o 14m³, descargándose el material sobre la sub-base en volúmenes necesarios para cumplir con el proyecto; lo anterior en estaciones menores de 20m en tramos donde en un turno se pueda tender, conformar y compactar.

Este material se acamellonará en las orillas, en las curvas en la parte exterior, y posteriormente se tenderá con una motoconformadora; se le incorporará agua

suficiente por medio de riegos hasta alcanzar su humedad óptima necesaria para su compactación, siendo que el material acamellonado se abre parcialmente y se humedece con una cantidad de agua cercana a la óptima, el agua se distribuye en varias pasadas, se hace un primer riego y la motoconfomadora abre una nueva cantidad de material, el cual coloca sobre el húmedo para que vuelva a pasar la pipa; realizando esta operación en tres etapas, una vez obtenida la humedad necesaria, se distribuye el material en toda la corona para formar la capa de base con el espesor suelto de proyecto, teniendo cuidado que no se separe el material fino del grueso, se cuidara su uniformidad en granulometría y contenido de agua, se le dará la compactación al 100% con respecto al P.V.S.M., al igual que en la sub-base, en las tangentes de las orillas hacia el centro, y en las curvas de la parte interior de la curva hacia la parte exterior con un traslape de la mitad del ancho del compactador en cada pasada.

Una vez terminada la construcción de la base hidráulica, se verifican el alineamiento, perfil, sección, compactación, espesor y acabado, cumpliendo con las tolerancias fijadas en el proyecto y en las normas aplicables.

5.1.3.- Riego de impregnación.

Como se vio con anterioridad, el riego de impregnación es la aplicación de un material asfáltico, sobre una capa de material pétreo como la base del pavimento, con objeto de impermeabilizarla y favorecer la adherencia entre ella y la carpeta asfáltica; por tal motivo se utilizará una emulsión de rompimiento lento, conforme a lo establecido en la norma N-CTR-CAR-1-04-004/00; este concepto pudiera omitirse

siempre y cuando el espesor de la carpeta fuera mayor o igual a 10cm., pero como el espesor en este caso será menor de 7cm, si es necesario el riego de impregnación.

Deberá vigilarse que la petrolizadota sea capaz de mantener una temperatura constante y que permita un flujo uniforme de material asfáltico sobre la superficie; de igual forma, deberá garantizarse que la superficie a impregnar se encuentra en condiciones optimas para tal actividad; libre de materias extrañas, polvo, grasa o encharcamientos, así como reparados los baches que se pudieran haber presentado; además de que es recomendable realizar un riego previo con agua para retrasar el rompimiento de la emulsión y mejorar la absorción de la superficie, esperando a que el agua superficial se haya evaporado.

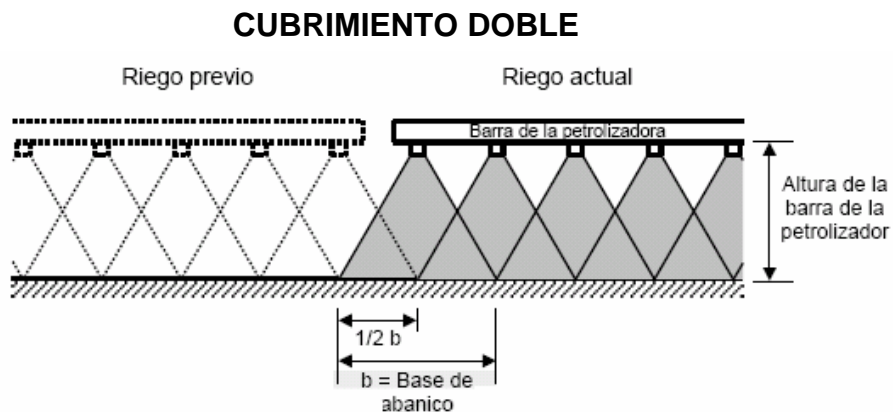
El material asfáltico deberá ser del tipo y con la dosificación correspondiente con lo estudiado con anterioridad, el cual será aplicado uniformemente sobre la superficie por cubrir, verificando que la penetración sea de por lo menos 4 mm, evitando la colocación de la siguiente capa hasta que el material de impregnación se haya absorbido y el agua o solvente se hayan eliminado.

De forma uniforme se esparcirá la emulsión asfáltica del tipo marcado en el proyecto con un contenido de cemento asfáltico de sesenta por ciento 60% aproximadamente, de acuerdo a las normas N-CMT-4-05-001/00, se hará el riego con una petrolizadota equipada con odómetro, medidores de presión, medidores adecuados para el volumen aplicado y su termómetro teniendo la emulsión a una temperatura constante de 60° C dentro del tanque y teniendo un flujo uniforme del material asfáltico sobre la base a impregnar; la cantidad de emulsión aplicada la

variaremos entre 1.2 a 1.5 lts/m², dependiendo de la temperatura ambiente y la textura por impregnar.

El riego de impregnación no lo aplicaremos sobre superficies con agua, cuando exista amenaza de lluvia ó esté lloviendo, cuando la velocidad del viento impida que la aplicación del asfalto sea uniforme y cuando la temperatura de la superficie por impregnar, esté por debajo de los 15°C.

Ajustaremos la altura de la barra de la petrolizadora para aplicar el material asfáltico de manera uniforme, de tal manera que la base del abanico que se forma al salir el material por una boquilla, cubra hasta la mitad de la base del abanico de la boquilla contigua (cubrimiento doble)



La impregnación sobre la base hidráulica tendrá una penetración mínima de 4 milímetros, una vez que esta haya fraguado, se puede abrir entonces a la circulación de vehículos teniendo la precaución de colocar una capa de arena a fin de proteger el riego de impregnación.

5.1.4.- Riego de liga.

Una vez que la base ha sido impregnada y que se encuentra en condiciones de recibir la siguiente capa, se colocará un riego de liga, que tiene como función principal el permitir la adherencia entre la superficie existente y la carpeta asfáltica; dicho riego de liga se realizará con una emulsión asfáltica de rompimiento rápido de acuerdo a la norma N-CTR-CAR-1-04-005/00.

El riego de liga se aplicará una vez fraguado el riego de impregnación, el cual servirá para que exista una adherencia adecuada entre el suelo de la base y la carpeta, se realizará el riego de liga con una petrolizadora equipada con las características antes mencionadas.

Se aplicará uniformemente el riego con emulsión asfáltica de rompimiento rápido tipo ECR-60 con un contenido de cemento asfáltico de sesenta por ciento 60% en una cantidad aproximada de 0.5 lts/m²; El riego no se aplicará sobre superficies con agua, cuando exista amenaza de lluvia ó esté lloviendo, cuando la velocidad del viento impida que la aplicación del asfalto sea uniforme y cuando la temperatura de la superficie por impregnar, esté por debajo de los 15°C.

De igual forma que en la impregnación, ajustaremos la altura de la barra de la petrolizadora para aplicar el material asfáltico de manera uniforme, de tal manera que la base del abanico que se forma al salir el material por una boquilla, cubra hasta la mitad de la base del abanico de la boquilla contigua (cubrimiento doble), la superficie cubierta por el riego de liga, permanecerá cerrada a cualquier tipo de tránsito hasta que se construya la carpeta asfáltica.

Cabe hacer mención que bajo ninguna circunstancia, se puede omitir la colocación del riego de liga, ya que es indispensable su colocación para la correcta adherencia de la carpeta a la base, y para garantizar su buen funcionamiento y durabilidad.

5.1.5.- Capeta asfáltica.

Se construirá mediante el tendido y compactación de una capa de carpeta asfáltica con mezcla en caliente, no mayor de 5 cms de espesor y constituida de una mezcla de material pétreo y cemento asfáltico utilizando como vehículo de incorporación al calor.

Estas carpetas con mezcla en caliente se construyen para proporcionar al usuario una superficie de rodamiento uniforme, bien drenada, cómoda, segura, y de mayor calidad y durabilidad.

La producción de la carpeta se realizará en el banco de material “el Arenal” ubicado en comprensiones de Tancítaro, donde se dotará de una planta de mezcla en caliente, cribas para clasificar el material pétreo en tres tamaños diferentes teniendo una capacidad suficiente y contando en el banco mencionado con material adecuado, conforme a trabajos antes realizados, ya que de este lugar se ha obtenido material pétreo que cumple los requerimientos necesarios.

El trabajo antes mencionado y que a continuación se describe, se ejecutará en los anchos señalados en el proyecto geométrico y en todo el tramo de proyecto, en un espesor de cinco 5 centímetros compactos.

Se realiza la formación y compactación de la carpeta asfáltica de acuerdo a la

norma *N.CTR.CAR.1.04.006/00*, como se explica a continuación:

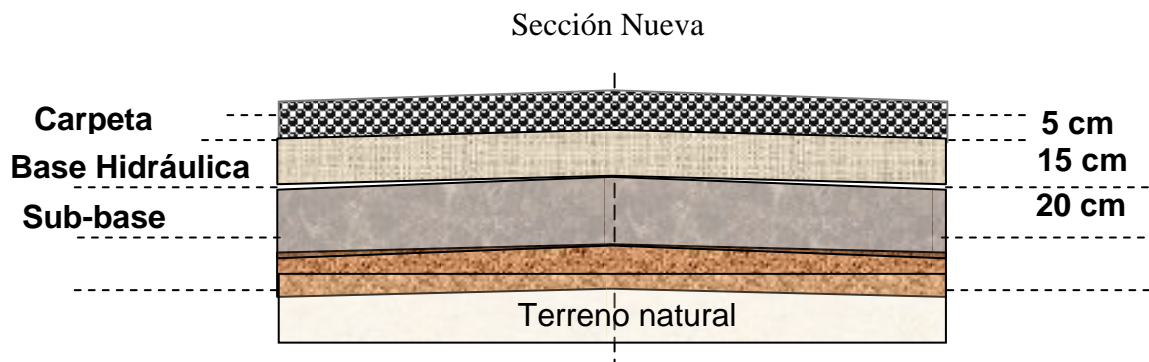
La mezcla asfáltica deberá llegar a una temperatura de 115 a 125° C, esto se verifica con un termómetro de varilla, una vez aplicado el riego de liga y en cuanto el proceso de rompimiento de la emulsión haya terminado, se extenderá con máquina Finisher, que cuenta con un enrasador que es ajustable automáticamente en el sentido transversal proporcionando una textura lisa y uniforme; cuenta con una tolva receptora de la mezcla asfáltica y contando con sensores de control automático de niveles, se tenderá el volumen necesario de concreto asfáltico elaborado en caliente, contando también con una cuadrilla de rastrilleros que aseguren una textura conveniente en la superficie y que borren las juntas longitudinalmente entre franjas.

El tamaño máximo del agregado de la mezcla, será de $\frac{3}{4}$ " a finos y el cemento asfáltico para aglutinar el pétreo será del tipo AC-20, a una temperatura de 130 a 160 °C, debiendo cumplir con todos y cada uno de los requisitos de calidad que marca la normatividad vigente de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (S.C.T.); teniéndose además un diseño para elaborar la mezcla y obtener una mejor calidad de la misma que la granulometría del pétreo se dosifique en peso con cuarenta y cinco por ciento (45%) de grava, cincuenta por ciento (50%) de arena y cinco por ciento (5%) de partículas finas. Además teniendo una dosificación del asfalto de 150 lts. / m³.

Se compactara la carpeta al 95% de su peso volumétrico máximo, realizándose la compactación de las orillas hacia el centro en las tangentes y del interior al exterior en las curvas teniendo un traslape de la mitad del ancho del compactador en cada pasada, se iniciara cuando la mezcla tenga una temperatura

del orden de ciento diez grados centígrados (110° C) con un rodillo liso ligero tipo tandem de cuatro (4) a seis (6) toneladas, para lograr el acomodo de las partículas; posteriormente conviene se compacte con el compactador de neumáticos autopropulsado y al final con un rodillo liso tipo tandem con un peso de ocho (8) a diez (10) toneladas, el cual borrarán las huellas dejadas por el neumático, como se ve en las fotos 16 y 17. Al terminar la compactación, la mezcla deberá tener cuando menos una temperatura de setenta grados centígrados (70° C). Teniendo un terminado de carpeta con un espesor de 5cm compactos.

No se tenderá carpeta asfáltica sobre charcos de agua, ni se programará tendido cuando exista amenaza de lluvia, tampoco cuando la temperatura ambiente este por debajo de los quince grados centígrados (15° C).



5.1.6.- Riego de sello.

Una vez terminado el tendido de la carpeta asfáltica como se mencionó anteriormente, y dejando un lapso de unos días, se procede a la colocación del riego de sello, el cual consiste en la colocación en todo el ancho de la carpeta de un riego de emulsión asfáltica de rompimiento rápido, la cual se cubre con un material pétreo del tipo 3-A; esto se compacta para que penetre en la superficie de la carpeta y

con ello evitar que se introduzca el agua; se recomienda su aplicación aún cuando el valor de la permeabilidad de la carpeta sea el óptimo, es decir de menos del 10% de permeabilidad, ya que la finalidad de la aplicación del riego de sello va más allá del abatimiento de la permeabilidad; además protege del desgaste y proporciona una superficie de rodamiento antiderrapante, antireflejante y como protección en general del pavimento construido; incluso se le considera al sello, como una capa de desgaste en la superficie del pavimento que puede ser renovada una vez que se haya deteriorado.

5.2.- Presupuesto existente del pavimento del camino.

A continuación se presenta de forma detallada, una copia del presupuesto que se realizó por parte del H. Ayuntamiento de Tancítaro para la construcción de la obra que nos ocupa en este trabajo de investigación de tesis.

Cabe mencionar, que en esta propuesta, quizás por descuido, se omitió la colocación del riego de liga entre la base y la carpeta asfáltica; ya que al estudiar el presupuesto, se pudo observar que no se contempla ese concepto; por tal motivo, se destaca lo anterior para hacer la aseveración de que en la nueva propuesta, motivo de este trabajo, si está considerado el riego de liga, el cual es de gran importancia para la estructura del pavimento, ya que además de propiciar la impermeabilidad del mismo, evita que la carpeta se desprenda de la base, prolongando la vida útil del pavimento.

De lo anterior, se puede entonces decir, que al presupuesto existente y que elaboró el Ayuntamiento de Tancítaro, carece de un concepto importante como lo es

el riego de liga, y que por consecuencia no fue considerado dentro del presupuesto, lo cual puede derivar en la mala calidad del pavimento o en el encarecimiento de la obra.

El presupuesto, es presentado mediante la forma E-7, conforme a los lineamientos de la S. C. T., y se pueden apreciar la realización de cinco conceptos como partes integrantes de la estructura del pavimento; de igual forma se aprecian las unidades en que se presupuestó la realización de los conceptos, las cantidades de obra a realizarse obtenidas del proyecto que se anexa a esta investigación, el precio unitario para cada concepto y el total de cada uno de ellos.

El costo total de la estructura del pavimento fue de \$ 2,601,733.73 (dos millones seiscientos un mil setecientos treinta y tres pesos 73/100 M. N.), sin incluir el IVA. Adicionalmente también se presentan los análisis de precios unitarios que intervinieron en la realización del presupuesto, en los cuales se puede apreciar la forma en que fueron obtenidos, y la cual se describe ligeramente a continuación.

A traves del programa de computación Opus, se elaboró el análisis de los precios unitarios tomando en consideración:

- Descripción de los trabajos a realizar y que integran el concepto en cuestión
- Obtención del costo unitario de los materiales que intervienen en la construcción del concepto.
- Obtención del costo horario del equipo y herramienta utilizados en su realización
- Obtención de los costos por mano de obra requerida.

También se tienen los catálogos auxiliares que se aplicaron para la obtención de los precios unitarios y que se presentan a continuación.

5.3.- Nueva propuesta de presupuesto para la estructura del pavimento.

Enseguida se presenta el presupuesto que se realizó en esta investigación, teniendo la consideración de integrar un nuevo concepto como lo es, el riego de liga entre la base y la carpeta, el cual no estaba contemplado y se considera de gran importancia para el buen funcionamiento del pavimento a construirse, teniendo como consecuencia posible, el encarecimiento del costo de la obra.

De igual forma, podrán observarse las diferencias entre los costos de cada uno de los conceptos, sin olvidar que se manejan las mismas cantidades de obra; por tal motivo, mas adelante se mencionarán cada una de estas diferencias.

De la misma manera, el presupuesto que se presenta a continuación, fue realizado en el programa computacional Opus Olé, solo que se observó la necesidad de presentarlo en un formato distinto al que arroja ese programa; anexando primeramente, el catalogo de conceptos y cantidades de obra para la expresión de precios unitarios y montos totales de la propuesta, después se anexan los análisis de precios unitarios para cada uno de los conceptos, enseguida la explosión de insumos que intervienen y por último un calendario de obra en el que se especifica el programa de montos en la ejecución de los trabajos.

Adicionalmente cabe señalar que en la obtención de esta nueva propuesta, se aplicaron los precios actuales que rigen en la zona en cuestión, y que a traves del programa Opus, arroja los resultados siguientes:

5.4.- Análisis del costo de los conceptos de los dos presupuestos.

Una vez que se han presentado y analizado las dos propuestas, se puede observar que el resultado de los dos es muy similar; el segundo es por un monto total de \$ 2,726,306.04 (dos millones setecientos veintiséis mil trescientos seis pesos 04/100 M: N.) realizado con precios actuales e incluyendo el concepto faltante del riego de liga para la base.

Sub-base: en el análisis de este concepto, se puede observar que existe una diferencia de costos en la nueva propuesta, originada por un incremento en el precio del material para la sub-base, en los acarreos, y en el costo horario de la maquinaria.

Se registra un incremento aproximado de 25% en el precio unitario que se propone en esta investigación, en relación al presupuesto realizado por el Ayuntamiento; con lo que se da un incremento en el costo de la construcción de la sub-base.

Base: de igual forma, el incremento en los acarreos, en el material pétreo para la base y en la maquinaria; significan un incremento en el precio unitario aplicable para este concepto, provocando un alza en el costo de los trabajos en más de un 20% en relación con la propuesta inicial.

Se debe considerar que se utilizará una base con las mismas especificaciones con que se presupuestó inicialmente.

Riego de impregnación: En el caso del riego de impregnación, se logra optimizar el costo de los trabajos en un 10 % en la nueva propuesta, lo cual se consigue al manejar un costo menor para el agua, para el suministro y carga de la arena, y para los trabajos de colocación del riego de impregnación.

Riego de liga: Este concepto se incluye como adicional a la propuesta del Ayuntamiento, ya que originalmente no había sido contemplado, por lo que el costo de este concepto que es de 103,488.00, y se considera como un incremento importante en relación a lo anteriormente presupuestado.

Sin embargo, con la realización de este concepto, se garantiza un mejor funcionamiento de la estructura del pavimento a construir.

Carpeta asfáltica: La carpeta asfáltica resulta ser el concepto con el costo mas elevado para su realización, ya que la elaboración y tendido del m³ de carpeta asfáltica, resulta de una mayor dificultad; como se puede apreciar en los dos presupuestos, realmente existe una gran similitud en los precios, sin embargo las diferencias importantes estriban en los costos indirectos y en el financiamiento aplicable en el cálculo de los precios unitarios.

Sello: En la realización de este concepto, se logra optimizar el costo de la propuesta que se expone en este trabajo, debido al menor costo de los materiales y a la optimización de la mano de obra y el equipo.

5.5.- Análisis final.

Se puede observar una diferencia de \$ 124,572.31 (ciento veinticuatro mil quinientos setenta y dos pesos 31/100) que casi equivale al costo del riego de liga, que podría decirse que al incluirse al presupuesto este concepto, se refleja tal incremento; pero considerando que el presupuesto realizado por el Ayuntamiento de Tancítaro se elaboró en agosto del año 2007, es decir hace siete meses a la fecha, podría considerársele como dentro de un rango aceptable de variación en los precios y de una adecuada presupuestación; aunque el resultado es un poco elevado y carente de un concepto tan importante como el riego de liga para la base, en comparación con la propuesta realizada se puede considerar como difícil la posibilidad de abatir costos bajo las mismas condiciones y consideraciones para la estructuración del pavimento.

Sin embargo se presenta adicionalmente una secuencia de los trabajos a realizar, describiendo la forma en que se deben desarrollar cada uno de ellos, a fin de dar cumplimiento a las normas aplicables y poder obtener los mejores beneficios del pavimento que se construirá.

A continuación se presentarán las conclusiones que arroja esta investigación, a fin de dar a conocer el resultado de este trabajo de tesis.

CONCLUSIONES.

En la presente investigación de tesis, se trabajó para dar respuesta a un objetivo principal que fue el de proponer el Proceso Constructivo de la estructura del pavimento del camino que conduce de Los Fresnos a Urínguitiro en el Municipio de Tancítaro Mich., el cual se definió en el capítulo anterior, haciendo mención que una vez terminados los trabajos de drenaje, movimiento de tierras y terracerías, se procede a la construcción del pavimento, colocando primeramente la sub-base, seguida de la base, luego se coloca un riego de impregnación y un riego de liga para adherirse a la carpeta asfáltica, la cual es cubierta con un riego de sello; esta secuencia es definida con mayor detalle en los diferentes capítulos contenidos en este trabajo de investigación.

Así mismo, se definieron algunos conceptos básicos y generalidades sobre lo que son las vías terrestres y sus características generales.

Se conceptualizó lo que son los pavimentos, los tipos existentes, y algunos de sus requerimientos mínimos; de igual forma se realizaron cálculos sobre los costos de la estructura del pavimento, y la posible optimización de los recursos; lo cual no fue posible debido a que se hizo una corrección al incluir en la propuesta, un concepto que no estaba considerado en el presupuesto anterior; por lo que lejos de optimizar los costos, se originó un incremento aunque realmente poco significativo.

De igual forma se pudieron ampliar los conocimientos del que suscribe, así como de todas aquellas personas que tengan acceso a esta tesis, ya que al consultarla se puede conocer en que consiste el Proceso Constructivo de la

estructura del pavimento de un camino, en específico, de la que conduce de Los Fresnos a Urínguitiro en el municipio de Tancítaro Michoacán, obra que próximamente será realizada.

Para el cumplimiento de los objetivos, surgieron algunas preguntas básicas las cuales fueron resueltas en su momento; siendo la principal ¿cuál es el proceso constructivo de un pavimento? a la cual se pudo responder haciendo la descripción de cada uno de los pasos a seguir para la construcción de la estructura de un pavimento de características similares al que se refiere en este trabajo, respetando la normatividad correspondiente a los mismos.

Surgieron además algunas otras preguntas como ¿Qué son las vías terrestres? ¿Cuál es su clasificación? ¿Cuáles son los tipos de pavimentos existentes? ¿Qué es el alineamiento vertical y horizontal de un camino? ¿Que es la subrasante, la sub-base, la base y la carpeta? las cuales fueron respondidas puntualmente y de forma teórica en los capítulos 1 y 2 de este trabajo, a través de un proceso de recopilación de información documental sobre la materia.

Preguntas como ¿Cuáles son los costos del pavimento de este camino? ¿existe la posibilidad de aminorar los costos de este pavimento aplicando las mismas condiciones del proyecto? ¿Cuáles son los volúmenes de material del pavimento? Y en general ¿Cuál es el proceso constructivo que se propone para la construcción del camino que nos ocupa? fueron respondidas en el capítulo cinco, para lo cual fue necesaria la realización de algunos cálculos sobre los costos económicos de los conceptos que intervienen en un proceso constructivo, y se requirió el auxilio del programa de computación Opus Olé.

Una vez terminado el presente trabajo, se ha encontrado que es de gran importancia el conocer el proceso constructivo de cualquier obra, conocer el por que de sus características y requerimientos básicos, ya que de lo contrario surgen problemas importantes al momento de construir o en un futuro inmediato; teniendo como ejemplo el presente trabajo, en el que ante el desconocimiento del proceso constructivo de una estructura del pavimento, se omitió la realización de un riego de liga entre la base y la carpeta asfáltica, el cual, si no se construye, presentará grandes daños en el pavimento disminuyendo su calidad, su eficiencia y su vida útil; por otra parte, si fuera construido y al no ser contemplado en el presupuesto, también repercute económicamente en el costo de la obra, ya que se generaría un excedente que podría ser difícil de cubrir.

Por tal motivo, es importante conocer el proceso constructivo tanto para el que lo lleva a cabo e incluso para quien tenga que supervisar la construcción de tales trabajos, ya que podrán realizar correctamente su labor.

De lo anterior encontramos que es importante entonces conocer la secuencia de los trabajos que se realizan para la construcción de un pavimento, abarcando cada una de las etapas desde su planeación hasta su realización, lo cual no es tarea fácil que pueda ser desarrollada por cualquier persona, sino que requiere de la preparación y los conocimientos de un ingeniero civil.

BIBLIOGRAFÍA

Hernández Sampieri Roberto y Cols. (2004)

Metodología de la Investigación

Ed. Mc Graw Hill. México

Jurado Rojas Yolanda (2005)

Técnicas de Investigación Documental

Ed. Thomson. México

Mendieta Alatorre Ángeles (2005)

Métodos de Investigación y Manual Académico

Ed. Porrúa. México

Mier S. José Alfonso (1987)

Introducción a la Ingeniería de Caminos

UMSNH. México

Olivera Bustamante Fernando (2006)

Estructuración de Vías Terrestres (2da Edición)

Ed. Continental. México

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) (1974)

Manual de proyecto Geométrico de Carreteras

México

Otras fuentes de información

Vías carreteras

<http://www.eumed.net/cursecon/libreria/2004/fme/1d.htm>

Caminos y carreteras

<http://caminos.construaprende.com/entrada/Tesis1/index.php>

Planificación de Caminos Rurales

<http://www.ruralroads.org/indexsp.htm>

Mapa de carreteras en México

http://blog.pajaritomontoya.org/wp-content/uploads/2006/11/carreteras_mapa.gif

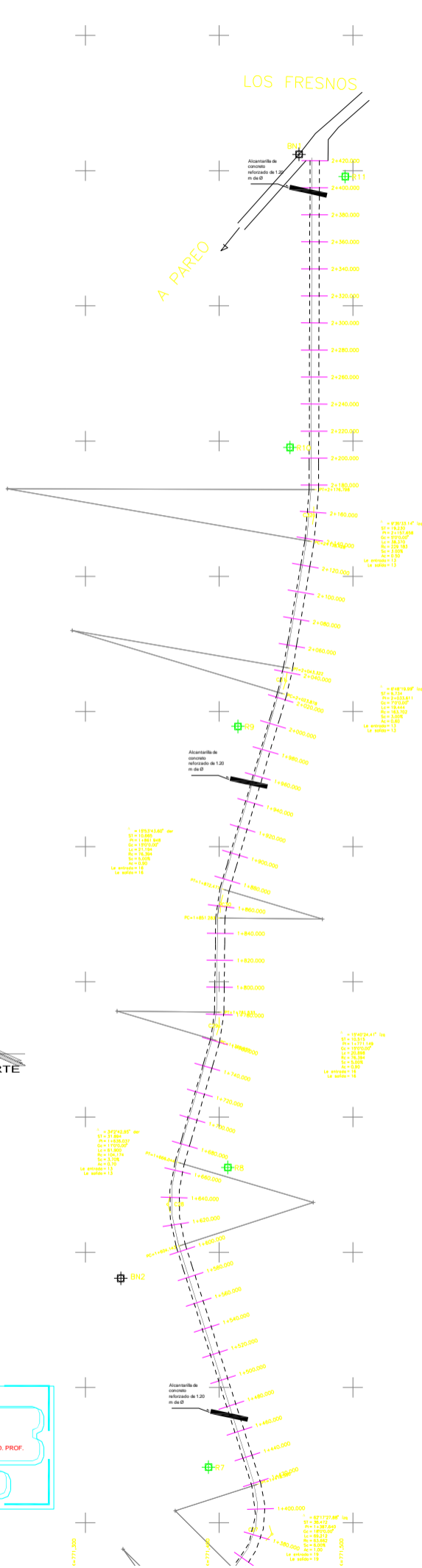
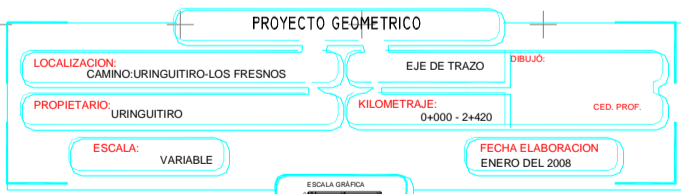
CUADRO DE CONSTRUCCION DE EJE

EST	LAGO	Pv	RUMBO	DISTANCIA	V	COORDENADAS UTM		
						X	Y	Z
PC+0+000.000			N 00°00'00" E	0.00	770,930,000	2,156,339,000		
PC+0+100.000			N 00°00'00" E	100.00	770,930,000	2,156,339,000		
PC+0+200.000			N 00°00'00" E	200.00	770,930,000	2,156,339,000		
PC+0+300.000			N 00°00'00" E	300.00	770,930,000	2,156,339,000		
PC+0+400.000			N 00°00'00" E	400.00	770,930,000	2,156,339,000		
PC+0+500.000			N 00°00'00" E	500.00	770,930,000	2,156,339,000		
PC+0+600.000			N 00°00'00" E	600.00	770,930,000	2,156,339,000		
PC+0+700.000			N 00°00'00" E	700.00	770,930,000	2,156,339,000		
PC+0+800.000			N 00°00'00" E	800.00	770,930,000	2,156,339,000		
PC+0+900.000			N 00°00'00" E	900.00	770,930,000	2,156,339,000		
PC+1+000.000			N 00°00'00" E	1,000.00	770,930,000	2,156,339,000		
PC+1+100.000			N 00°00'00" E	1,100.00	770,930,000	2,156,339,000		
PC+1+200.000			N 00°00'00" E	1,200.00	770,930,000	2,156,339,000		
PC+1+300.000			N 00°00'00" E	1,300.00	770,930,000	2,156,339,000		
PC+1+400.000			N 00°00'00" E	1,400.00	770,930,000	2,156,339,000		
PC+1+500.000			N 00°00'00" E	1,500.00	770,930,000	2,156,339,000		
PC+1+600.000			N 00°00'00" E	1,600.00	770,930,000	2,156,339,000		
PC+1+700.000			N 00°00'00" E	1,700.00	770,930,000	2,156,339,000		
PC+1+800.000			N 00°00'00" E	1,800.00	770,930,000	2,156,339,000		
PC+1+900.000			N 00°00'00" E	1,900.00	770,930,000	2,156,339,000		
PC+2+000.000			N 00°00'00" E	2,000.00	770,930,000	2,156,339,000		
PC+2+100.000			N 00°00'00" E	2,100.00	770,930,000	2,156,339,000		
PC+2+200.000			N 00°00'00" E	2,200.00	770,930,000	2,156,339,000		
PC+2+300.000			N 00°00'00" E	2,300.00	770,930,000	2,156,339,000		
PC+2+400.000			N 00°00'00" E	2,400.00	770,930,000	2,156,339,000		

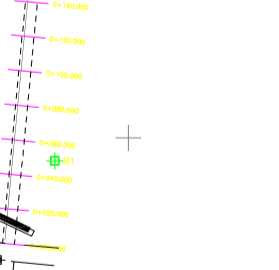
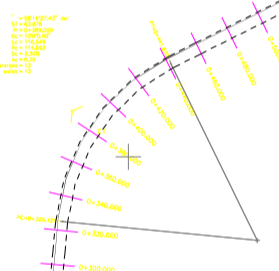
LONGITUD = 2,420.00m

CUADRO DE CURVAS

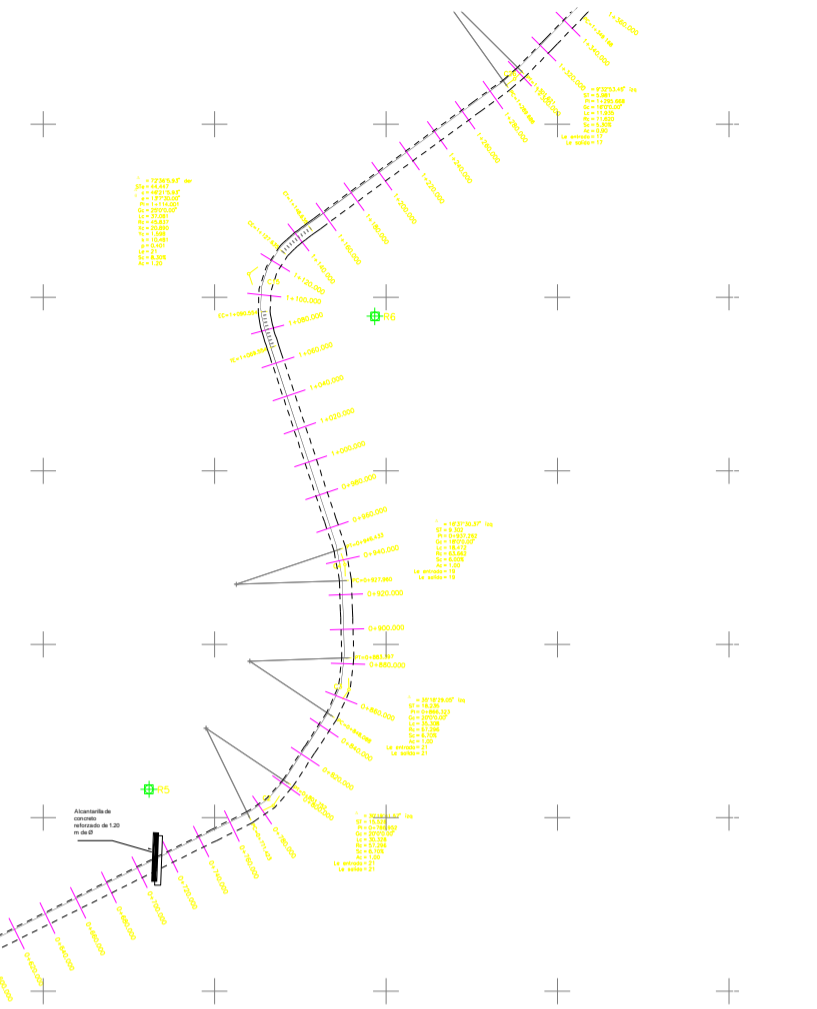
CURVA	DELTA	RADIO	ARCO	STAN	CUERDA	AREA BAJO CUERDA	RUMBO CUERDA
C1	58°16'27.43"	114.59	116.55	63.88	111.59	1,093.19	N 34°37'35.87" E
C2	30°19'41.57"	57.30	30.33	15.53	29.98	40.01	S 48°35'58.81" W
C3	38°18'29.05"	57.30	35.31	18.23	34.75	62.82	S 10°46'53.50" W
C4	18°37'30.37"	63.66	18.47	9.30	18.41	8.22	S 10°11'06.22" E
C5	00°52'56.68"	916.38	2.10	1.05	2.10	0.00	N 18°21'13.82" W
C6	00°23'38.04"	305.46	2.10	1.05	2.10	0.00	N 18°11'28.49" W
C7	00°39'23.41"	183.28	2.10	1.05	2.10	0.00	N 17°39'57.70" W
C8	00°55'8.78"	130.91	2.10	1.05	2.10	0.01	N 16°52'41.60" W
C9	01°10'54.17"	101.82	2.10	1.05	2.10	0.01	N 15°49'40.18" W
C10	01°26'39.61"	83.31	2.10	1.05	2.10	0.01	N 14°30'53.30" W
C11	01°42'25.16"	70.49	2.10	1.05	2.10	0.01	N 12°56'20.92" W
C12	01°58'10.98"	61.08	2.10	1.05	2.10	0.01	N 11°06'02.88" W
C13	02°13'57.39"	53.89	2.10	1.05	2.10	0.01	N 08°59'58.76" W
C14	02°29'45.06"	48.20	2.10	1.05	2.10	0.02	N 06°38'07.66" W
C15	02°45'15.93"	45.84	37.08	19.62	36.08	89.71	N 17°48'11.50" E
C16	02°29'45.06"	48.20	2.10	1.05	2.10	0.02	N 42°11'30.79" E
C17	02°13'57.39"	53.89	2.10	1.05	2.10	0.01	N 44°30'21.88" E
C18	01°58'10.98"	61.08	2.10	1.05	2.10	0.01	N 46°32'44.00" E
C19	01°42'25.16"	70.49	2.10	1.05	2.10	0.01	N 48°32'44.00" E
C20	01°26'39.61"	83.31	2.10	1.05	2.10	0.01	N 50°07'16.42" E
C21	01°10'54.17"	101.82	2.10	1.05	2.10	0.01	N 51°26'03.31" E
C22	00°55'8.78"	130.91	2.10	1.05	2.10	0.01	N 52°29'04.79" E
C23	00°39'23.41"	183.28	2.10	1.05	2.10	0.00	N 53°16'20.80" E
C24	00°23'38.04"	305.46	2.10	1.05	2.10	0.00	N 53°47'51.59" E
C25	00°52'56.68"	916.38	2.10	1.05	2.10	0.00	N 54°03'36.98" E
C26	00°23'53.45"	71.62	11.94	5.98	11.92	1.98	S 40°19'47.80" E
C27	62°17'27.88"	63.66	69.21	38.47	65.85	409.06	S 13°21'37.14" W
C28	34°2'42.95"	104.17	61.90	31.89	60.99	186.41	N 00°42'45.33" W
C29	15°40'24.41"	76.39	20.90	10.51	20.83	9.92	S 08°28'23.94" W
C30	19°53'43.60"	76.39	21.19	10.67	21.13	10.34	N 08°30'03.54" E
C31	06°48'19.99"	163.70	19.44	9.73	19.43	3.74	S 13°07'45.14" E
C32	02°15'31.14"	229.18	38.37	19.23	38.33	20.53	S 04°50'48.77" E



Y=2,136,300
 Y=2,136,200
 Y=2,136,100
 Y=2,136,000
 Y=2,135,900
 Y=2,135,800
 Y=2,135,700
 Y=2,135,600
 Y=2,135,500
 Y=2,135,400
 Y=2,135,300
 Y=2,135,200
 Y=2,135,100
 Y=2,135,000



A LA PLAZA



PROYECTO GEOMETRICO
URINGUITIRO-LOS FRESNOS
 DEL KM 0+000-2+420
 CAMINO TIPO: D
 ANCHO DE CORONA 7 M
 VEL. DE PROYECTO 40 KM/H
 GRADO MAX. DE CURVATURA 25°

SECCION TIPO

PROYECTO GEOMETRICO
 LOCALIZACION: CAMINO-URINGUITIRO-LOS FRESNOS
 EJE DE TRAZO: DIBUJO:
 PROPIETARIO: URINGUITIRO
 KILOMETRAJE: 0+000 - 2+420
 CED. PROF.:
 ESCALA: VARIABLE
 ESCALA GRAFICA:
 FECHA ELABORACION: ENERO DEL 2008