



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLAS DE HIDALGO**

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

**“TÓPICOS PARA LA ELABORACIÓN DE
UN PROYECTO DE CAMINOS”
TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL**

PRESENTA

FLORIBERTO DIAZ SIERRA

ASESOR

DR. MARIO SALAZAR AMAYA

MORELIA, MICHOACAN, A ENERO 2011





AGRADECIMIENTOS

ESTE TRABAJO NO SE HABRIA PODIDO REALIZAR SIN LA COLABORACION DE MUCHAS PERSONAS QUE ME HAN BRINDADO SU AYUDA, SUS CONOCIMIENTOS Y SU APOYO. QUIERO AGRADECERLES A TODOS ELLOS CUANTO HAN HECHO POR MI, PARA QUE ESTE TRABAJO SALIERA DELANTE DE LA MEJOR MANERA POSIBLE.

EN PRIMER LUGAR QUIERO AGRADECER A **DIOS** POR REGALARME LA VIDA Y PERMITIRME LLEGAR HASTA DONDE ESTOY AHORA.

AGRADEZCO ESPECIALMENTE A MIS PADRES, **FLORIBERTO DIAZ ONTIVEROS Y YOLANDA SIERRA CASTRO**, POR EL APOYO QUE ME HAN BRINDADO EN TODO MOMENTO, POR SER LA BASE DE MI DESARROLLO TANTO FISICO, COMO ACADEMICO, POR SUS COMENTARIOS, DIRECCIONES Y HASTA REGAÑOS. LES DOY LAS GRACIAS PROFUNDAMENTE POR SU CONFIANZA Y SU AMOR INCONDICIONAL.

UN AGRADECIMIENTO PROFUNDO A MI ESPOSA **KARINA** POR SU APOYO Y COMPRESION, DURANTE TODO EL TIEMPO QUE LLEVAMOS JUNTOS, GRACIAS POR LOS REGALOS MAS GRANDES DE MI VIDA, MIS HIJOS! **ANDRES Y KARIME**.

A MIS HERMANDOS, **ENRIQUE Y RUBI** A LOS CUALES FELICITO PORQUE SIEMPRE PONEN TODO SU EMPEÑO PARA SALIR ADELANTE, Y **ALONDRA** QUE AUN ESTA ESTUDIANDO, LE DESEO LA MEJOR DE LAS SUERTES PARA LOGRAR LAS METAS QUE SE PROPONGA.

AGRADEZCO TAMBIEN A MI ASESOR DE TESIS EL **DR. MARIO SALAZAR AMAYA**, POR SU TIEMPO Y CONSEJOS PARA LA CORRECTA ELABORACION DE ESTE TRABAJO.

AGRADEZCO TAMBIEN AL **M. ING. ROGELIO AVILA CORREA**, POR SU APOYO Y CONSEJOS.

FINALMENTE QUIERO AGRADECER A TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE DE ALGUNA MANERA HICIERON POSIBLE LA TERMINACION DE ESTE TRABAJO Y QUE NO MENCIONE.

¡¡GRACIAS A TODOS!!



INTRODUCCION	PAG.
Justificación.....	3
Objetivos.....	3
CAPITULO 1 - CAMINOS Y CARRETERAS	
1.1 Clasificación de las Carreteras.....	4
1.2 Dispositivos para el Control de Transito.....	6
1.3 Volumen y Tipo de Transito.....	8
CAPITULO 2 - PLANEACIÓN DE UNA CARRETERA	
2.1 Consideraciones Geográficas-Físicas.....	14
2.2 Aspectos Económicos y Sociales.....	15
2.3 Método de Análisis para la determinación de Zonas Vitales.....	16
2.4 Economía de Caminos.....	18
CAPITULO 3 - PROYECTO GEOMÉTRICO	
3.1 Alineamiento y Puntos Obligados.....	21
3.2 Velocidades de Proyecto.....	22
3.3 Reconocimiento Topográfico.....	23
3.4 Trazo Preliminar.....	24
3.5 Línea Definitiva.....	26
3.6 Trazo de Curvas Horizontales.....	29
3.7 Nivelación.....	37
3.8 Perfil Deducido.....	38
3.9 Proyecto de la Subrasante.....	39
3.10 Trazo de Curvas Verticales.....	41



3.11 Empleo Simultáneo de las Curvas Verticales y Horizontales.....	52
3.12 Secciones de Construcción.....	53
3.13 Determinación de las Secciones de Carreteras.....	56
3.14 Determinación de los Volúmenes de Tierra entre Estaciones.....	62
3.15 Diagrama de Masas.....	63
3.16 Obras Complementarias de Drenaje.....	70

CAPITULO 4 – DISEÑO DE PAVIMENTOS

4.1 Pavimentos.....	76
4.2 Bases y Sub-Bases.....	78
4.3 Estabilización y mejoramiento de los materiales.....	82
4.4 Carpeta Asfáltica.....	87
4.5 Proyecto de Pavimentos Flexibles.....	96
4.6 Diseño De Pavimento Flexible por el procedimiento Del Instituto Norteamericano del Asfalto.....	105
4.7 Diseño De Pavimento Flexible por el método de la Universidad Nacional Autónoma de México.....	117

CONCLUSIONES.....	127
-------------------	-----

BIBLIOGRAFIA.....	128
-------------------	-----



INTRODUCCION.

Desde el principio de la existencia del ser humano ha observado su necesidad por comunicarse, por lo cual fue desarrollando diversos métodos para la construcción de caminos, desde los caminos a base de piedra y aglomerante, hasta nuestra época con métodos perfeccionados basándose en la experiencia que conducen a grandes autopistas de pavimento flexible o rígido.

Es por esto, que la tesis que se presenta, desarrollará uno de estos métodos, el cual se refiere al trazo y construcción de un camino a base de un pavimento flexible, este describirá las definiciones de carretera y todas aquellas más necesarias para su comprensión, sus características y métodos de construcción, así como todas aquellas especificaciones necesarias para poder cumplir con los requisitos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, también se describirán las consideraciones físicas, geográficas, económicas y sociales que intervienen en el diseño y construcción, los cuales varían dadas las características del lugar, suelo y condiciones climatológicas.

JUSTIFICACION.

La elaboración de esta tesis contempla dos objetivos principales, el primero de ellos es poder dar al lector un conocimiento más amplio de las características, condiciones y métodos que se emplean en la construcción de una carretera a base de pavimento flexible, así como también todos y cada uno de los reglamentos, leyes y restricciones que deberá tomar en cuenta para poder realizar el diseño del mismo.

El segundo objetivo es poder estudiar y comprender más a fondo, tanto el diseño como la construcción y así poder realizar más estudios y pruebas que puedan dar un mayor desarrollo a la tecnología en la construcción de vías de comunicación.

OBJETIVOS.

Al final de este trabajo se pretende ampliar los conocimientos del que suscribe, así también como de toda aquella persona que tenga contacto con este trabajo. Se deberá comprender detalladamente todo el procedimiento de un buen desarrollo para la elaboración de un trazo y construcción de carreteras, así también como anteriormente se dijo obtener resultados que puedan dar una mayor comprensión y que ayuden en el análisis y diseño de una carpeta.



CAPITULO 1.- CAMINOS Y CARRETERAS

1.1. - CLASIFICACION DE LAS CARRETERAS

Algunos acostumbran denominar CAMINOS a las vías rurales, mientras que el nombre de CARRETERAS se lo aplican a los caminos de características modernas destinadas al movimiento de un gran número de vehículos.

La carretera se puede definir como la adaptación de una faja sobre la superficie terrestre que llene las condiciones de ancho, alineamiento y pendiente para permitir el rodamiento adecuado de los vehículos para los cuales ha sido acondicionada.

CLASIFICACION DE LAS CARRETERAS

Las carreteras se han clasificado de diferentes maneras en diferentes lugares del mundo, ya sea con arreglo al fin que con ellas se persigue o por su transitabilidad.

En la práctica vial mexicana se pueden distinguir varias clasificaciones dadas en otros países. Ellas son: clasificación por transitabilidad, clasificación por su aspecto administrativo y clasificación técnica oficial.

CLASIFICACION POR SU TRANSITABILIDAD.- corresponde a las etapas de construcción de las carreteras y se divide en:

1. **Terracerías:** cuando se ha construido una sección de proyecto hasta su nivel de sub-rasante transitable solo en tiempo de secas.
2. **Revestida:** cuando sobre la sub-rasante se ha colocado ya una o varias capas de material granular y es transitable en todo tiempo.
3. **Pavimentada:** cuando sobre la sub-rasante se ha construido ya totalmente el pavimento.

La clasificación anterior es casi universalmente usada en cartografía y se presenta así:



Terracerías	=====
Revestido	=====
Pavimentado	=====

CLASIFICACION ADMINISTRATIVA.- por el aspecto administrativo las carreteras se clasifican en:

- 1.- Federales:** cuando son costeadas íntegramente por la federación y se encuentran por lo tanto a su cargo.
- 2.- Estatales:** cuando son contruidos por el sistema de cooperación a razón del 50% aportado por el estado donde se construye y el 50% por la federación. Estos caminos quedan a cargo de las antes llamadas juntas locales de caminos.
- 3.- Vecinales o rurales:** cuando son contruidos por la cooperación de los vecinos beneficiados pagando estos un tercio de su valor, otro tercio lo aporta la federación y el tercio restante el estado. Su construcción y conservación se hace por intermedio de las antes llamadas juntas locales de caminos.
- 4.- De cuota:** las cuales quedan algunas a cargo de la dependencia oficial descentralizada denominada Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios y Conexos y otras como las autopistas o carreteras concesionadas a la iniciativa privada por tiempo determinado, siendo la inversión recuperable a través de cuotas de paso.

CLASIFICACION TÉCNICA OFICIAL.- esta clasificación permite distinguir en forma precisa la categoría física del camino, ya que toma en cuenta los volúmenes de tránsito sobre el camino al final del periodo económico del mismo (20 años) y las especificaciones geométricas aplicadas. En México la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (S.C.T.) clasifica técnicamente a las carreteras de la manera siguiente:

Tipo especial: para tránsito promedio diario anual superior a 3,000 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 360 vehículos o más (o sea un 12% de T.P.D.) estos caminos requieren de un estudio especial, pudiendo tener corona de dos o de cuatro carriles en un solo cuerpo, designándoles A2 y A4, respectivamente, o empleando cuatro carriles en dos cuerpos diferentes designándoseles como A4, S.



Tipo A: para un tránsito promedio diario anual de 1,500 a 3,000 equivalentes a un tránsito horario máximo anual de 180 a 360 vehículos (12% del T.P.D.).

Tipo B: para un tránsito promedio diario anual de 500 a 1,500 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 60 a 180 vehículos (12% de T.P.D.)

Tipo C: para un tránsito promedio diario anual de 50 a 500 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 6 a 60 vehículos (12% del T.P.D.)

En la clasificación técnica anterior, que ha sufrido algunas modificaciones en su implantación, se ha considerado un 50% de vehículos pesados igual a tres toneladas por eje. El número de vehículos es total en ambas direcciones y sin considerar ninguna transformación de vehículos comerciales a vehículos ligeros. (En México, en virtud a la composición promedio del tránsito en las carreteras nacionales, que arroja un 50% de vehículos comerciales, de los cuales un 15% está constituido por remolques, se ha considerado conveniente que los factores de transformación de los vehículos comerciales a vehículos ligeros en caminos de dos carriles, sea de dos para terreno plano, de cuatro en lomeríos y de seis en terrenos montañosos.)

1.2. - DISPOSITIVOS PARA EL CONTROL DE TRANSITO.

Se entiende por volumen de transito cierta cantidad de vehículos de motor que transitan por un camino en determinado tiempo y en el mismo sentido. Las unidades comúnmente empleadas son: vehículos por día o vehículos por hora. Se llama transito promedio diario (T.P.D.) al promedio de los volúmenes de transito que circulan durante 24 horas en un cierto periodo. Normalmente este periodo es el de un año, a no ser que se indique otra cosa. El (T.P.D.) es normalmente empleado en los estudios económicos, ya que representa la utilización de la vía y sirve para efectuar distribuciones de fondo, mas no se pueden emplear para determinar las características geométricas del camino, pues no es un valor sensitivo a los cambios significantes de los volúmenes y no indica las variaciones de transito que pueden presentarse en las horas, días y meses del año.

Los volúmenes horarios son los que resultan de dividir el número de vehículos que pasan por un determinado punto de un periodo, entre el valor de ese periodo en horas. Los volúmenes horarios máximos son los que se emplean para proyectar los aspectos geométricos de los caminos y se les denomina Volumen Directriz.



CAPACIDAD DE UN CAMINO

El ingeniero necesita saber cuál es la capacidad practica de trabajo de un camino tanto para los nuevos que va a construir y en los cuales pueden prever los volúmenes de transito que va a alojar, como para los caminos viejos los cuales pueden llegar a la saturación y entonces requieren la construcción de otro camino paralelo o el mejoramiento del existente. La capacidad practica de trabajo de un camino es el volumen máximo que alcanza antes de congestionarse o antes de perder la velocidad estipulada, como la estructura del mismo, es necesario que dicho transito sea estimado de la mejor manera posible previendo cualquier aumento.

La manera de conocer el tipo de transito en un camino ya construido no presenta dificultad alguna ya que se reduce de una serie de conteos horarios que indican el volumen de dicho transito y su tipo. No sucede lo mismo cuando apenas se está proyectando el camino. En este caso es necesario llevar a cabo estudios geográficos – físicos, socioeconómicos y políticos de la región para poder obtener datos con los cuales proyectar.

Para el conteo de los vehículos el método más empleado es el automático que consiste en un tubo de hule cerrado en un extremo por una membrana, el cual se coloca transversalmente a la vía y al paso de cada eje de un vehículo sobre el tubo, se produce un impulso de aire sobre la membrana que establece un contacto eléctrico con un aparato que va sumando el numero de impulsos recibidos. Los contadores automáticos tienen la desventaja de que no pueden clasificarse los vehículos por tipo, cosa que si es factible cuando el conteo se hace manual, sin embargo el conteo manual es caro ya que se necesita alrededor de una persona por cada mil vehículos por hora en la vía, mientras que si se emplea un contador automático se facilita el trabajo.

El departamento de Caminos Federales de los Estados Unidos de América, indica que la capacidad practica máxima total que puede alcanzar un camino de dos carriles es de 900 vehículos totales por hora y por ambos carriles cuando dicho camino tiene condiciones ideales, es decir, dos carriles de 3.66 m cada uno, pendiente y alineamiento adecuado, etc.

La capacidad de una carretera se mide generalmente en vehículos por hora y por carril, o bien en vehículos por hora por ambos carriles, en caso de caminos de dos carriles.

La capacidad teórica de un camino ha sido determinado tomando en cuenta velocidades con promedio entre 70 y 80 kilómetros por hora y separaciones entre vehículos de aproximadamente 30 metros.



Como resultado de lo anterior, se ha obtenido una cifra cercana a los dos mil vehículos por hora; aplicando la formula:

$$Q = 1000 V / S$$

En la que V es la velocidad media de los vehículos en ese momento y S el intervalo medio entre ellos.

1.3.- VOLUMEN Y TIPO DE TRANSITO.

ELEMENTOS DEL TRANSITO.

La aparición del tránsito se remonta a los orígenes mismos del hombre, cuando para desplazarse de un lugar a otro formó veredas, al domesticar a las bestias de carga, amplió las veredas a brechas. Con el paso del tiempo aparece la rueda y con esta las carretas y carruajes, se amplió la capacidad de transporte y las brechas ceden su lugar a caminos rudimentarios. Desde estas épocas comienzan a manifestarse los efectos del tránsito como producto de la interacción del camino mismo, de los usuarios y peatones.

Hacen su aparición los vehículos automotores y las primeras carreteras, los vehículos evolucionan rápidamente, se hacen más potentes, más veloces y aparecen explosivamente en todo el mundo. Como consecuencia de esto último se acentúan los problemas de tránsito y se realizan las primeras investigaciones. En un principio se involucró el elemento humano como principal responsable en los conflictos de tránsito; en la actualidad se han establecido como elementos del tránsito los siguientes.

1. Usuarios.

El peatón

El pasajero

El conductor

2. El vehículo.

3. El camino.

TIPOS DE TRANSITO.



Cuando se lleva a cabo la sustitución de una carretera X por otra Y en mejor estado, sirviendo ambas a los mismos centros de población, se tiene la existencia de un tránsito de vehículos, previo a la construcción de la nueva carretera o a la modernización de la existente, llamado **transito normal**. Si no se construye la carretera Y, el transito en la carretera actual aumentará de acuerdo a una tasa de crecimiento dada, cuyo valor sería completamente distinto si se llevara a cabo el proyecto. De estas observaciones se ha determinado la existencia de tres tipos de transito relacionado con cualquier proyecto.

TRANSITO NORMAL. Es aquel que circula normalmente por la carretera. El crecimiento normal del tránsito es el incremento del volumen debido al aumento en número y uso de vehículos de motor.

TRANSITO INDUCIDO. Es aquel transito que no se hubiera presentado sin el proyecto; aparece gracias a la disminución de los costos de operación de los vehículos y debido al mejoramiento en el uso del suelo adyacente al camino.

TRANSITO DESVIADO. Corresponde a aquél existente en otras vías de transporte como rutas alternas, ríos, ferrocarriles y aviones, que dada la reducción de los costos de operación en la nueva carretera se transfiere a ésta.

VARIACIONES DE LOS VOLÚMENES DE TRANSITO.

El transito que circula por una infraestructura vial no es uniforme a través del tiempo ni con respecto al espacio, ya que hay variaciones de un mes a otro, variaciones diarias, variaciones horarias, variaciones en intervalos de tiempo menor a la hora y variaciones en la distribución del tránsito en los carriles. Estas variaciones son el reflejo de las actividades sociales y económicas de la zona en estudio.

Es de suma importancia considerar estas fluctuaciones en la demanda del tránsito si se desea que las infraestructuras viales sean capaces de dar cabida a las demandas vehiculares máximas.

Variaciones en el tiempo

- Estacionales y mensuales
- Diarias
- Horarias



- Intervalos menores a la hora

Variaciones en el espacio

- Distribución por sentidos
- Distribución por carriles

Variación en composición

- Automóviles y pick up
- Vehículos recreativos
- Camiones
- Autobuses

PRONOSTICOS DEL TRANSITO.

Uno de los factores más importantes que debe considerarse en el análisis de la sección transversal de un camino y en general en un proyecto de todo tipo de obra vial es estimar el volumen de tránsito que circula y circulará a lo largo de la misma.

La auscultación permanente de las infraestructuras viales proporciona la información básica para la toma de decisiones respecto a su mantenimiento y ampliación.

Existen dos métodos básicos de aforo, el **mecánico**, que es aquel que realiza los aforos automáticamente y el **manual**.

Los anteriores métodos permiten conocer el grado de ocupación y las condiciones en que operan las vialidades; así como el análisis de la evolución histórica de la demanda permite definir las tendencias de crecimiento y el momento a partir del cual ciertos segmentos dejarán de prestar un servicio adecuado, convirtiéndose en cuellos de botella que propicien el estancamiento del desarrollo en lugar de propiciarlo.

Con el objeto de actualizar y detallar las características de tránsito, en un tramo de carretera deben realizarse aforos de corta duración bajo la observación de importantes aspectos locales como puede ser el entorno agrícola, en cuyo caso ha de procurarse realizar aforos en las épocas de siembra y cosecha; o si la zona es de predominio turístico, estudiar los periodos normales y los de mayor afluencia del turismo.



No se ha establecido una duración estándar para efectuar un aforo de tránsito, esto supone una cierta libertad para elegirlo. El criterio que debe seguirse en la elección debe considerar el grado de precisión que se desee y la variabilidad de los volúmenes a lo largo de la semana, en general, se recomienda periodos de tres horas, cinco o siete días. Los aforos de tres horas se realizan dentro del periodo de mayor tránsito y sirven para determinar el volumen de la hora de máxima demanda, así como para estimar la composición vehicular. Los aforos de 15 horas se realizan de siete de la mañana a diez de la noche en lugares con gran variabilidad en el tránsito durante el transcurso del día. Los aforos de 48 horas se efectúan con medios mecánicos y deben realizarse en días hábiles. Los aforos de cinco o siete días se efectúan también con medios mecánicos y deben abarcar también los días sábado y domingo.

Los puntos de medición o estaciones de aforo han de corresponder a puntos importantes y representativos del tramo. Una carretera entre dos centros de población puede tener dos caminos alimentadores, en este caso se recomienda contar con tres puntos de medición, con este sistema se puede determinar de manera confiable los niveles promedio de tránsito en ambas direcciones.

La demanda de transporte es producto de la interacción en el espacio de las actividades socioeconómicas y el pronóstico de su magnitud es decisivo para predecir los volúmenes de tráfico que se manifestarán en una instalación de transporte cualquiera.

El estudio de la evolución de la demanda de transporte puede efectuarse a partir de dos perspectivas: desagregada y agregada. La primera, que se basa en el análisis del comportamiento individual para estimar la magnitud de la demanda total de un sistema, constituye un enfoque de reciente aparición que aun no se aplica en forma generalizada en países en vías de desarrollo. Por sus menores requerimientos en materia de información, en estos países se usa el enfoque desagregado que pronostica directamente la demanda futura a partir de los valores conocidos de variables de interés. En el campo de las carreteras, algunos modelos de frecuente utilización son los siguientes:

A. Modelos de crecimiento lineal

Es un método que supone en la demanda en base a una tasa de interés simple. Es el método que actualmente emplea la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, su expresión matemática es:



$$T_n = T_0 (1 + r / 100 * n)$$

Donde:

T_n : tránsito en el año n

T_0 : tránsito en el año 0

r : tasa de crecimiento anual del tránsito en porcentaje

B. Modelos de crecimiento exponencial

Son los modelos que anteriormente se usaban, y son de la forma:

$$T_n = T_0 (1 + r / 100)^n$$

Donde:

T_n : tránsito en el año n

T_0 : tránsito en el año 0

r : tasa de crecimiento anual del tránsito en porcentaje

C. Modelos logísticos

Su expresión analítica es la siguiente:

$$T_n = T_{max} / (1 + e^{-Bn})$$

Donde:

T_n : tránsito en el año n

T_{max} : tránsito máximo que puede atender la instalación analizada

B : parámetros estadísticos

e : 2.71828



Según este modelo, independientemente del valor de n , T_n nunca podrá exceder el valor de T_{max} .

D. Modelos de crecimiento por analogía

La evolución de la demanda en una instalación dada se aplica en función del crecimiento ya registrado en alguna otra instalación o país determinado, con condiciones análogas a las de la instalación en estudio pero en un estado más avanzado de desarrollo.

E. Modelos de crecimiento con base en variables.

Variables de mayor jerarquía, tales como producto interno bruto (PIB), población (P), empleo, etc. en estos casos, el crecimiento del tránsito se escribe como:

$$T_n = f(\text{PIB}, P, \text{etc})$$

Y el problema consiste, por una parte, en predecir la evolución de las variables agregadas, y por otra parte determinar la expresión matemática que sirva para predecir tránsitos de manera confiable, lo que generalmente se lleva a cabo con ayuda de técnicas y estadísticas.



CAPITULO 2.- PLANEACIÓN DE UNA CARRETERA

La planeación consiste en agrupar, dentro del análisis técnico, de manera armónica y coordinada, todos los factores geográfico-físicos, económico-sociales y políticos que caracterizan a una determinada región.

El objetivo de lo anterior es el de descubrir claramente la variedad de problemas y deficiencias de toda índole, las zonas de mayor actividad humana actual y aquellas económicamente potenciales, para dar, por ultimo como resultante, un estudio previo de las comunicaciones como instrumento eficaz para ajustar, equilibrar, coordinar y promover el adelanto más completo de la zona considerada, tanto en sí misma, como en sus ínter influencias regionales, nacionales y continentales.

La conclusión da a conocer los grandes lineamientos de una obra vial por ejecutar, todo con fundamento en la demanda de caminos deducida de las condiciones socio- económico- políticas prevalecientes.

2.1.- CONSIDERACIONES GEOGRÁFICAS – FÍSICAS

Las consideraciones geográficas-físicas, así como los aspectos económico-sociales vistos más adelante, son de gran relevancia ya que ellos nos proporcionaran las bases para poder definir el tipo de camino necesario para alguna zona en particular.

Para la realización de las consideraciones geográficas-físicas, se deberán de tomar en cuenta todas y cada una de las características de la región donde se vaya a hacer un proyecto carretero. A continuación se tratara de mencionar las características primordiales a tomar en cuenta.

Una vez ubicada el área total de la región que se destinara a nuestra futura carretera, se procederá a ubicar los limites naturales, como los son: sierras, golfos, mares, etc. a continuación se procede a delimitar con los limites políticos de los estados, es decir, cuáles y cuántos son los estados por donde se trazara el camino. Se mencionara también todos los tipos de topografía del terreno por donde se considero el trazo, así también los rumbos, latitudes, longitudes y las superficies que ocupan cada uno de los diferentes tipos de terreno.

Se consideraran las condiciones climatológicas, meteorológicas, edafológicas, hidrológicas y de vegetación natural.



Una vez recopilada y organizada toda esta información, se procederá a establecer diferentes zonas de terreno de acuerdo con la similitud de sus características naturales como lo son: tipo de terreno, las condiciones climáticas, etc. esto para poder tener el conocimiento real de que actividades realizaremos dentro de nuestras diferentes zonas, así también poder utilizar los recursos con mayor ahorro y eficiencia.

2.2.- ASPECTOS ECONÓMICOS Y SOCIALES.

Desde el punto de vista de la evaluación económica-social de los proyectos carreteros y atendiendo a sus características físicas, financiamiento y nivel de participación en los objetivos de desarrollo, los proyectos carreteros se clasifican de la siguiente manera.

CARRETERAS DE FUNCIÓN SOCIAL.-

En este tipo de proyectos se utiliza, para su evaluación el criterio del beneficio para la colectividad. Deben considerarse los costos por habitante servido, así como los elementos de carácter social que se logra, como, asistencia médica, educación, cultura, etc.

La información que se requiere para evaluar las carreteras en función social consiste en el número de habitantes potencialmente beneficiados, localizados en la zona de influencia del proyecto. Entendamos como zona de influencia aquella área geográfica, económica y social afectada y beneficiada directa o indirectamente por la construcción del camino.

CARRETERAS DE PENETRACIÓN ECONOMICA.-

El criterio a utilizar en la evaluación de los proyectos de carreteras de penetración económica puede evaluarse bajo la perspectiva de desarrollo económico. Tomando en cuenta los efectos del aprovechamiento actual y potencial para la zona de influencia.

El beneficio para el proyecto se obtiene de la cuantificación de la producción obtenida y su incremento debido a la carretera que se registra en la zona de estudio; pueden también incorporarse en cierta medida el beneficio obtenido para la sociedad local en términos de aumento de ingresos por habitante.



Es recomendable para recabar la información necesaria, que el encargado del estudio reciba la colaboración de un experto en el rubro agrícola, que conozca los recursos que se van a obtener, para esto debe limitarse la zona de influencia, clasificar el suelo según su uso y aprovechamiento, conocer la producción agrícola y ganadera actual, superficie agrícola aprovechable, costos de transporte, ingresos por habitante, salario mínimo, longitud y costo del proyecto.

CARRETERAS NUEVAS O MEJORADAS.-

Se evalúan mediante el criterio de rentabilidad económica. Se tienen como principales efectos los ahorros en costos de operación, disminución del tiempo de recorrido, aumento de la velocidad de operación. De la misma manera, una ruta alterna más corta o el mejoramiento en las especificaciones para abatir el tiempo de recorrido.

2.3.- MÉTODO DE ANÁLISIS PARA LA DETERMINACIÓN DE ZONAS VITALES

El método de planeación adoptado para cada una de las sub-zonas, combina un sub-procedimiento analítico con otro gráfico. El primero, un estudio socio-económico, tuvo como finalidad descubrir y valorar las características de población, el grado de aprovechamiento de los recursos naturales, el rendimiento obtenido de las diferentes actividades productivas y los niveles de consumo; en resumen, la investigación ha tenido por objeto mediante la comparación de ciertos coeficientes, encontrar las categorías de cada zona, según la mayor o menor actividad humana que realicen, para después asignarles prioridades en la construcción de caminos.

En cuanto a población se refiere, fue necesario conocer sus tendencias generales de crecimiento, su distribución en núcleos urbanos, suburbanos o rurales, su estructura ocupacional y su repartición sobre la superficie considerada;

El cuadro total así obtenido se completa tratando los aspectos sanitarios- asistenciales, mortalidad por enfermedades endémicas, alfabetización, educación y características habitacionales.

El análisis económico por otra parte, comprendió los factores principales de la producción, la distribución y el consumo, a saber:

AGRICULTURA.- Monto de la producción; rendimiento de cada cultivo por hectárea y por trabajador agrícola; índice de productividad o eficiencia de la tierra; irrigación; problemas edafológicos;



superficie cosechada y superficie susceptible de abrirse al cultivo; mercado interno y externo de productos agrícolas; tendencia de la tierra; problemas, deficiencias y posibilidades.

GANADERÍA.- Valor de la producción; tipo de explotación pecuaria, calidad y cantidad de los ganados; abundancia, escasez y clase de pastos; posibilidades para formar una industria ganadera integral; tamaño de la propiedad; el mercado de carne; rendimientos obtenidos y productividad del ganado; problemas y perspectivas.

SILVICULTURA.- Valor de la producción forestal; especies explotadas; aprovechamiento eficiente de los bosques; mercados y medios de transporte; posibilidades de la industria de la transformación; conveniencia y rendimiento de la explotación actual; problemas y perspectivas.

PESCA.- Valor de la producción; cálculo de los recursos marinos; rendimientos actuales en función de los procedimientos aplicados; perspectivas para la industrialización de los productos pesqueros; problemas y posibilidades.

MINERÍA.- Valor de la producción; principales minerales objeto de explotación; el problema de sus mercados; yacimientos minerales; transportes, posibilidades de establecer empresas que transformen ciertos minerales en manufacturas metálicas; problemas y perspectivas.

INDUSTRIA DE LA TRANSFORMACIÓN.- Valor de producción; industrias existentes; facilidades para una conveniente localización; eficiencia y rendimiento de las industrias establecidas; mercado y transportes; problemas y perspectivas.

ACTIVIDADES COMERCIALES.- Estado actual y posibilidades de desenvolvimiento.

CRÉDITO Y HACIENDA.- Difusiones y alcances; crédito de las diversas ramas de la producción, crédito refaccionario agrícola y ganadero; crédito de habilitación y avío; el seguro agrícola; recursos de la hacienda municipal; impuestos; posibilidades y perspectivas.

COMUNICACIONES Y TRANSPORTES.- Estado actual; número de vehículos; líneas establecidas; posibilidades y perspectivas. Posible tránsito inducido y generado.

El procedimiento analítico hasta aquí descrito se complementa con el sistema gráfico, que se lleva a cabo al mismo tiempo y utilizando los mismos datos estadísticos; este último consiste en plasmar y localizar sobre mapas geográficos regionales, la realidad económica y social.

El tránsito inducido se obtiene del análisis de origen y destino de caminos existentes, y el generado se obtiene del desarrollo probable de la región al hacerse la vía.



ZONAS VITALES.- Considerando en conjunto todos los factores hasta aquí someramente expuestos, que se reducen al análisis de la población, recursos, producción y consumo, se llega al conocimiento de zonas vitales, como aquellas que soportan una gran actividad humana y económica.

2.4.- ECONOMÍA DE CAMINOS.

Los gobiernos dedican los fondos públicos al mejoramiento de carreteras porque estas benefician a la sociedad, ya sea a toda o bien una parte. Los buenos sistemas de transporte elevan el nivel de toda la economía proporcionando un transporte expedito de las mercancías; ayudan en mucho a los problemas de la defensa nacional, hacen más sencillas la prestación de servicios comunales tales como la policía y la protección contra incendios, las atenciones medicas, los servicios escolares y la entrega de correo; abren mayores oportunidades para la diversión y el recreo.

Las carreteras benefician al terrateniente debido a que un sencillo acceso hace a su propiedad más valiosa. Por otra parte el mejoramiento de las carreteras absorbe dinero que podría ser utilizado para otros propósitos productivos por los individuos o por el gobierno. Pueden ser justificadas solamente si en resumen, las consecuencias son favorables; esto es, si las reducciones de costos a los usuarios de carreteras y a otros beneficiarios del mejoramiento exceden los costos, incluyendo cierto margen para la recuperación del dinero invertido.

La economía de carreteras estuvo bajo discusión hace más de un siglo. El profesor de ingeniería civil W. M. Gillespie estableció que "Un gasto mínimo es, por supuesto, deseado" pero la carretera que es realmente la más económica, no es la que ha costado menos, sino la que proporciona mayores beneficios en razón del dinero que se invirtió para hacerla".

MARCO PARA LOS ESTUDIOS ECONOMICOS EN CARRETERAS.

Los estudios económicos se relacionan con la predicción de los hechos futuros; esto es, las consecuencias monetarias anticipadas de diferentes cursos de acción. Tratándose de individuos aislados o de negocios, el punto de vista es reducido, el objeto del estudio es determinar únicamente los más ventajosos cursos de acción desde el punto de vista de los individuos o de los negocios. Sin embargo, en el campo de los trabajos públicos, el acceso debe ser amplio e incluir todo; debe Evaluar las consecuencias para todos los que sean afectados en las mejoras propuestas.



La ley de control de avenidas de 1936, que estipulo que los beneficios, sin importar quién o quienes sean los afectados, deberán exceder los costos, expresa este punto de vista. Los estudios económicos para carreteras deben considerar por igual las consecuencias no solo para las agencias carreteras y usuarios de estas, sino también para todos los ciudadanos.

COSTOS DE CARRETERAS.

Elementos de costo.

El primer costo total en la mejora de un tramo de carretera incluye los gastos de diseño y de ingeniería, los gastos para adquirir los derechos de vía y los costos de construcción del camino, estructuras y pavimentos. La selección de los tipos de costos que se incluyen o se excluyen de los estudios económicos requiere un análisis directo y cuidadoso. Un tratado detallado no es posible presentarlo en esta tesis. Sin embargo cuatro de las consideraciones más importantes son las siguientes:

1.- En general, los costos fijos, usados para fines de contabilidad, deberían ser omitidos de los estudios económicos. Para ilustrar, un porcentaje determinado se puede añadir a los costos estimados para administración, planeación y cargos de ingeniería. Probablemente se incurrirá en estos costos dependiendo de que un proyecto específico se emprenda o no; si es así, no son pertinentes en comparación de los posibles cursos de acción. De otro modo, solo los costos añadidos o incrementados son aplicables.

2.- Los gastos hechos antes del estudio económico no deben ser considerados. Estos son llamados costos con pérdidas o rebajados, en los cuales no podrá haber recuperación debida a una acción presente o futura. Por ejemplo, la base y pavimento de una carretera puede estar en buena condición y tener un "valor en libros" sustancial en los registros de la agencia carretera. Sin embargo, por alguna alternativa propuesta se abandona el camino, sería un error cargar un valor por esto contra cualquier alternativa en el estudio económico.

3.- Todos los costos aplicables deben de ser incluidos y todos los cargos inapropiados excluidos. En este caso, los costos traspasados pueden causar problemas. Por ejemplo, en que uno de los planos propuestos para un arreglo de carretera requiera una compañía particular para hacer sus instalaciones por cuenta propia. Para un presupuesto fijo, este costo no se puede cargar contra el



proyecto. Sin embargo, desde un estudio económico de trabajos públicos, si puede ser cargado: los recursos económicos se consumen, aunque sean pagados por fondos privados.

4.- En cierto tipo de estudio económico es propio hacer un abono por el valor de rescate de una maquina o estructura al final de su vida útil estimada. Como regla general, el valor de rescate debería ser ignorado por los estudios económicos para carreteras. Es conjetural, en el mejor de los casos, suponer que la inversión en una carretera tendrá un gran valor, en un futuro de 20 o 30 años. Una excepción podría ser el asignar valor de rescate al terreno ocupado por el camino. Aun en esa situación, solo el valor bruto del terreno en su futuro uso determinado, después de deducir el costo de convertirlo en dicho uso, se incluirá. Otros costos asociados por la adquisición del terreno en primer lugar, tales como gastos legales y el costo de limpia de edificios, no podrán ser recuperados y no serán parte del valor de rescate.



CAPITULO 3.- PROYECTO GEOMÉTRICO.

3.1. - ALINEAMIENTO Y PUNTOS OBLIGADOS.

En la construcción de un camino se trata siempre de que la línea quede alojada en terreno plano la mayor extensión posible, pero siempre conservándola dentro de la ruta general. Esto no es siempre posible debido a la topografía de los terrenos, ya que cuando llegamos al pie de una cuesta la pendiente es mayor que la máxima permitida para ese camino y es necesario entonces desarrollar otra ruta. Y debido a estos cambios y a la búsqueda de pasos adecuados los caminos resultan de mayor longitud de la marcada en la línea recta entre dos puntos. Sin embargo, debe tratarse siempre, hasta donde ello sea posible, que el alineamiento entre dos puntos obligados sea lo más recto que se pueda de acuerdo con la topografía de la región y de acuerdo también con el tránsito actual y el futuro del camino a efecto de que las mejoras que posteriormente se lleven a cabo en el alineamiento no sean causa de una pérdida fuerte al tener que abandonar tramos del camino en el cual se haya invertido mucho dinero. Es decir, que hay que tener visión del futuro con respecto al camino para evitar fracasos económicos posteriores, pero hay que tener presente también que tramos rectos de más de diez kilómetros producen fatiga a la vista y una hipnosis en el conductor que puede ser causa de accidentes. También hay que hacer notar que en el proyecto moderno de las carreteras deben evitarse, hasta donde sea económicamente posible, el paso por alguna de las calles de los centros de población siendo preferible construir libramientos a dichos núcleos.

En base al reconocimiento se localizan puntos obligados principales y puntos obligados intermedios, cuando el tipo de terreno no tiene problemas topográficos únicamente se ubicarán estos puntos de acuerdo con las características geológicas o hidrológicas y el beneficio o economía del lugar, en caso contrario se requiere de una localización que permita establecer pendientes dentro de los lineamientos o especificaciones técnicas.



3.2. - VELOCIDADES DE PROYECTO.

VELOCIDAD.

Se define la velocidad como la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda en recorrerlo, o sea, una relación de movimiento que queda expresada, para velocidad constante, por la formula: $V = d/t$.

Como la velocidad que desarrolla un vehículo queda afectada por sus propias características, por las características del conductor y de la vía, por el volumen de tránsito y por las condiciones atmosféricas imperantes, quiere decir que la velocidad a la que se mueve un vehículo varía constantemente, causa que obliga a trabajar con valores medios de velocidad.

Una velocidad que es de suma importancia es la llamada *Velocidad de Proyecto o Velocidad Directriz que no es otra cosa que aquella velocidad que ha sido escogida para gobernar y correlacionar las características y el proyecto geométrico de un camino en su aspecto operacional*. La velocidad de proyecto es un factor de primordial importancia ya que determina totalmente el costo del camino y es por ello por lo que debe limitarse para obtener costos bajos. Todos los elementos del proyecto de un camino deben calcularse en función de la velocidad de proyecto. Al hacer esto, se tendrá un todo armónico que no ofrecerá sorpresas al conductor. Las velocidades de proyecto recomendadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (S.C.T.) son las siguientes:

VELOCIDADES DE PROYECTO RECOMENDABLES				
TOPOGRAFÍA				
TIPO DE CAMINO	Plana o con poco lomerío	Con lomerío fuerte	Montañosa, pero Poco escarpada	Montañosa, pero Muy escarpada
Tipo especial	110 km/h	110 km/h	80 km/h	80 km/h
Tipo A	70 km/h	60 km/h	50 km/h	40 km/h
Tipo B	60 km/h	50 km/h	40 km/h	35 km/h
Tipo C	50 km/h	40 km/h	30 km/h	25 km/h

FUENTE: Normas de servicios técnicos, PROYECTO GEOMETRICO, (SCT).



3.3. - RECONOCIMIENTO TOPOGRÁFICO.

Antes de iniciar propiamente los estudios topográficos se requiere de un reconocimiento preliminar en el cual, primero se hará una entrevista o reunión con los beneficiarios para recoger datos de gran utilidad en el proyecto como lo relativo a afectaciones, características de ríos, nombre de lugares intermedios, localización de zonas bajas o inundables, niveles de agua en crecientes y si es posible que alguna de esas personas auxiliara como guía en el reconocimiento técnico del camino.

Una vez hecho esto se procederá a hacer un reconocimiento directo del camino para determinar en general las características:

- Geológicas
- Hidrológicas
- Topográficas y complementarias

Así se verá el tipo de suelo en el que se construirá el camino, su composición y características generales, ubicación de bancos para revestimientos y agregados para las obras de drenaje, cruces apropiados para el camino sobre ríos o arroyos, existencia de escurrimientos superficiales o subterráneos que afloran a la superficie y que afecten el camino, tipo de vegetación y densidad, así como pendientes aproximadas y ruta a seguir en el terreno.

Este reconocimiento requiere del tiempo que sea necesario para conocer las características del terreno donde se construirá el camino, y para llevarlo a cabo se utilizan instrumentos sencillos de medición como brújulas para determinar rumbos, clisímetro para determinar pendientes, odómetro de vehículos y otros instrumentos sencillos.

A través del reconocimiento se determinan puertos topográficos que son puntos obligados de acuerdo a la topografía y puertos determinados por lugares obligados de paso, ya sea por beneficio social, político o de producción de bienes y servicios.

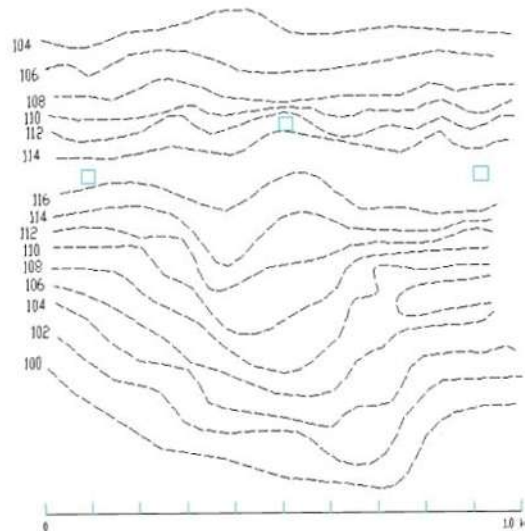
Con todos los datos recabados, resaltando los más importantes, se establecerá una ruta tentativa para el proyecto.

Existen procedimientos modernos para el reconocimiento como el fotogramétrico electrónico, pero resulta demasiado costoso, muchas veces para el presupuesto que puede tener un camino, también es importante decir que el tipo de vegetación y clima de algunas regiones no permite usar este



procedimiento por lo que se tiene que recurrir al reconocimiento directo que se puede auxiliar por cartas topográficas.

Reconocimiento topográfico.



3.4. - TRAZO PRELIMINAR.

Cuando se tienen localizados los puntos obligados se procede a ligar estos mediante un procedimiento que requiere:

1. El trazo de una poligonal de apoyo lo más apegada posible a los puntos establecidos, con orientación astronómica, PI'S referenciados y deflexiones marcadas con exactitud ya que será la base del trazo definitivo.
2. La poligonal de apoyo es una poligonal abierta a partir de un vértice o punto de inicio clavando estacas a cada 20 metros, y lugares intermedios hasta llegar al vértice siguiente. Para la ubicación de estos se utiliza el clisímetro o el círculo vertical del tránsito, empleando la pendiente deseada.

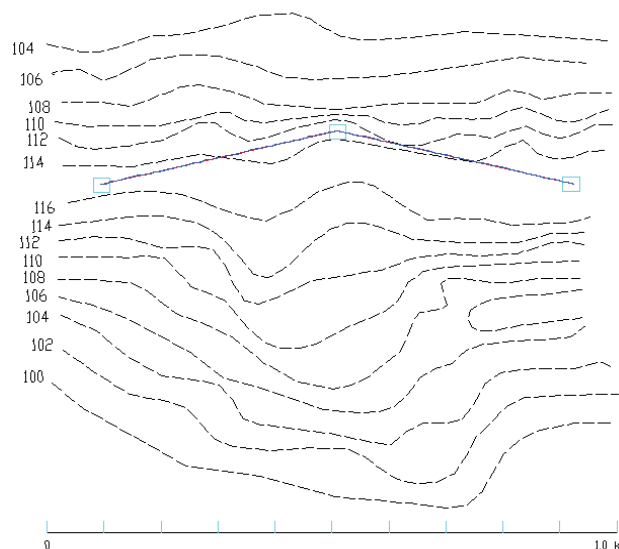


3. La pendiente será cuatro unidades debajo de la máxima especificada donde sea posible para que al trabajador en gabinete tenga más posibilidades de proyectar la Subrasante, incrementando la pendiente a la máxima si es necesario para economizar volúmenes.
4. Nivelación de la poligonal, generalmente a cada 20 metros, que será útil para definir cotas de curvas de nivel cerradas a cada 2 metros.
5. Obtención de curvas de nivel en una franja de 80 o 100 metros. En cada lado del eje del camino a cada 20 metros o estaciones intermedias importantes.
6. Dibujo de trazo y curvas de nivel con detalles relevantes como cruces, construcciones, fallas geológicas visibles, etc.

Como el dibujo del trazo y las curvas de nivel se puede proyectar en planta la línea teórica del camino a pelo de tierra, para proyectarla se utiliza un compás con una abertura calculada según la pendiente con que se quiere proyectar.

La separación de curvas de nivel dividida entre la pendiente a proyectar, es la abertura del compás con la cual se ubicaran los puntos de la línea a pelo de tierra utilizando la misma escala del plano.

Línea tentativa





3.5. - LINEA DEFINITIVA.

El proyecto definitivo del trazo se establecerá sobre el dibujo del trazo preliminar, por medio de tangentes unidas entre sí, a través de sus PI'S o puntos de intersección que se utilizaran para ligar las tangentes a través de curvas horizontales; cuanto más prolongadas se tracen las tangentes se obtendrá mejor alineamiento horizontal con la consecuencia que marcarlas prolongadas implica un mayor movimiento de volúmenes, por lo que se intentara ir compensando esta línea del lado izquierdo y derecho donde sea posible y cargar la línea hacia el lado firme donde se presenten secciones transversales fuertes cada vez que en el plano la línea de proyecto cruce la línea preliminar, se marcara este punto L y su cadenamiento, y con transportador se determina el ángulo X de cruce. En el caso de que no se crucen estas líneas, se medirá cada 500 metros o cada 1000 metros, la distancia que separa a una y otra para determinar los puntos de liga con los que iniciara el trazo definitivo en el campo.

Cuando se encuentra dibujado en planta el trazo definitivo, podemos antes de trazarlo en el campo dibujar un perfil deducido, de acuerdo con los datos que tenemos de la poligonal de apoyo y las curvas de nivel.

El procedimiento para dibujarlo es diferente al que se utiliza con un perfil normal ya que a cada estación ubicada en la línea teórica del camino se le asigna la elevación de la curva de nivel en este punto. Con este perfil tenemos una idea más clara de cómo se compensaran los volúmenes según el trazo propuesto e inclusive tener unas secciones deducidas para suponer un volumen.

Una vez dibujado el trazo definitivo se procede a trazar en el campo para corregir algún error o mejorar lo proyectado.

El tener trazada la línea en el terreno requiere del uso de referencias en los PI, PC, PT, y PST, para poder ubicarlos nuevamente cuando por alguna circunstancia se pierden los trompos o estacas que indican su localización, ya sea por un retraso o construcción del camino.

Para referenciar un punto se emplea ángulos y distancias medidas con exactitud, procurando que las referencias queden fuera del derecho de vía.

Se dejaran referenciados los puntos que definen el trazo como PI, PC, PT y PST, que no disten entre sí más de 500 metros.

Los ángulos se medirán en cuadrantes, tomando como origen el eje del camino y en los PI'S el origen será la tangente del lado de atrás y la numeración de los puntos de referencia se hará en el sentido de



las manecillas del reloj de adentro hacia fuera y comenzando adelante y a la derecha del camino, cuando menos se tendrán dos visuales con dos P. R. Cada una, como visuales podrán emplearse árboles notables, aristas de edificios, postes fijos, etc. en caso de no encontrar ninguno de estos se colocaran trompos con tachuela en cada punto y junto una estaca con el numero de referencia del punto y su distancia al eje del camino.

Una vez que se ha ubicado el trazo preliminar en los planos topográficos, y también así decidido el tipo de camino que será necesario construir, es necesario definir algunas de las características importantes de la carretera como lo son, Velocidad de proyecto, Grado máximo de curvatura, Longitudes, Sobre elevación, y muchas otras de gran importancia.

Es necesario revisar que en todo momento la pendiente de nuestro trazo definitivo nunca sea mayor que la pendiente máxima permitida.

Con la siguiente tabla de clasificación y características realizada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, es fácil ubicar todas y cada una de estas características.

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 3000			Mas de 3000		
TERRENO	Montañoso	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Lomerío	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Plano	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Velocidad de proyecto			Km/hr	30	40	60	70	80	100	120	150	200	100	120	150	200	250	300
Distancia de visibilidad de parada			m	30	40	55	75	95	125	155	205	275	100	125	155	205	275	345
Distancia de visibilidad de rebase			m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Grado máximo de curvatura			°	60	50	40	30	20	15	10	8	6	5	4	3	2	1	0
CURVAS VERTICALES	K	Cresta	m / %	4	7	12	23	36	50	70	100	140	180	230	290	360	450	550
		Cóncavo	m / %	4	7	12	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
		Longitud mínima	m	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
Pendiente gobernadora			%	9	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6
Pendiente máxima			%	13	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3
Longitud crítica			m	Ver tabla long. crítica			Ver tabla long. crítica			Ver tabla long. crítica			Ver tabla long. crítica			Ver tabla long. crítica		
Ancho de calzada			m	4.0			6.0			6.0			7.0			7.0		
Ancho de corona			m	4.0			6.0			6.0			7.0			7.0		
Ancho de acotamientos			m	-			-			0.5			1.0			1.0		
Ancho de faja separadora central			m	-			-			-			-			-		
Bombeo			%	3			3			2			2			2		
Sobreelevación máxima			%	10			10			10			10			10		
Sobre elevaciones para grados menores al máximo			%	-			-			-			-			-		
Ampliaciones y longitudes mínimas de transiciones			m	Ver tabla			Ver tabla			Ver tabla			Ver tabla			Ver tabla		

CLASIFICACION Y CARACTERÍSTICAS DE LAS CARRETERAS

FUENTE: Normas de servicios técnicos, PROYECTO GEOMETRICO, (SGT).

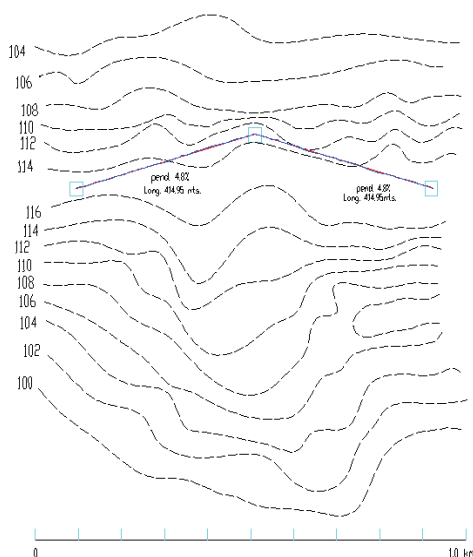


Para poder explicar con más facilidad algunos de los puntos mencionados en esta tesis, se ejemplificara durante las siguientes páginas algunos de las soluciones posibles.

Se ha elegido un camino tipo "C" para la realización de algunos ejemplos, con las siguientes características de carretera.

- TDPA de 500 a 1500 unidades
- Tipo de terreno: plano
- Velocidad de proyecto de 70 km/h
- Distancia de visibilidad de parada de 95 mts
- Distancia de visibilidad de rebase de 315 mts
- Grado máximo de curvatura de 7.5
- Porcentaje de pendiente en curvas verticales en cresta de 20
- Porcentaje de pendiente en curvas verticales en columpio de 20
- Longitud mínima en curvas verticales de 40 mts
- Pendiente gobernadora de 5%
- Pendiente máxima de 7%

Línea definitiva

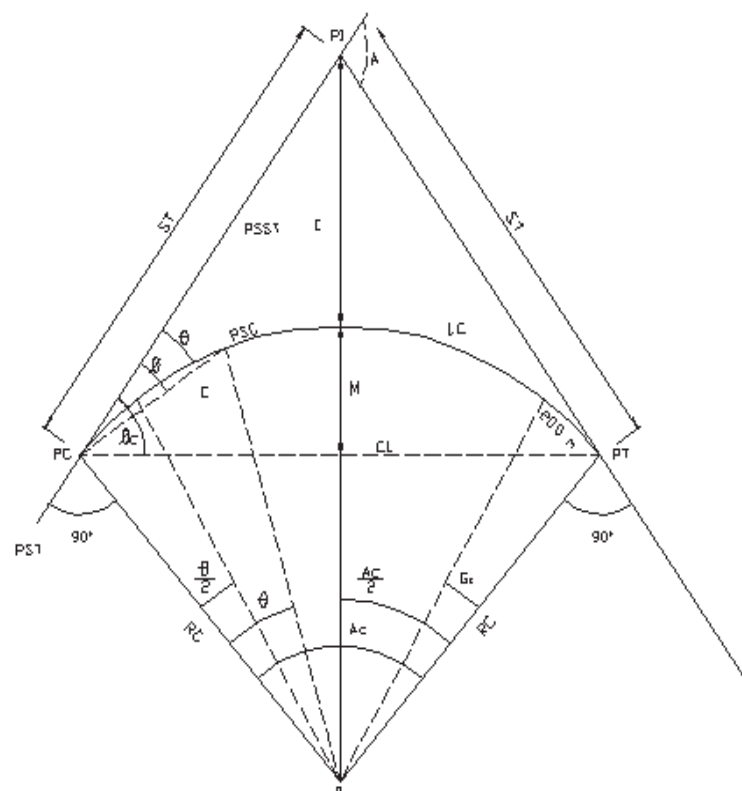




3.6. - TRAZO DE CURVAS HORIZONTALES.

Como la liga entre una y otra tangente requiere el empleo de curvas horizontales, es necesario estudiar el procedimiento para su realización, estas se calculan y se proyectan según las especificaciones del camino y requerimientos de la topografía.

ELEMENTOS DE CURVA CIRCULAR





PI	Punto de intersección de la prolongación de las tangentes	Ø	Angulo a una cuerda cualquiera
PC	Punto donde comienza la curva circular simple	Øc	Angulo de la cuerda larga
PT	Punto en donde termina la curva circular simple	Gc	Grado de curvatura de la curva circular
PST	Punto sobre tangente	Rc	Radio de la curva circular
PSST	Punto sobre subtangente	ST	Subtangente
PSC	Punto sobre la curva circular	E	Externa
O	Centro de la curva circular	M	Ordenada media
A	Angulo de deflexión de la tangente	C	Cuerda
Ac	Angulo central de la curva circular	CL	Cuerda larga
θ	Angulo de deflexión a un PSC	t	Longitud de un arco
		Lc	Longitud de la curva circular

$$Rc = \frac{114592}{Gc}$$

$$C = \frac{2 Rc \text{ Sen } \theta}{2}$$

$$ST = Rc \text{ tang. } \frac{Ac}{2}$$

$$CL = 2 Rc \text{ Sen. } \frac{Ac}{2}$$

$$E = \frac{Rc (\secante Ac - 1)}{2}$$

$$t = \frac{200}{Gc}$$

Las normas de servicios técnicos de la **SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México)**, en sección de *proyecto geométrico de carreteras*, indica las siguientes normas de cálculo para las curvas horizontales:

Tangentes.- las tangentes horizontales estarán definidas por su longitud y su azimut

a.- Longitud mínima

1. Entre dos curvas circulares inversas con transición mixta deberá ser igual a la semisuma de las longitudes de dichas transiciones
2. Entre dos curvas circulares inversas con espirales de transición, podrá ser igual a cero
3. Entre dos curvas circulares inversas cuando una de ellas tiene espiral de transición y la otra tiene transición mixta, deberá ser igual a la mitad de la longitud de la transición mixta.
4. Entre dos curvas circulares del mismo sentido, la longitud mínima de tangente no tiene valor especificado.

b.- Longitud máxima.- la longitud máxima de tangentes no tiene límite especificado.

c.- Azimut.- el azimut definirá la dirección de las tangentes.

Curvas circulares.- las curvas circulares del alineamiento horizontal estarán definidas por su grado de curvatura y por su longitud, los elementos que la caracterizan están Definidos en la figura anterior.



a.- Grado máximo de curvatura.- el valor máximo del grado de curvatura correspondiente a cada velocidad de proyecto, estará dado por la expresión:

$$G_{\max} = 146000 \frac{\mu + S_{\max}}{V^2}$$

En donde:

$G_{\max}$ = Grado máximo de curvatura

μ = Coeficiente de fricción lateral

$S_{\max}$ = Sobre elevación máxima de la curva en m/m

V = Velocidad de proyecto en Km/h

En la siguiente tabla se indican los valores máximos de curvatura para cada velocidad de proyecto.

Velocidad de proyecto Km/h	Coeficiente de fricción lateral	Sobre elevación máxima m/m	Grado máximo de curvatura calculado grados	Grado máximo de curvatura para proyecto Grados
30	0.280	0.10	61.6444	60
40	0.230	0.10	30.1125	30
50	0.190	0.10	16.9360	17
60	0.165	0.10	10.7472	11
70	0.150	0.10	7.4489	7.5
80	0.140	0.10	5.4750	5.5
90	0.135	0.10	4.2358	4.25
100	0.130	0.10	3.3580	3.25
110	0.125	0.10	2.7149	2.75

FUENTE: Normas de servicios técnicos, PROYECTO GEOMETRICO, (SCT).

**b.- Longitud mínima:**

La longitud mínima de una curva circular con transiciones mixtas deberá ser igual a la semisuma de las longitudes de esas transiciones.

La longitud mínima de una curva circular con espirales de transición podrá ser igual a cero.

c.- Longitud máxima.- la longitud máxima de una curva circular no tendrá límite especificado.

Curvas espirales de transición.- Las curvas espirales de transición se utilizan para unir las Tangentes con las curvas circulares formando una curva Compuesta por una transición de entrada, una curva circular Central y una transición de salida de longitud igual a la de entrada.

a.- Para efectuar las transiciones se empleara la clotoide o espiral de Euler, cuya expresión es:

$$R_c L_e = K^2$$

En donde:

R_c = Radio de la curva circular en metros

L_e = Longitud de la espiral de transición en metros

K = Parámetros de la espiral en mts.

b.- La longitud mínima de la espiral para carreteras tipo A de dos carriles y de cuatro carriles en cuerpos separados, B y C, estará dada por la expresión:

$$L_{e \text{ min}} = 8VS$$

En donde:

$L_{e \text{ min}}$ = Longitud mínima de la espiral en metros

V = Velocidad de proyecto en Km/h

S = Sobre elevación de la curva circular en m/m



Para carreteras tipo A de cuatro carriles en un solo cuerpo, la longitud mínima de la espiral calculada con esta fórmula deberá multiplicarse por uno punto siete (1.7)

C.- Las curvas espirales de transición se utilizarán exclusivamente para carreteras tipo A, B y C, y solo cuando la sobre elevación de las curvas circulares sea de siete por ciento (7%) o mayor.

Visibilidad.- Toda curva horizontal deberá satisfacer la distancia de visibilidad de parada para una velocidad de proyecto y una curvatura dada, para ello cuando exista un obstáculo en el lado interior de la curva, la distancia mínima "m" que debe haber entre él y el eje del carril interior de la curva estarán dadas por la expresión y la grafica que mencionaremos más adelante.

Distancia de visibilidad de parada.- La distancia de visibilidad de parada se obtiene con la expresión:

$$D_p = \underline{Vt} = \frac{V^2}{254 f}$$

Donde:

D_p = Distancia de visibilidad de parada en metros

V = Velocidad de marcha, en Km/h

t = Tiempo de reacción, en segundos

f = Coeficiente de fricción longitudinal



En la siguiente tabla se muestran los valores para proyecto de la distancia de visibilidad de parada que corresponden a velocidades de proyecto de 30 a 110 Km/h.

Velocidad de proyecto Km/h	Velocidad de marcha Km/h	Reacción		Coeficiente de fricción longitudinal	Distancia de frenado m	Distancia de visibilidad	
		Tiempo seg.	Distancia mts			Calculada m	Para proyecto m
30	28	2.5	19.44	0.400	7.72	27.16	30
40	37	2.5	25.69	0.380	14.18	39.87	40
50	46	2.5	31.94	0.360	23.14	55.08	55
60	55	2.5	38.19	0.340	35.03	73.22	75
70	63	2.5	43.75	0.325	48.08	91.83	95
80	71	2.5	49.30	0.310	64.02	113.32	115
90	79	2.5	54.86	0.305	80.56	135.42	135
100	86	2.5	59.72	0.300	97.06	156.78	155
110	92	2.5	63.89	0.295	112.96	176.85	175

FUENTE: Normas de servicios técnicos, PROYECTO GEOMETRICO, (SCT).

Distancia de visibilidad de rebase.- La distancia de visibilidad de rebase se obtiene con la expresión

$$D_r = 4.5 v$$

Donde:

D_r = distancia de visibilidad de rebase, en metros

V = velocidad de proyecto, en km/h



Los valores para proyecto de la distancia de visibilidad de rebase se indican en la tabla de clasificación y características de las carreteras.

Distancia de visibilidad de encuentro.- La distancia de visibilidad de encuentro se obtiene con la expresión:

$$D_e = 2 D_p$$

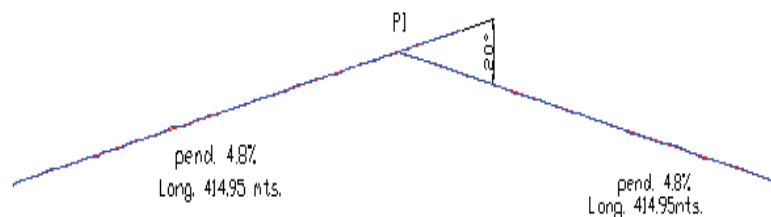
En donde:

D_e = Distancia de visibilidad de encuentro, en metros

D_p = Distancia de visibilidad de parada, en metros

Trazo de curva horizontal:

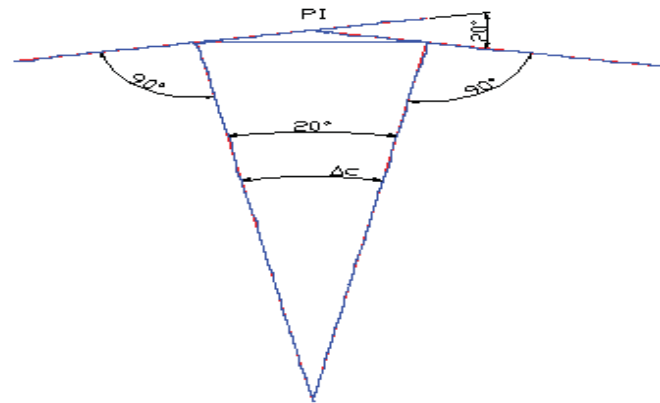
Como se ha visto en nuestro trazo definitivo, tenemos que calcular una curva circular simple, con los datos obtenidos de la tabla de clasificación y tipos de carretera, procederemos al cálculo de la curva.



Para el cálculo de una curva horizontal es necesario el trazo de las tangentes a la curva y determinar el **ángulo de deflexión de la tangente (D)**, que en este caso es de 20° , es necesario también el valor del **grado de curvatura de la curva circular (Gc)**, que en este caso es propuesto de 10° , el grado de curvatura de la curva circular se propone cuidando que el punto donde comienza la curva y el punto donde termina la curva no se traslape con ninguna otra curva existente, así también cuidando que no sobrepase el grado máximo de curvatura de acuerdo a la tabla de clasificación y tipos de carretera.

$$R_c = \frac{114592}{G_c} = (1145.92) / (1 / G_c) = (1145.92) / (1 / 10) = 114.592 \text{ mts.}$$

Para la obtención del ángulo central de la curva circular, es necesario trazar dos líneas perpendiculares a las tangentes que se unan en un punto, de las cuales se podrá obtener D_c , que en este caso es de 20° .



$$ST = R_c \cdot (\text{Tang}..(\Delta c/2)) = (114.592) \text{Tan}..(20/2) = 20.21 \text{ mts}$$

$$E = (R_c \sec..(\Delta c/2) - 1) = (114.592) \sec..(20/2) - 1 = (114.592) \left(\frac{1}{\cos 10} \right) - 1 = 1.767 \text{ mts}$$

$$L_c = \frac{(20)(\Delta c)}{G_c} = \frac{(20)(20)}{10} = 40.0 \text{ mts}$$

$$CL = 2(R_c \text{sen} \Delta c/2) = 2(114.592) \text{sen}(20/2) = 39.79 \text{ mts}$$

$$Pc = PI - ST = 414.95 - 20.21 = 394.74 \text{ mts}$$

$$PT = Pc + L_c = 394.74 + 40 = 434.74$$

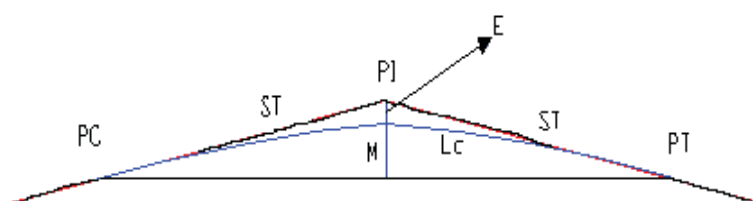
$$\text{Deflexion./ metro.} (\text{grados}) = \frac{\Delta}{2} \frac{1}{L_c} = \frac{20}{2} \frac{1}{40} = 0.25000..^\circ / \text{mts}$$

$$\text{Deflexion./ metro.} (\text{radianes}) = \frac{0.25000}{57.295835} = 0.0043633... \text{radianes} / \text{mts}$$



Cadenamiento	Metros de curva	Def/metro	° Deflexión (decimales)	Deflexión acumulada	° ' "
394.74					
400	5.26	0.25000	1.315	1.315	1°27'18"
420	20	0.25000	5.000	6.315	6°18'54"
434.18	14.18	0.25000	3.545	9.860	9°51'36"
434.18	0	0.25000	0.000	9.860	9°51'36"

Con los datos calculados es posible el trazo de la curva circular, como se muestra a continuación.



3.7. - NIVELACIÓN.

Así como se nivelo la línea preliminar, ahora con el trazo definitivo se deberá realizar una nivelación del perfil, obteniendo las elevaciones de las estaciones a cada 20 metros o aquellas donde se presenten detalles importantes como alturas variables intermedias, cruces de ríos, ubicación de canales, etc. los bancos de nivel se colocaran a cada 500 metros aproximadamente y se revisara lo ejecutado con nivelación diferencial ida y vuelta, doble punto de liga o doble altura del aparato.

En el registro de la nivelación se deben anotar las elevaciones de los bancos aproximadas al milímetro y las elevaciones de las estaciones aproximadas al centímetro.



3.8. - PERFIL DEDUCIDO.

El perfil del camino es una representación de la proyección vertical del eje del trazo, se dibuja en tramos de 5 kilómetros de longitud para facilitar el manejo de los planos.

La escala más comúnmente usada es 1: 200 vertical y 1: 2000 horizontal.

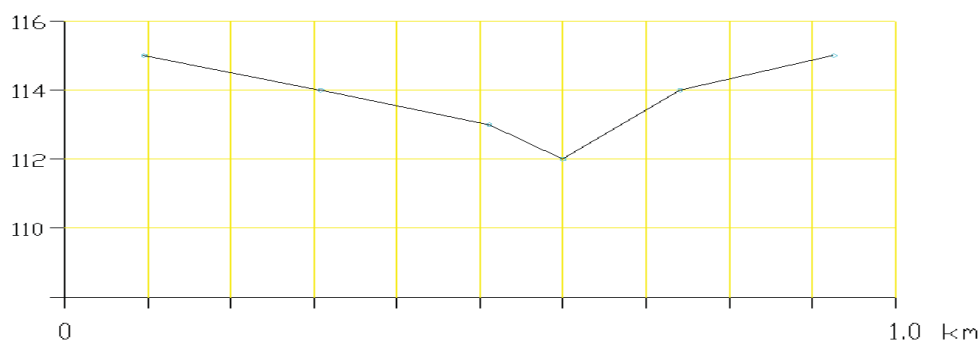
Se compone al igual que la planta y plano de secciones, de un cuadro de identificación, el dibujo y su texto.

Al inicio del plano se colocara un cuadro de identificación que incluirá datos generales, específicamente de proyecto y cantidades de obra.

El resto del contenido del plano será:

1. Cuadro de: a) cadenamiento, b) elevaciones de terreno, c) elevaciones de rasante, d) espesores de corte, e) espesores de terraplén, f) volúmenes de corte, g) volúmenes de terraplén, h) ordenadas de curva masa.
2. Perfil del terreno con: a) bancos de nivel, b) Subrasante con datos de curvas verticales y pendientes, c) obras de drenaje.
3. Curva masa con la misma escala horizontal del perfil y escala vertical 1: 20000, con: a) movimientos de tierra (sobre acarreos, prestamos, volúmenes de corte y terraplén compensados), b) igualdades de curva masa, c) clasificación de cortes.
4. Datos de alineamiento horizontal: a) datos de tangentes (orientación, ubicación de pst's), b) datos de curvas (puntos de inflexión, deflexiones, grados, radios, subtangente, longitudes de curva y estaciones de PC, PT y PSC).

Perfil deducido





3.9. - PROYECTO DE LA SUBRASANTE.

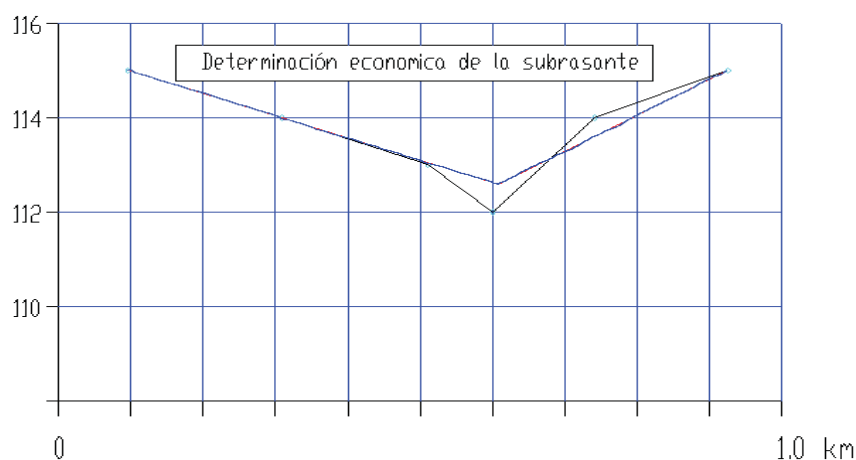
La Subrasante es una sucesión de líneas rectas que son las pendientes unidas mediante curvas verticales, intentando compensar los cortes con los terraplenes. Las pendientes se proyectan al décimo con excepción de aquellas en las que se fije anticipadamente una cota a un PI determinado.

Las pendientes ascendentes se marcan positivas y las descendentes con el signo inverso, teniendo en cuenta para su magnitud las especificaciones de pendiente, evitando el exceso de deflexiones verticales que demerita la seguridad y comodidad del camino o el exagerado uso de tangentes que resultaría antieconómico.

Las condiciones topográficas, geotécnicas, hidráulicas y el costo de las terracerías definen el proyecto de la Subrasante, por ello se requiere, el realizar varios ensayos para determinar la más conveniente. Una vez proyectada las tangentes verticales se procede a unir las mediante curvas parabólicas.

Determinación económica de la Subrasante.

Después del proyecto de la Subrasante, se calcula el espesor que es la diferencia entre la cota del terreno natural y la cota de proyecto. Con el espesor se dibujan las secciones de construcción para calcular su área y con esta los volúmenes de corte y terraplén iniciándose así el procedimiento de la determinación económica de la Subrasante que consiste establecer proporción para el proyecto del alineamiento vertical cuidando los costos y la calidad de los materiales según convenga al movimiento de terracerías.

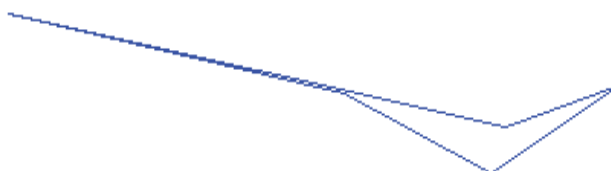




AREAS DE CORTE Y TERRAPLEN.

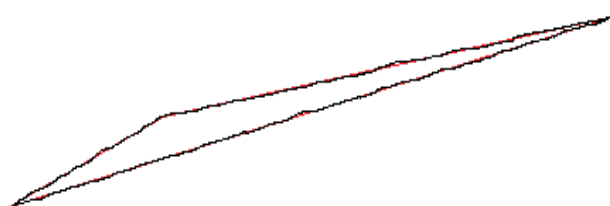
Las siguientes áreas de corte y terraplén, fueron arrojadas del cálculo de la Subrasante mas económica, este procedimiento puede ser sencillo si se dibuja el perfil y la Subrasante en el programa de auto cad, ya que solo es necesario cambiar de lugar la Subrasante y pedirle a la computadora que calcule áreas, esto para poder comparar las áreas de corte y terraplén hasta llegar al punto más económico.

AREA DE TERRAPLEN



$$\text{Área} = 2697.1719 \text{ mts}^2$$

AREA DE CORTE



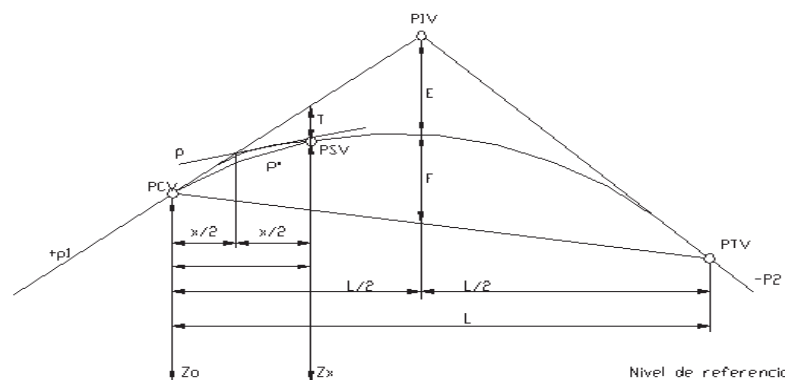
$$\text{Área} = 2568.1483 \text{ mts}^2$$



3.10. - TRAZO DE CURVAS VERTICALES.

Una curva vertical es un arco de parábola de eje vertical que une dos tangentes del alineamiento vertical; la curva vertical puede ser en columpio o en cresta, la **curva vertical en columpio** es una curva vertical cuya concavidad queda hacia abajo, y la **curva vertical en cresta** es aquella cuya concavidad queda hacia arriba.

ELEMENTOS DE CURVA VERTICAL.



PIV Punto de intersección de las tangentes verticales

PCV Punto en donde comienza la curva vertical

PTV Punto en donde termina la curva vertical

PSV Punto cualquiera sobre la curva vertical

p1 Pendiente de la tangente de entrada, en m/m

p2 Pendiente de la tangente de salida, en m/m

A Diferencia algebraica de pendientes

L Longitud de la curva vertical, en metros

K Variación de longitud por unidad de pendiente (parámetro)

x Distancia del PCV a un PSV, en metros

p Pendiente en un PSV, en m/m

p' Pendiente de una cuerda, en m/m

E Externa, en metros



F Flecha, en metros

T Desviación de un PSV a la tangente de entrada, en metros

Z₀ Elevación del PCV, en metros

Z_x Elevación de un PSV, en metros

Nota: Si X y L se expresan en estaciones de 20 m la elevación de un PSV puede calcularse con cualquiera de las expresiones:

$$Z_x = Z_0 + (20 p_1 - (10AX/L))X$$

$$Z_x = Z_x - l + 20 p_1 - (10A/L) (2X - l)$$

$$A = P_1 - (-P_2)$$

$$K = L / A$$

$$P = P_1 - A (X/L)$$

$$P' = \frac{1}{2} (P_1 + P)$$

$$E = (AL) / 8$$

$$F = E$$

$$T = 4E (X / L) ^2$$

$$Z_x = Z_0 + [P_1 - (AX/2L)] X$$

Las normas de servicios técnicos de la **Secretaría de Comunicaciones y Transportes**, en sección de *proyecto geométrico de carreteras*, indica las siguientes normas de cálculo para las curvas verticales:

Tangentes.- Las tangentes verticales estarán definidas por su pendiente y su longitud.

a.- Pendiente gobernadora.- Los valores máximos determinados para la pendiente gobernadora se indican en la siguiente tabla de valores máximos de las pendientes gobernadoras y de las pendientes máximas para los diferentes tipos de carreteras y terrenos.

b.- Pendiente máxima.- Los valores determinados para pendiente máxima se indican en la siguiente tabla de valores máximos de las pendientes gobernadoras y de las pendientes máximas para los diferentes tipos de carreteras y terrenos.



c.- Pendiente mínima.- La pendiente mínima en zonas de sección en corte y/o bacón no deberá ser menor del cero punto cinco por ciento (0.5%) y en zonas con sección de terraplén la pendiente podrá ser nula.

d.- Longitud crítica.- Los valores de la longitud crítica de las tangentes verticales con pendientes con pendientes mayores que la gobernadora, se obtendrán de la grafica de longitud crítica de tangentes verticales con pendiente mayor que la gobernadora.

Valores máximos de las pendientes gobernadoras y de las pendientes máximas

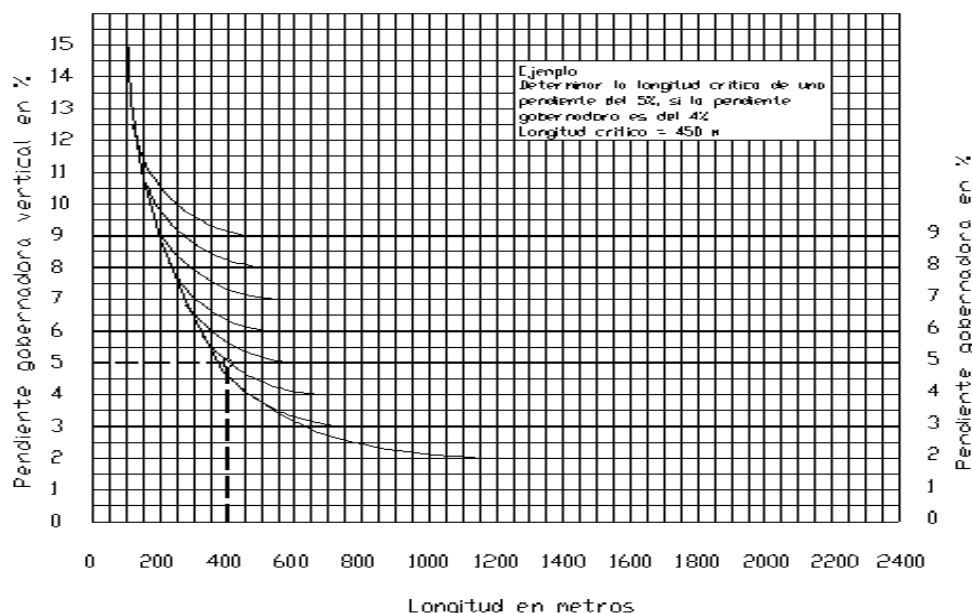
CARRETERA TIPO	PENDIENTE GOBERNADORA (%)			PENDIENTE MÁXIMA (%)		
	TIPO DE TERRENO			TIPO DE TERRENO		
	PLANO	LOMERIO	MONTAÑOSO	PLANO	LOMERIO	MONTAÑOSO
E	--	7	9	7	10	13
D	--	6	8	6	9	12
C	--	5	6	5	7	8
B	--	4	5	4	6	7
A	--	3	4	4	5	6

FUENTE: Normas de servicios técnicos, PROYECTO GEOMETRICO, (SCT).



LONGITUD CRÍTICA DE TANGENTES VERTICALES CON PENDIENTE MAYOR QUE LA GOBERNADORA

FUENTE: Normas de servicios técnicos, PROYECTO GEOMETRICO, (SCT).



Visibilidad

a.- Curvas verticales en cresta.- Para que las curvas verticales en cresta cumplan con la distancia de visibilidad necesaria su longitud deberá calcularse a partir del parámetro K, que se obtiene con la expresión:

$$K = \frac{D^2}{2(H^{1/2} + h^{1/2})^2}$$

Donde:

D = distancia de visibilidad, en metros

H = altura al ojo del conductor (1.14m)

h = altura del objeto (0.15 m)



b.- Curvas verticales en columpio.- Para que las curvas verticales en columpio cumplan con la distancia de visibilidad necesaria, su longitud deberá calcularse a partir del parámetro K, que se obtiene con la expresión:

$$K = \frac{D^2}{2(TD + H)}$$

Donde:

D = distancia de visibilidad, en metros

T = pendiente del haz luminoso de los faros (0.0175)

H = altura de los faros (0.64 m)

c.- Requisitos de visibilidad.-

1. La distancia de visibilidad de parada deberá proporcionarse en todas las curvas verticales, este requisito esta tomado en cuenta en el valor del parámetro K, especificado en la siguiente tabla "Valores mínimos del parámetro K y de la longitud mínima aceptable de las curvas verticales"
2. La distancia de visibilidad de encuentro deberá proporcionarse en las curvas verticales en cresta de las carreteras tipo "E", tal como se especifica en la siguiente tabla, "Valores mínimos del parámetro K y de la longitud mínima aceptable de las curvas verticales"



VALORES MINIMOS DEL PARÁMETRO k Y DE LA LONGITUD MINIMA ACEPTABLE DE LAS CURVAS VERTICALES

Velocidad de proyecto (km/h)	Valores del parámetro K (m/%)			Longitud mínima aceptable (m)
	Curvas en cresta		Curvas en columpio	
	Carretera tipo E, D, C, B, A		Carretera tipo E, D, C, B, A	
30	4	3	4	20
40	7	4	7	30
50	12	8	10	30
60	23	12	15	40
70	36	20	20	40
80	-	31	25	50
90	-	43	31	50
100	-	57	37	60
110	-	72	43	60

FUENTE: Normas de servicios técnicos, PROYECTO GEOMETRICO, (SCT).

La distancia de visibilidad de rebase solo se proporcionara cuando así lo indiquen las especificaciones de proyecto y/o lo ordene la secretaria, los valores del parámetro K, para satisfacer son:



Velocidad de proyecto en km/h	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Parámetro K para rebase en m/%	18	32	50	73	99	130	164	203	245

FUENTE: Normas de servicios técnicos, PROYECTO GEOMETRICO, (SCT).

Curvas verticales.- Las curvas verticales serán parábolas de eje vertical y están definidas por su longitud y por la diferencia algebraica de las pendientes de las tangentes verticales que une.

a.- Longitud mínima:

1. La longitud mínima de las curvas verticales se calculara con la expresión:

$$L = K A$$

En donde:

L = Longitud mínima de la curva vertical, en metros

K = Parámetro de la curva cuyo valor mínimo se especifica

En la tabla de valores mínimos del parámetro K y de la longitud mínima aceptable de las curvas verticales

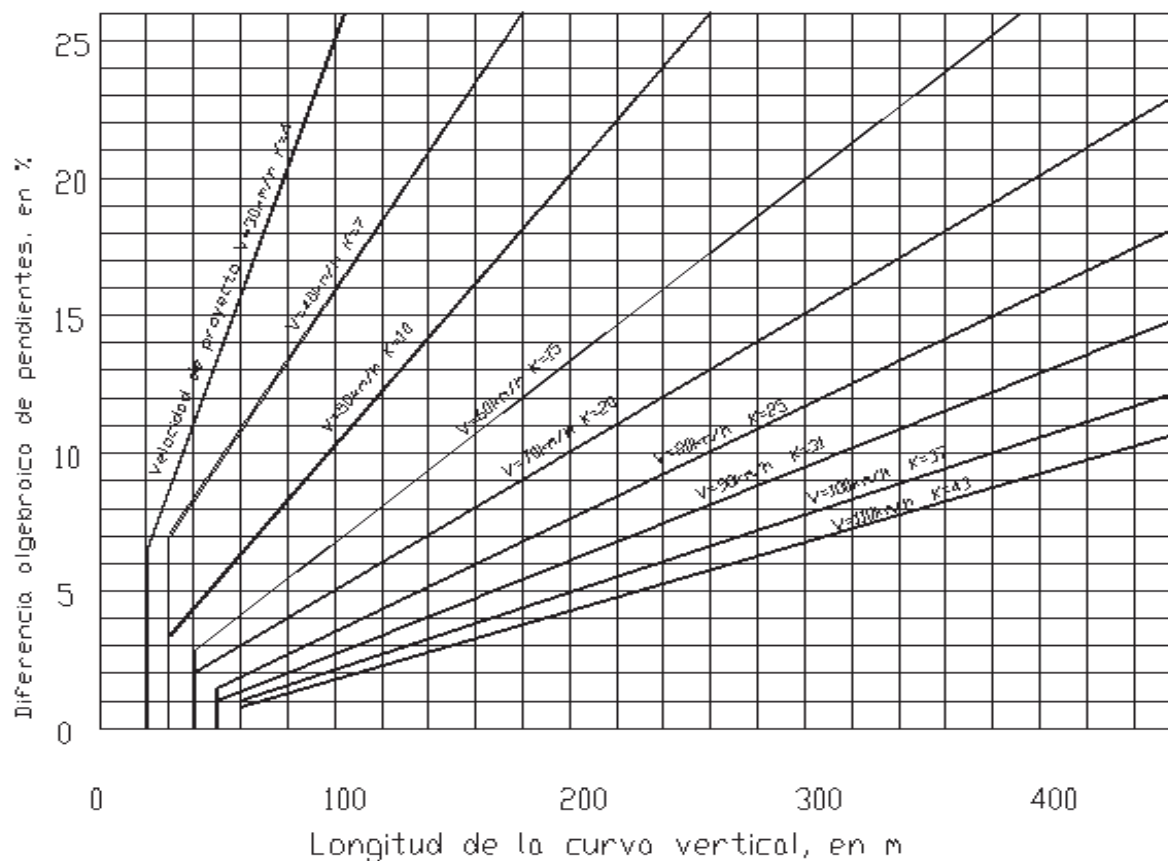
A = Diferencia algebraica de las pendientes de las Tangentes verticales.

2. La longitud mínima de las curvas verticales en ningún caso deberá ser menor a las mostradas en las siguientes dos tablas: "Longitud mínima de las curvas verticales en cresta" y "Longitud mínima de las curvas verticales en columpio"

b).- Longitud máxima.- No existirá límite de longitud máxima para las curvas verticales. En caso de curvas verticales en cresta con pendiente de entrada y salida de signos contrarios, se deberá revisar el drenaje cuando a la longitud de la curva proyectada corresponda un valor del parámetro K superior a 43.



LONGITUD MINIMA DE LAS CURVAS VERTICALES EN COLUMPIO



FUENTE: Normas de servicios técnicos, PROYECTO GEOMETRICO, (SCT).

Calculo de curvas verticales

Para el cálculo y trazo de las curvas verticales es necesario contar con un perfil del terreno, así como las longitudes y pendientes de cada segmento del camino. Es necesario revisar que la pendiente en estos segmentos del camino nunca sea mayor a la pendiente máxima dada por la tabla de tipos y características de caminos.

Es necesario también respetar las condiciones de longitud mínima de las curvas verticales en cresta y columpio.



Las formulas de trazo de curvas verticales son en comparación, más simples que las de curvas horizontales, como se muestra a continuación.

$$L = \frac{(P_o - P_f)}{100} \Rightarrow 2 \text{ estaciones. como min}$$

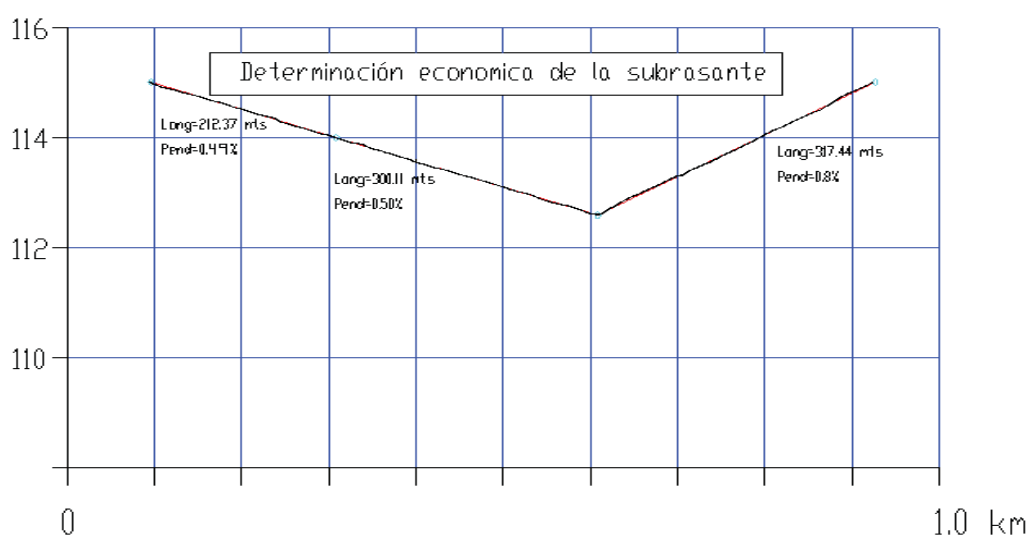
$$K = \frac{(P_o - P_f)}{(100)(L)}$$

P_o = pendiente de entrada

P_i = pendiente de salida

L = número total de estaciones

Perfil del terreno



Calculo de curva vertical en columpio

$$L = (-0.50) - (-0.8) = 1.3 = 2 \text{ estaciones de } 20 \text{ mts} = 40 \text{ mts}$$

$$K = (1.3) / (100)(2) = 0.0065$$

$$E = (1.3)(40)/8 = 6.5$$

$$F = 6.5$$



$$0.50 \text{-----} 100$$

$$x \text{-----} 20$$

$$X = 0.1$$

$$0.8 \text{-----} 100$$

$$x \text{-----} 20$$

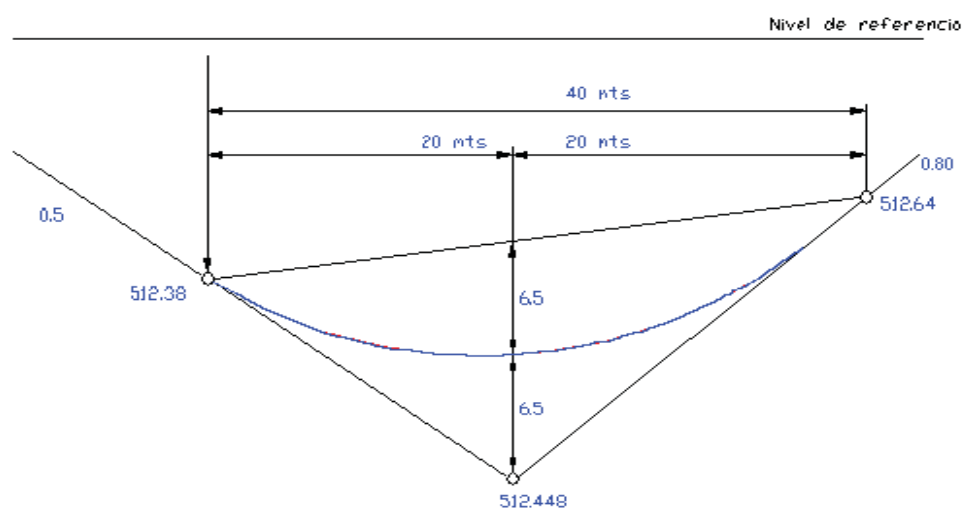
$$X = 0.16$$

$$PIV = 512.48$$

$$PCV = 512.48 - 0.1 = 512.38$$

$$PTV = 512.48 + 0.16 = 512.64$$

Punto	Elevación	X ²	K	Y	Cota
0	512.38	0	0.065	0	512.38
1	512.48	1	0.065	0.0315	512.4485
0	512.64	0	0.065	0	512.64





3.11.- EMPLEO SIMULTÁNEO DE LAS CURVAS VERTICALES Y HORIZONTALES.

Con relación a la combinación del alineamiento horizontal con el vertical se procurara observar lo siguiente:

En alineamientos verticales que originen terraplenes altos y largos son deseables Alineamientos horizontales rectos o de muy suave curvatura.

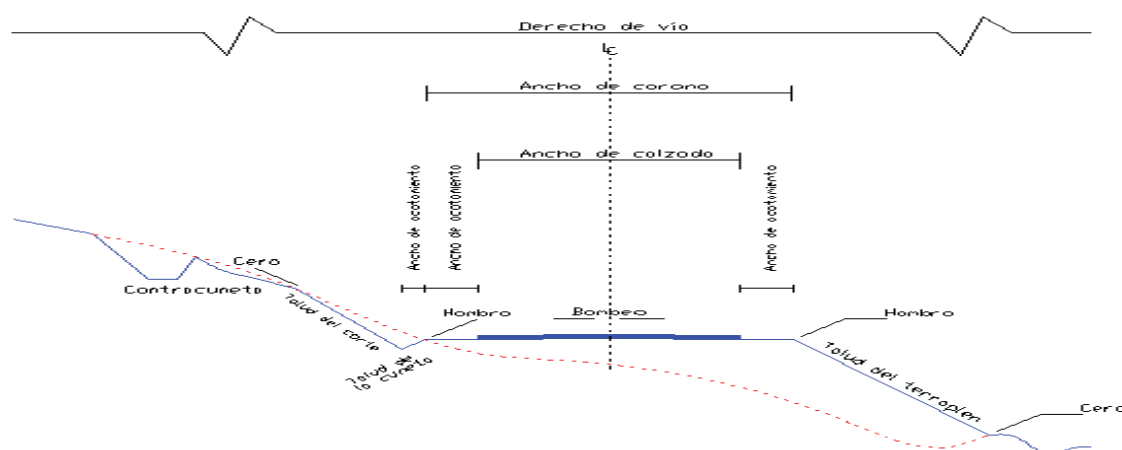
- a. Los alineamientos horizontal y vertical deben estar balanceados. Las tangentes o las curvas horizontales suaves en combinación con pendientes fuertes y curvas verticales cortas, o bien una curvatura excesiva con pendientes suaves corresponden a diseños pobres. Un diseño apropiado es aquel que combina ambos alineamientos ofreciendo el máximo de seguridad, capacidad, facilidad y uniformidad en la operación, además una apariencia agradable dentro de las restricciones impuestas por la topografía.
- b. Cuando el alineamiento horizontal está constituido por curvas con grados menores al máximo, se recomienda proyectar curvas verticales con longitudes mayores que las mínimas especificadas; siempre que no se incremente considerablemente el costo de construcción de la carretera.
- c. Conviene evitar la coincidencia de la cima de una curva vertical en cresta con el inicio o terminación de una curva horizontal.
- d. Debe evitarse proyectar la cima de una curva vertical en columpio cerca de una curva horizontal.
- e. En general, cuando se combinen curvas verticales y horizontales, o una este muy cerca de la otra, debe procurarse que la curva vertical este fuera de la curva horizontal o totalmente incluida en ella, con las salvedades mencionadas.
- f. Los alineamientos deben combinarse para lograr el mayor número de tramos con distancias de visibilidad de rebase.
- g. En donde este previsto el proyecto de un entronque, los alineamientos deben de ser lo más suave posible.



3.12. - SECCIONES DE CONSTRUCCIÓN.

De la sección transversal.

La sección transversal está definida por la corona, las cunetas, los taludes, las contra cunetas, las partes complementarias y el terreno comprendido dentro del derecho de vía, "Sección transversal en tangente del alineamiento horizontal para carreteras tipos E, D, C, B y A2" y "Sección transversal en tangente del alineamiento horizontal para carreteras tipos A4"



Corona.- La corona está definida por la calzada y los acotamientos con su pendiente transversal, y en su caso, la faja separadora central.

En tangentes del alineamiento horizontal el ancho de corona para cada tipo de carretera y de terreno, deberá ser el especificado en la tabla "Anchos de corona, de calzada, de acotamientos y de la faja separadora central" que a continuación se muestra.



Tipo de carretera		Corona (m)	Anchos de			
			Calzada (m)	Acotamientos (m)		Faja separadora central (m)
E		4.00	4.00	--		--
D		6.00	6.00	--		--
C		7.00	6.00	0.50		--
B		9.00	7.00	1.00		--
A	(A2)	12.00	7.00	2.50		--
	(A4)	22.00 mínimo	2 x 7.00	EXT	INT	1.00 mínimo
				3.00	0.50	
	(A4S)		2 x 11.00	2 x 7.00	3.00	1.00

FUENTE: Normas de servicios técnicos, PROYECTO GEOMETRICO, (SCT).

Dados los datos anteriores, podemos deducir las siguientes medidas según nuestro tipo de camino "C".

Tipo de carretera "C"

Corona = 7.0 mts

Calzada = 6.0 mts.

Acotamientos = 0.50 mts

Faja separadora central = 0.0 mts



En curvas y transiciones de alineamiento horizontal el ancho de la corona deberá ser la suma de los anchos de la calzada, de los acotamientos, y en su caso de la faja separadora central.

Calzada.- el ancho de la calzada deberá ser:

- En tangente del alineamiento horizontal, el especificado en la tabla anterior "Anchos de corona, de calzada, de acotamientos y de la faja separadora central"
- En curvas circulares del alineamiento horizontal, el ancho en tangente mas una ampliación en el lado interior de la curva circular, cuyo valor se especifica en las siguientes cuatro tablas "Ampliaciones, sobre elevaciones y transiciones para carreteras"
- En curvas espirales de transición y en transiciones mixtas.

El ancho en tangente más una ampliación variable en el lado interior de la curva espiral o en el de la transición mixta, cuyo valor esta dado por la expresión:

$$A = \frac{L}{L_e} A_c$$

En donde:

A = Ampliación del ancho de la calzada en un punto de la curva espiral o de la transición mixta, en metros.

L = Distancia del origen de la transición al punto cuya ampliación se desea determinar, en metros

L_e = Longitud de la curva espiral o de la transición mixta, en metros.

A_c = Ampliación total del ancho de la calzada correspondiente a la curva circular, en metros.

En tangentes y curvas horizontales para carretera tipo E.

- El ancho de la calzada en carreteras tipo "E", no requerirá ampliación por curvatura horizontal.
- Por requisitos operacionales será necesario ampliar el ancho de la calzada, formando libraderos, para permitir el paso simultaneo a dos vehículos, el ancho de la calzada en la zona del libraderos será el correspondiente al de la carretera tipo "D".
- La longitud de los libraderos será de veinte metros más dos transiciones de cinco metros cada una.
- Los libraderos se espaciaran a una distancia de doscientos cincuenta metros o menos, si así lo requiere la visibilidad entre ellos.



Acotamientos.- El ancho de los acotamientos deberá ser para cada tipo de carretera y tipo de terreno, según se indica en la tabla "Anchos de corona, de calzada, de acotamientos y de la faja separadora central"

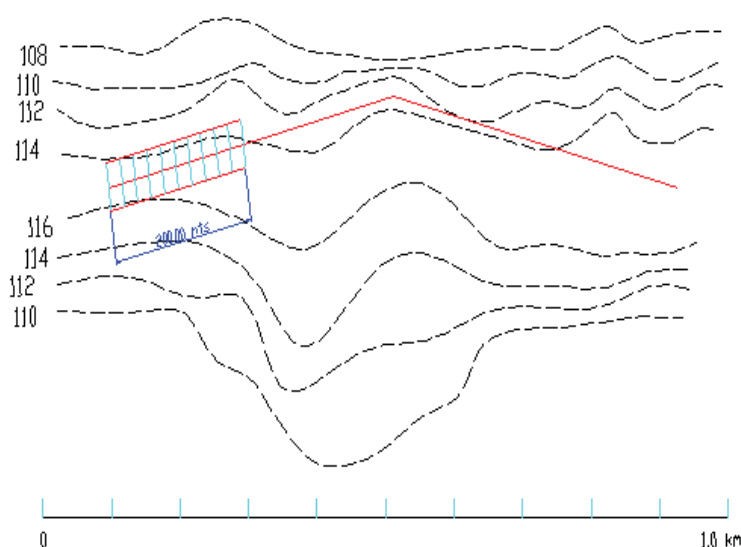
Pendiente transversal.- En tangentes de alineamiento horizontal el bombeo de la corona deberá ser:

- De menos dos por ciento en carreteras tipo A, B, C, y D pavimentadas
- De menos tres por ciento en carreteras tipo D y E revestidas.

3.13. - DETERMINACIÓN DE LAS SECCIONES DE CARRETERA.

La determinación de las secciones de carretera, es un procedimiento sencillo pero laborioso, ya que a cada veinte metros de nuestra línea del camino, se tendrá que determinar veinte metros a la izquierda y veinte metros a la derecha la intersección de las curvas de nivel, el objeto que sean veinte metros los que se tengan que determinar hacia los lados, obedece a que por disposición federal, todos los caminos de carreteras federales comprenden veinte metros hacia la izquierda y derecha del centro del camino.

A continuación se ilustra la determinación de las secciones de carretera de un tramo cualquiera de doscientos metros.





Secciones de trazo de carretera.

114.15	115.2	116.0	115.85	
	20.0	0.00	15.5	20.0
	114.0	115.1	116.0	115.9
	20.0	20.0	16.0	20.0
113.75	114.0	115.0	116.0	115.92
20.0	17.0	40.0	18.0	20.0
113.6	114.0	114.75	116.0	
20.0	15.0	60.0	20.0	
113.5	114.0	114.62	115.85	
20.0	14.0	80.0	20.0	
113.4	114.0	114.55	115.65	
20.0	14.0	100.0	20.0	
113.5	114.0	114.54	115.55	



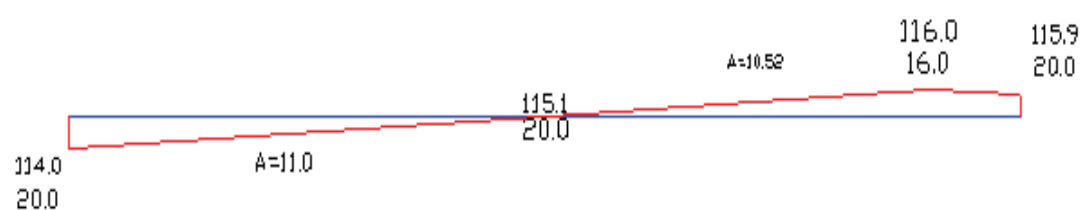
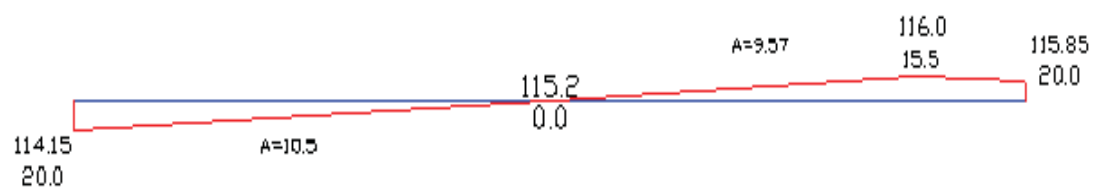
20.0	15.0	120.0	20.0	
113.6	114.0	114.51	115.5	
20.0	18.0	140.0	20.0	
113.82	114.0	114.42	115.20	
20.0	16.2	160.0	20.0	
113.78	114.0	114.3	114.9	
20.0	12.1	180.0	20.0	
113.2	114.0	114.7	114.6	
20.0	6.05	200.0	20.0	

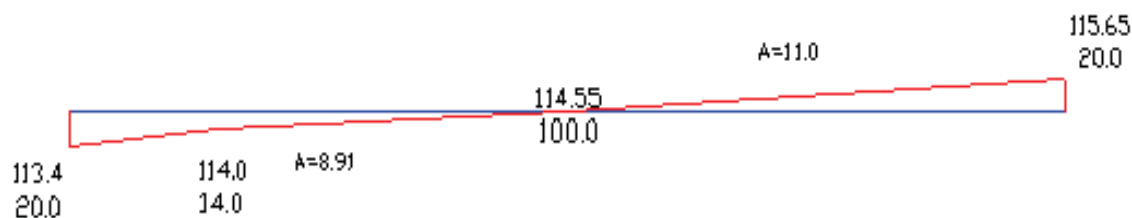
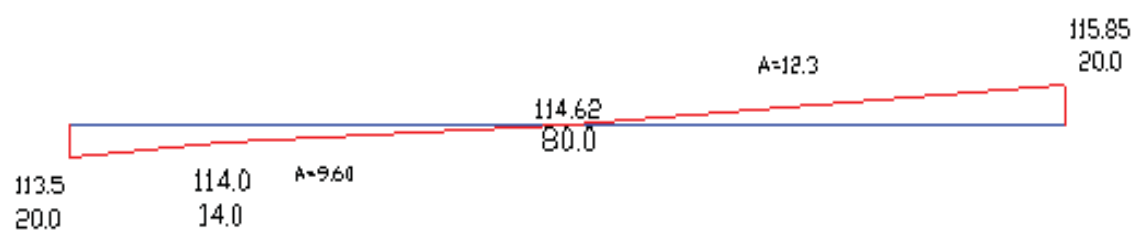
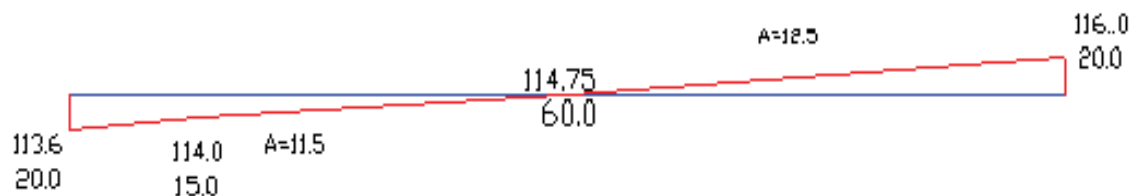
Las secciones antes determinadas, son necesarias para el cálculo de la curva masa, en estas se ubicara nuestro camino como se muestra a continuación, con una sección tipo para carreteras D, C, B y A2.

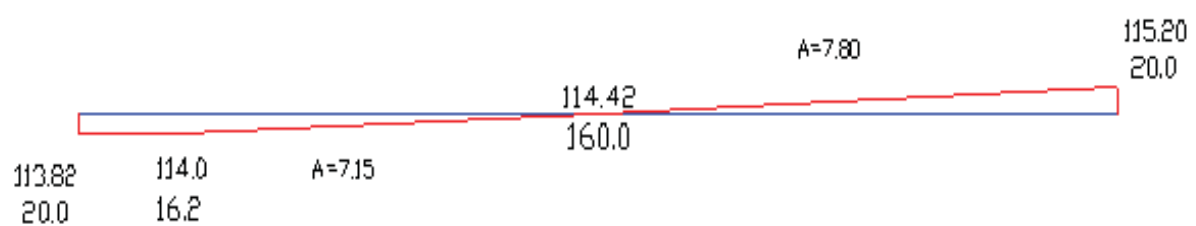
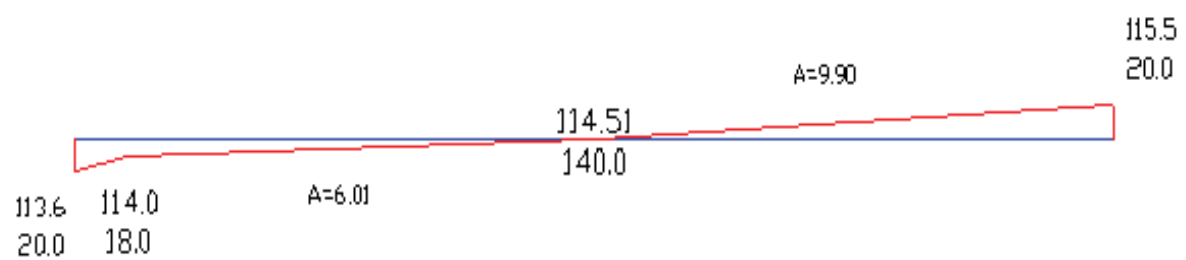
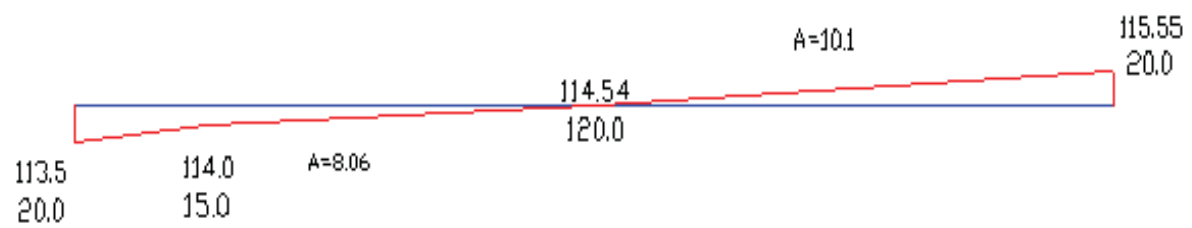
Otro de los aspectos por lo que es necesaria la determinación de las secciones de construcción, es el hecho de que esta son los indicadores de la cantidad de corte y terraplén necesarios en el camino.

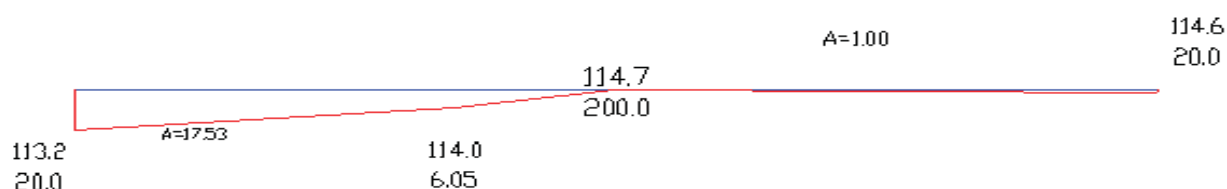
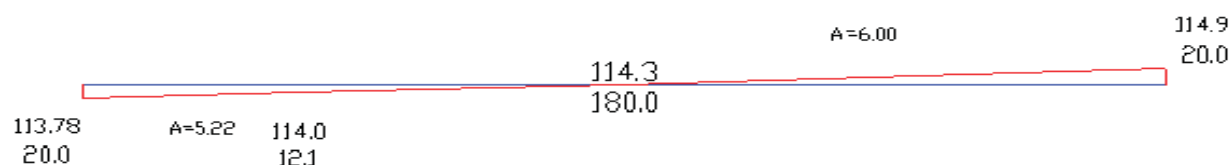


Calculo de las áreas de sección.









3.14. - DETERMINACIÓN DE LOS VOLÚMENES DE TIERRA ENTRE ESTACIONES.

Calculo de volúmenes.- Con el área de cada una de las secciones se integran los volúmenes por el método del promedio de áreas extremas sumando dos áreas de sección contiguas, promediándolas y multiplicándolas por la mitad de la distancia entre ambas.

Movimiento de terracerías.- Esta fundamentado en los volúmenes a mover en relación a las distancias de acarreo, para ello intervienen diferentes conceptos de los cuales dependerá la economía del proyecto.

- Acarreo libre.-** Es la distancia a la que se hace el movimiento de un volumen sin requerir de trabajos elaborados o en el caso de contratos sin llegar a un pago adicional, actualmente en México está fijado para una longitud no mayor de 20 metros.



- b. **Sobre acarreo.-** Es el transporte de los materiales a una distancia mayor a la del acarreo libre y se obtiene multiplicando el volumen a mover por la distancia que hay del centro de gravedad del corte al centro de gravedad del terraplén; de acuerdo a la distancia que se tenga que mover se puede hacer con camión o maquinaria.
- c. **Préstamo lateral.-** La diferencia que se necesite para formar un terraplén al no compensarlo con un corte requerirá de un volumen adicional, denominado préstamo que se obtendrá de la parte lateral del camino.
- d. **Préstamo de banco.-** Se presenta en las mismas condiciones que el anterior solo que por la calidad del material o por no encontrarlo sobre el camino se utilizara de un lugar especial según convenga, por lo general este acarreo se realiza con camiones.

3.15. - DIAGRAMA DE MASAS.

La curva masa busca el equilibrio para la calidad y economía de los movimientos de tierras, además es un método que indica el sentido del movimiento de los volúmenes excavados, la cantidad y la localización de cada uno de ellos.

Las ordenadas de la curva resultan de sumar algebraicamente a una cota arbitraria inicial el valor del volumen de un corte con signo positivo y el valor del terraplén con signo negativo.

Los volúmenes se corrigen aplicando un coeficiente de abundamiento a los cortes o aplicando un coeficiente de reducción para el terraplén.

El procedimiento para el proyecto de la curva masa es como sigue:

1. se proyecta la Subrasante sobre el dibujo del perfil del terreno.
2. se determina en cada estación, o en los puntos que lo ameriten, los espesores de corte o terraplén.
3. se dibujan las secciones transversales topográficas (secciones de construcción)
4. se dibuja la plantilla del corte o del terraplén con los taludes escogidos según el tipo de material, sobre la sección topográfica correspondiente, quedando así dibujadas las secciones transversales del camino.
5. se calculan las áreas de las secciones transversales del camino por cualquiera de los métodos ya conocidos.



6. se calculan los volúmenes abundando los cortes o haciendo la reducción de los terraplenes, según el tipo de material y método escogido.
7. se dibuja la curva con los valores anteriores.

Dibujo de la curva masa.

Se dibuja la curva masa con las ordenadas en el sentido vertical y las ábsidas en el sentido horizontal utilizando el mismo dibujo del perfil.

Cuando esta dibujada la curva se traza la compensadora que es una línea horizontal que corta la curva en varios puntos.

Podrán dibujarse diferentes alternativas de línea compensadora para mejorar los movimientos, teniendo en cuenta que se compensan más los volúmenes cuando la misma línea compensadora corta más veces la curva, pero algunas veces el querer compensar demasiado los volúmenes, provoca acarreo muy largos que resultan más costosos que otras alternativas.

El sobre acarreo se expresa en:

M3 – Estación cuando no pase de 100 metros, la distancia del centro de gravedad del corte al centro de gravedad del terraplén con la resta del acarreo.

M3 – Hectómetro a partir de 100 metros, de distancia y menos de 500 metros.

M3 – Hectómetro adicional, cuando la distancia de sobre acarreo varía entre los 500 y 2000 metros.

M3 – Kilómetro, cuando la distancia entre los centros de gravedad excede los 2000 metros.

Determinación del desperdicio:

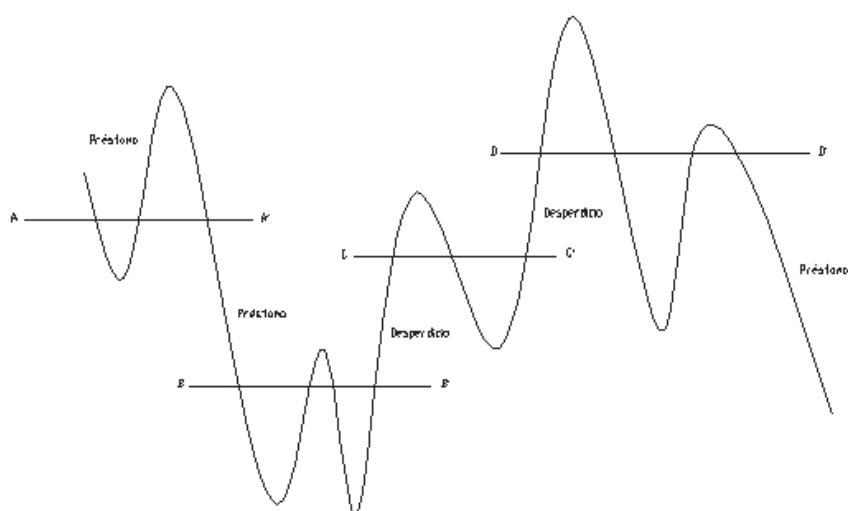
Cuando la línea compensadora no se puede continuar y existe la necesidad de iniciar otra, habrá una diferencia de ordenadas.

Si la curva masa se presenta en el sentido del cadenamiento en forma ascendente la diferencia indicara el volumen de material que tendrá que desperdiciarse lateralmente al momento de la construcción.

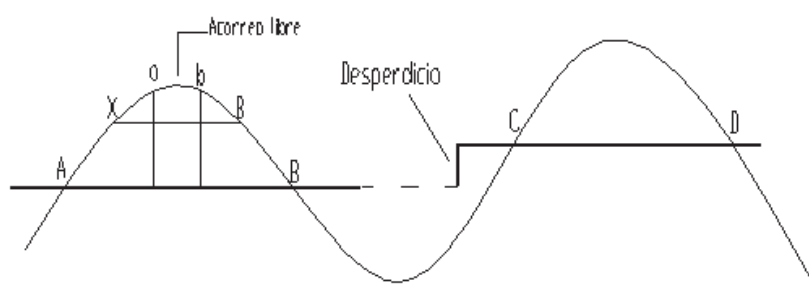


Determinación de los préstamos:

Se trata del mismo caso anterior solo que la curva masa se presentara en forma descendente, la decisión de considerarlo como préstamo de un banco cercano al camino o de un préstamo de la parte lateral del mismo, dependerá de la calidad de los materiales y del aspecto económico, ya que los acarreos largos por lo regular resultan muy costosos.



Préstamos y desperdicios



**Determinación del acarreo libre:**

Se corre horizontalmente la distancia de acarreo libre 20 metros, de tal manera que toque dos puntos de la curva, la diferencia de la ordenada de la horizontal al punto más alto o más bajo de la curva, es el volumen.

Determinación del sobre acarreo:

Se traza una línea en la parte media de la línea horizontal compensadora y la línea horizontal de acarreo libre.

La diferencia de ábsidas $X - B$ será la distancia a la que hay que restarle el acarreo libre para obtener la distancia media de sobre acarreo convertida en estaciones y aproximada al décimo.

El volumen se obtendrá restando la ordenada de la línea compensadora $A - B$ a la de la línea de acarreo libre $a - b$.

Propiedades de la curva masa:

1. La curva crece en el sentido del cadenamiento cuando se trata de cortes y decrece cuando predomina el terraplén.
2. En las estaciones donde se presenta un cambio de ascendente a descendente o viceversa se presentara un máximo y un mínimo respectivamente.
3. Cualquier línea horizontal que corta a la curva en dos extremos marcara dos puntos con la misma ordenada de corte y terraplén indicando así la compensación en este tramo por lo que serán iguales los volúmenes de corte y terraplén.

Esta línea se denomina compensadora y es la distancia máxima para compensar un terraplén con un corte.

4. La diferencia de ordenada entre dos puntos indicara la diferencia de volumen entre ellos.
5. El área comprendida entre la curva y una horizontal cualquiera, representa el volumen por la longitud media de acarreo



6. Cuando la curva se encuentra arriba de la horizontal el sentido del acarreo de material es hacia delante, y cuando la curva se encuentra abajo el sentido es hacia atrás, teniendo cuidado que la pendiente del camino lo permita.

2. Ordenada de Curva Masa.

3. A continuación podemos observar la forma en que se realiza el cálculo de la ordenada de curva masa, en la cual se realizó el cálculo de los primeros doscientos metros de nuestro camino.
4. El hecho de observar en la tabla que las cantidades de la elevación de la Subrasante, las cotas de la tangente vertical y la elevación del terreno son los mismos, es al hecho de que al principio de nuestro camino, estas tres coinciden en el mismo punto.
5. En la casilla de corrección de la curva vertical, se alojan las cantidades de corrección en curva, como se observa en el cálculo anterior de la curva vertical, solo que hasta estos doscientos metros no se encuentra ninguna corrección.
6. Al igual que la corrección de la curva vertical, los espesores de corte y terraplén, se ubican en cero hasta este punto.
7. Las áreas de corte y terraplén son obtenidas del cálculo anterior de las áreas de secciones.
8. En la última casilla de O.C.M. se da un valor arbitrario y se restan o suman los valores de corte o terraplén.

	VOLUMEN		Coef. Variab.		Vol. Increm.				Suma algebraica		Ordenada
D/2	Corte	Terraplén	volumétrica		o reducidos		Total	Terra	(+)	(-)	curva masa
	1	90%	corte	terraplén	corte	terraplén	corte	plen	Corte	Terraplén	O C M
10.00	95.70	105.00	1.35	0.95	129.20	99.75	129.20	99.75	29.45	0.00	3029.45
10.00	200.90	215.00	1.35	0.95	271.22	204.25	271.22	204.25	66.97	0.00	3066.97

Se puede observar que los valores de elevación del terreno y elevación de la Subrasante son iguales, esto se debe a que en esta tesis solo se tomo para el cálculo los primeros doscientos metros de camino, en los cuales estos dos últimos valores mencionados coinciden.



Ordenada de Curva Masa.

								AREAS		A1 + A2	
Est.	Elev.	Tangente vertical		Curva vertical	Elevación	Espesores		Corte	Terraplén	Corte	Terraplén
	terreno	Pendiente	Cotas	corrección	subrasante	Corte	Terraplén	1	90%	1	90%
0+00	115.2	0.5%	115.2	0.0	115.2	0.325	0.525	9.57	10.50	9.57	10.50
0+020	115.1	0.5%	115.1	0.0	115.1	0.400	0.550	10.52	11.00	20.09	21.50
0+040	115.0	0.5%	115.0	0.0	115.0	0.460	0.625	10.93	12.50	21.45	23.50
0+060	114.8	0.5%	114.8	0.0	114.8	0.625	0.575	12.50	11.50	23.43	24.00
0+080	114.6	0.5%	114.6	0.0	114.6	0.615	0.560	12.3	9.60	24.80	21.10
0+100	114.6	0.5%	114.6	0.0	114.6	0.550	0.575	11	8.91	23.30	18.51
0+120	114.5	0.5%	114.5	0.0	114.5	0.505	0.520	10.10	8.06	21.10	16.97
0+140	114.5	0.5%	114.5	0.0	114.5	0.495	0.455	9.90	6.01	20.00	14.07
0+160	114.4	0.5%	114.4	0.0	114.4	0.390	0.300	7.80	7.15	17.70	13.16
0+180	114.3	0.5%	114.3	0.0	114.3	0.300	0.260	6.00	5.22	13.80	12.37
0+200	114.7	0.5%	114.7	0.0	114.7	0.00	0.800	18.53	0.00	24.53	5.22



3.16. - OBRAS COMPLEMENTARIAS DE DRENAJE.

Las obras de drenaje son elementos estructurales que eliminan la inaccesibilidad de un camino, provocada por el agua o la humedad.

Los objetivos primordiales de las obras de drenaje son:

- a. Dar salida al agua que se llegue a acumular en el camino.
- b. Reducir o eliminar la cantidad de agua que se dirija hacia el camino.
- c. Evitar que el agua provoque daños estructurales.

De la construcción de las obras de drenaje, dependerá en gran parte la vida útil, facilidad de acceso y la vida útil del camino.

Tipos de drenaje:

Para llevar a cabo lo anteriormente citado, se utiliza el drenaje superficial y el drenaje subterráneo.

Drenaje superficial.- Se construye sobre la superficie del camino o terreno, con funciones de captación, salida, defensa y cruce, algunas obras cumplen con varias funciones al mismo tiempo.

En el drenaje superficial encontramos: cunetas, contra cunetas, bombeo, lavaderos, zampeados, y el drenaje transversal.

Cunetas.- Las cunetas son zanjas que se hacen en uno o ambos lados del camino, con el propósito de conducir las aguas provenientes de la corona y lugares adyacentes hacia un lugar determinado, donde no provoque daños, su diseño se basa en los principios de los canales abiertos.

Para un flujo uniforme se utiliza la fórmula de Manning, como se muestra a continuación.

$$V = \frac{1}{n} = (R)^{2/3} (S)^{1/2}$$

Donde: V = velocidad media en metros por segundo

n = coeficiente de rugosidad de Manning

R = radio hidráulico en metros (área de la sección entre el perímetro mojado)

S = pendiente del canal en metros por metro.



Valores de N para la formula de Manning

TIPO DE MATERIA	VALORES DE "n "
Tierra común, nivelada y aislada	0.02
Roca lisa y uniforme	0.03
Rocas con salientes y sinuosa	0.04
Lechos pedregosos y bordos enyerbados	0.03
Plantilla de tierra, taludes ásperos	0.03

Determinación del área hidráulica:

$$Q = \frac{A \cdot V}{V}$$

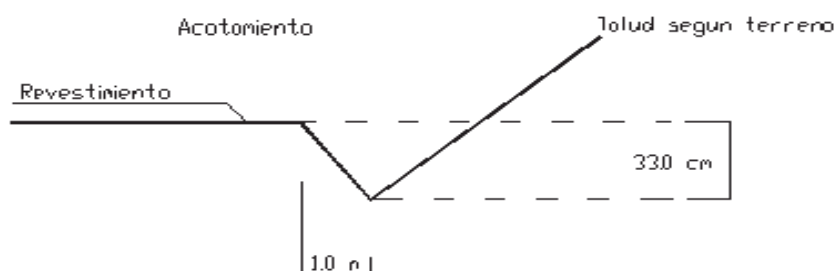
$$q = (A / n) (R)^{2/3} (S)^{1/2}$$

Donde: Q = gasto en m³/seg.

A = Área de la sección transversal del flujo en m²

Debido a la incertidumbre para la determinación del área hidráulica en la práctica, las secciones de las cunetas, se proyectan por comparación con otras en circunstancias comunes.

Existen diversas formas para construir las cunetas, en la actualidad las más comunes son las triangulares, como se muestra a continuación:





Se evitara dar una gran longitud a las cunetas, mediante el uso de obras de alivio.

En algunos casos será necesario proteger las cunetas mediante zampeados, debido a la velocidad provocada por la pendiente.

Contra cunetas.- Las contra cunetas son zanjas que se construyen paralelamente al camino, de forma trapecial comúnmente, con plantilla de 50 cms y taludes adecuados a la naturaleza del terreno.

La función de las contra cunetas es prevenir que llegue al camino un exceso de agua o humedad, aunque la practica ha demostrado que en muchos casos no es conveniente usarlas, debido a que como se construyen en la parte aguas arriba de los taludes, provocan reblandecimientos y derrumbes.

Si son necesarias, deberá, estudiarse muy bien la naturaleza geológica del lugar donde se van a construir, alejándolas lo más posible de los taludes y zampeándolas en algunos casos para evitar filtraciones.

Bombeo.- Es la inclinación que se da a ambos lados del camino, para drenar la superficie del mismo, evitando que el agua se encharque provocando reblandecimientos o que corra por el centro del camino causando daños debido a la erosión.

El bombeo depende del camino y tipo de superficie, se mide su inclinación en porcentaje y es usual un 2 a 4 por ciento en caminos revestidos.

Zampeado.- Es una protección a la superficie de rodamiento o cunetas, contra la erosión donde se presentan fuertes pendientes. Se realiza con piedra, concreto ciclópeo o concreto simple.

Lavaderos.- Son pequeños encauzamientos a través de cubiertas de concreto, lamina, piedra con mortero o piedra acomodada que se colocan en las salidas de las alcantarillas o terrenos erosionables, eliminando los daños que originaria la velocidad del agua.

Drenaje transversal.- Su finalidad es permitir el paso transversal del agua sobre un camino, sin obstaculizar el paso.

En este tipo de drenajes, algunas veces será necesario construir grandes obras u obras pequeñas denominadas obras de drenaje mayor y obras de drenaje menor, respectivamente.

Las obras de drenaje mayor requieren de conocimientos y estudios especiales, entre ellas podemos mencionar los **puentes, puentes -vado y bóvedas.**



Aunque los estudios estructurales de estas obras son diferentes para cada una, la primera etapa de selección e integración de datos preliminares es común.

Así con la comparación de varios lugares del mismo río o arroyo elegiremos el lugar más indicado basándonos en el ancho y altura del cruce, de preferencia que no se encuentre en lugares donde la corriente tiene deflexiones y aprovechando las mejores características geológicas y de altura donde vamos descendiendo o ascendiendo con el trazo.

Las bóvedas de medio punto construidas con mampostería son adecuadas cuando requerimos salvar un claro con una altura grande de la rasante al piso del río.

Los vados son estructuras muy pegadas al terreno natural, generalmente losas a piso, tienen ventajas en cauces amplios con tirantes pequeños y régimen torrencial por corto tiempo. La construcción de vados es económica y accesibles a los cambios rurales por el aprovechamiento de los recursos del lugar, ya que pueden ser contruidos de mampostería, concreto simple, ciclópeo y hasta de lamina. Su diseño debe evitar provocar erosión aguas arriba y aguas abajo, además de evitar que se provoque régimen turbulento que también es causa de socavación.

El puente – vado, es una estructura en forma de puente y con características de vado, que permite el paso del agua a través de claros inferiores en niveles ordinarios, y por la parte superior cuando se presentan avenidas con aguas máximas extraordinarias.

La altura de la obra debe permitir que cuando se presenten avenidas en aguas máximas extraordinarias los árboles u objetos arrastrados no dañen la estructura.

Los puentes son estructuras de más de seis metros de claro, se distingue de las alcantarillas por el colchón que estas levan en la parte superior.

La estructura de un puente está formada por la infraestructura, la subestructura y la superestructura.

La infraestructura se manifiesta en zapatas de concreto o mampostería, cilindros de cimentación y pilotes. La subestructura forma parte de un puente a través de pilas centrales, estribos, columnas metálicas sobre pedestales de concreto, caballetes de madera, etc. la superestructura integra la parte superior de un puente por medio de través de concreto o metálicas, vigas y pisos de madera, losas de concreto, nervaduras armadas de fierro, madera, cable, etc.



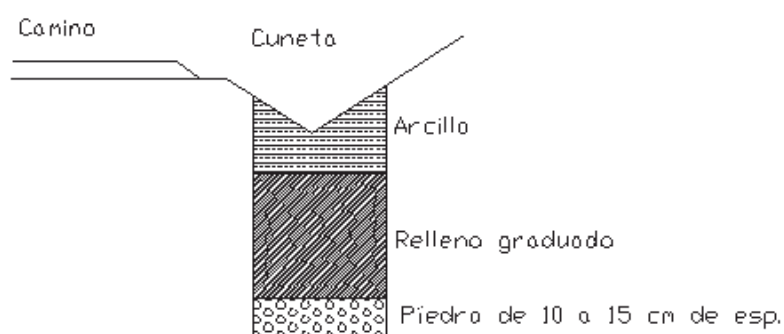
Obras de drenaje menor:

Las alcantarillas son estructuras transversales al camino que permiten el cruce del agua y están protegidas por una capa de material en la parte superior, pueden ser de forma rectangular, cuadrada, de arco o tubular, se construyen de concreto, lamina, piedra o madera.

Para canalizar el agua se complementan con muros o aleros en la entrada y salida, podemos decir que actualmente en los caminos rurales, las más usuales son las alcantarillas laminares.

Drenaje subterráneo.- el drenaje subterráneo es un gran auxiliar para eliminar humedad que inevitablemente ha llegado al camino y así evitar que provoque asentamientos o deslizamientos de material.

Son usuales los drenes ciegos que consisten en zanjas bajo las cunetas rellenas con material graduado con una base firme que evite filtraciones mas allá de donde se desea, dirigiendo el agua hacia un lugar donde se le pueda retirar de manera superficial del camino, las dimensiones varían según las características hidrológicas del lugar donde se van a construir, son funcionales en varios tipos de camino. La plantilla de estos es de 45 cm. Y de 80 a 100 cm. De profundidad, el material se graduara cuidadosamente en capas con tamaños uniformes.



También se usan con el mismo fin drenes con tubos perforados que recogen el agua de la parte inferior del camino bajo las cunetas, su construcción consiste en la apertura de una zanja para colocar un tubo de barro o concreto que canalice el agua.

El cuidado con que se coloquen los tubos, la determinación de su diámetro y resistencia, influirá en la funcionalidad y duración del dren.



El diámetro no será menor a quince centímetros con numerosas perforaciones, relleno con material adecuado para evitar taponamientos que junto con las roturas del tubo, son las principales fallas de este tipo de drenaje.

Cualquier tipo de drenaje subterráneo, debe permitir una salida fácil del agua con pendiente adecuada no menor del medio por ciento.



CAPITULO 4.- DISEÑO DE PAVIMENTOS

4.1. - PAVIMENTOS.

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. 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. Debe tener una adecuada visibilidad y contar con un paisaje agradable para no provocar fatigas.

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 son los materiales que más comúnmente se encuentran en la naturaleza, y por consecuencia resultan 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. La resistencia de las diferentes capas no solo dependerá del material que la constituye, también resulta de gran influencia el procedimiento constructivo; siendo dos factores importantes la compactación y la humedad, ya que cuando un material no se acomoda adecuadamente, éste se consolida por efecto de las cargas y es cuando se producen deformaciones permanentes.

TIPOS DE PAVIMENTOS.

Básicamente existen dos tipos de pavimentos: rígidos y flexibles.

El pavimento rígido se compone de losas de concreto hidráulico 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 tienen la desventaja de requerir mantenimiento constante para cumplir con su vida útil. Este tipo de pavimento está compuesto principalmente de una carpeta asfáltica, de la base y de la sub-base.

Terracería. Se 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. Cuando se va a construir un camino que presente un TPDA (Tránsito Promedio Diario Anual) mayor a 5000 vehículos, es necesario que se construya bajo la sub-rasante una capa conocida como sub-yacente; la cual deberá tener un espesor mínimo de 50 cm.

BANCOS DE PRESTAMO

Generalmente el material que se emplea en un terraplén es el que se encuentra sobre la misma ruta producto de cortes o préstamos laterales. Los bancos deberán contener como mínimo 10,000m³ de material para que sea explotable. Los bancos para sub-rasante deberán ser homogéneos, y de esta manera evitar que los espesores del pavimento varíen con demasiada frecuencia, los podemos encontrar en formaciones de roca muy alterada o en bancos arenosos estratificados.

Tipos de bancos de préstamo:

- Longitudinales: son producto de los cortes.
- Laterales: distancia al eje del camino de hasta 20 metros.
- Banco de préstamo: distancia al eje del camino de hasta 100 mts. Más de 10 Km. No es costearable.

CLASIFICACION DE LOS MATERIALES GRUESOS SEGÚN LA SCT (SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES)

Se llama roca a toda formación que tenga un diámetro mayor de 2m.

FRG $f < 2.00 > 0.75$ m

FRM $f < 0.75 > 0.20$ m



FRCH $f < 0.20 > 0.075$ m que es el f de la malla # 3

Todo lo que pase la malla de 3" se considera como un suelo

FRG = Fragmento de roca grande.

FRM = Fragmento de roca mediana.

FRCH = Fragmento de roca chica.

4.2. – BASES Y SUB-BASES

CARACTERISTICA DE BASES Y SUB-BASES

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 FUNCIONES DE ESTAS CAPAS SON:

SUB-BASE. 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 (no siempre se emplea en el pavimento), impide que el agua de las terracerías ascienda por capilaridad y evitar que el pavimento sea absorbido por la sub-rasante. Deberá transmitir en forma adecuada los esfuerzos a las terracerías.

BASE. Es la capa que recibe la mayor parte de los esfuerzos producidos por los vehículos. 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 transmitirlos en forma adecuada a las capas inferiores. El valor cementante en una base es indispensable para proporcionar una sustentación adecuada a las carpetas asfálticas delgadas. En caso 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.

MATERIALES PARA SUB-BASE Y BASE

Los materiales para sub-base y base estarán sujetos a los tratamientos mecánicos que lleguen a requerir para cumplir con las especificaciones adecuadas, siendo los más usuales: la eliminación de desperdicios, el disgregado, el cribado, la trituración y en algunas ocasiones el lavado, los podemos encontrar en cauces de arroyos de tipo torrencial, en las partes cercanas al nacimiento de un río y en los cerros constituidos por rocas andesíticas, basálticas y calizas. Es de gran importancia conocer el tipo de terreno con el que se va a trabajar ya que en base a esto se elige el tipo de maquinaria y el personal suficiente para trabajar en forma adecuada. El material que se manda del banco para efectuar el análisis correspondiente, deberá traer las etiquetas adecuadas y al llegar a laboratorio se le efectuará un secado, su disgregación y se le cuarteará. En pavimentos se realizan básicamente **3 tipos de ensayos** que serán para clasificar el suelo, para controlar la obra y para proyectar el espesor y los porcentajes óptimos de aglutinante de las diferentes **capas que se enlistan a continuación:**

TERRAPLEN.

- Clasificación granulométrica, contenido de humedad, límites de Atterberg
- Control. Peso volumétrico seco máximo y grado de compactación

SUB-RASANTE

- Clasificación granulométrica, contenido de humedad, límites de Atterberg.
- Control. Peso volumétrico seco máximo y grado de compactación.
- Diseño. VRS, cuerpo de ingenieros de los EU y prueba de placa.



BASE Y SUB-BASE.

- Clasificación granulométrica, contenido de humedad, límites de Atterberg
- Control. Valor cementante, índice de durabilidad, PVSM, GC, equivalente de arena, expansión Y adherencia con asfalto.
- Diseño. Prueba de placa, VRS, y cuerpo de ingenieros.

CARPETA ASFÁLTICA

- Clasificación granulométrica, contenido de humedad, límites de Atterberg
- Control. Adherencia con asfalto, equivalente de arena, intemperismo, forma de la partícula, desgaste, densidad y absorción. Todas las pruebas que se realizan a los asfaltos.
- Diseño. Marshall, HUEEM, compresión simple.

FUNCIONES DE LOS MATERIALES

SUBRASANTE.

La función de la sub-rasante es soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación, además de considerarse la cimentación del pavimento. Entre mejor calidad se tenga en esta capa el espesor del pavimento será más reducido y habrá un ahorro en costos sin mermar la calidad. Las características con las que debe cumplir son: f máximo de 3", expansión máxima del 5%, grado de compactación mínimo del 95%; espesor mínimo de 30cm para caminos de bajo tránsito y de 50cm en caminos con un TPDA > de 2000 vehículos. Otra de las funciones de la sub-rasante es evitar que el terraplén contamine al pavimento y que sea absorbido por las terracerías.

TERRAPLEN

La finalidad del cuerpo del terraplén es proporcionar la altura necesaria para cumplir con el proyecto, deberá resistir las cargas de las capas superiores y distribuir las adecuadamente en el terreno natural. Por normatividad no se acepta material del tipo MH, OH, y CH cuando su límite líquido sea mayor del 80%, deberá tener un VRS mínimo de 5%. Si está compuesto de rocas, se recomienda formar capas del espesor del tamaño máximo y se pasará un tractor de oruga en tres ocasiones por cada lugar con un movimiento de zig-zag que se conoce como bandeo, el grado de compactación mínima será del 90% y si es necesario realizar modelos en barrancas donde no es fácil el empleo del



equipo, se permite que el material se coloque a volteo hasta una altura donde ya pueda operar la maquinaria.

Se recomienda el compactador pata de cabra con equipo de vibrado y un peso aproximado de 20 a 30 toneladas.

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE BASES Y SUB-BASES

El primer paso consiste en ubicar el banco de préstamo, de donde se traerá el material, pudiendo emplearse en estas capas, gravas, arenas de río, depósitos de roca (aglomerados) o materiales ligeramente o fuertemente cementados (conglomerados), se recomienda no usar tezontles ya que estos materiales tienden a desmoronarse y pueden provocar cambios volumétricos, en caso de que sea necesario su empleo deberán mezclarse con algún tipo de material fino como los tepetates (60% tepetate y 40% tezontle); en algunos casos se deberán aplicar tratamientos previos y estos podrán ser: el cribado, la trituración y en algunas ocasiones se les estabiliza en planta con cemento o con cal para darle mayor resistencia. Estos materiales son llevados a la obra, donde se acamellonan para poder llevar a cabo el cálculo del volumen y ver si existe algún faltante.

Cuando el material de banco tiene cierta humedad, ésta se calcula para saber si estamos por debajo o por encima de la humedad óptima de compactación, con ello logramos saber qué cantidad de agua debemos adicionarle, o bien, voltear el material para que por evaporación pierda el agua sobrante. El material acamellonado se abre parcialmente y se humedece con una cantidad de agua cercana a la óptima, siendo para los caminos una humedad menor a la obtenida en laboratorio.

El agua no se riega de una sola vez, sino que, se distribuye en varias pasadas, se hace un primer riego y la moto-niveladora abre una nueva cantidad de material, el cual coloca sobre el húmedo para que vuelva a pasar la pipa; esto se hace comúnmente en tres etapas, para después con la misma maquinaria, homogenizar la humedad. Cuando se llega a esto se distribuye el material en toda la corona para formar la capa con el espesor suelto necesario, debiendo cuidar que no se separe el material fino del grueso. Ya extendido se compacta con un rodillo liso o de neumáticos, o con una combinación de ambos hasta alcanzar el grado de compactación que marca el proyecto.

Cuando en las bases se alcanza la compactación de proyecto, ésta se deja secar superficialmente, se barre para retirar basura y partículas sueltas. Después de esto se le aplica un riego de emulsión asfáltica de fraguado lento o superestable que se conoce como riego de impregnación. Este elemento sirve para impermeabilizar y estabilizar la base y le ayudará a protegerla de la intemperie cuando no



se va a colocar una carpeta en poco tiempo, además favorece la adherencia entre la base y la futura carpeta. La cantidad por regar variará de acuerdo con la abertura de poro que presente la base, para conocer cuál es la cantidad adecuada se recomienda efectuar mosaicos de prueba, los cuales variarán de 0.6 a 1.2 lts/m² de emulsión. La SCT recomienda que este asfalto penetre dentro de la base de 3 a 5 mm, no debiendo quedar charcos o natas de asfalto que puedan desestabilizar la capa superior. "se recomienda no efectuar este tratamiento cuando amenace lluvia, cuando la temperatura sea menor de 5 ° C o bien, cuando exista mucho viento. La base impregnada puede abrirse al tránsito con un tiempo de reposo de 24 horas como mínimo, pero si lo ordena la secretaría se abrirá antes, esta capa se puede cubrir con arena para evitar que los vehículos se lleven la película de asfalto.

4.3.- ESTABILIZACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LOS MATERIALES

La estabilización consiste en agregar un producto químico o aplicar un tratamiento físico logrando así que se modifiquen las características de los suelos. 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 (común)
- Vibriplotación (mecánica de suelos)
- Consolidación previa.

QUÍMICAS.

- Cal. Económica para suelos arcillosos (disminuye plasticidad)
- Cemento Portland 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.

El mejoramiento anterior regularmente se hace en la sub-base, base y en carpetas asfálticas.

A continuación se mencionan los tipos de estabilización más comunes en México.

GEOTEXTILES

Los Geotextiles son 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. Se emplean como elementos de distribución de cargas en los pavimentos, en los taludes y en los cortes, ayudan a proteger de la erosión. Comúnmente se tienen tres tipos que se conocen como *material entrelazado* en forma perpendicular, *materiales de telas* unidas mediante un tejido de punto, y los menos usuales que son los *materiales no tejidos*, se recomienda seguir el siguiente procedimiento constructivo:

La capa inferior a la colocación del geotextil deberá estar totalmente terminada, en suelos muy blandos se puede cortar la vegetación al ras y se deberán rellenar las depresiones, se deberá estirar el geotextil para que no haya arrugas, dándole el traslape adecuado. Cuando sea necesario rellenar este material se colocará por delante para que el equipo de construcción no toque directamente el producto, y cuando se vaya a ser usado como refuerzo, deberá pasársele un equipo pesado y darle al menos cuatro pasadas. Los Geotextiles pueden aplicarse sobre pavimentos deteriorados de concreto hidráulico o asfáltico para colocar una sobre-carpeta; si se emplea como refuerzo evita que las grietas existentes en el pavimento se reflejen en la sobre-carpeta, si se usa como impermeabilizante deberá agregársele asfalto para formar una barrera, el beneficio que se tiene al usar este producto es el aumentar su vida útil al pavimento, disminuyen los costos de mantenimiento e incrementa su periodo de vida.



ESTABILIZACIÓN CON CAL

Es un método económico para disminuir la plasticidad de los suelos y darle un aumento en la resistencia. Los porcentajes por agregar varían del 2 al 6% con respecto al suelo seco del material por estabilizar, con estos porcentajes se consigue estabilizar la actividad de las arcillas obteniéndose un descenso en el índice plástico y un aumento en la resistencia. Es recomendable no usar más del 6% ya que con esto se aumenta la resistencia pero también tenemos un incremento en la plasticidad. Los estudios que se deben realizar a suelos estabilizados con cal son: límites de Atterberg, granulometría, valor cementante, equivalente de arena, VRS, compresión. Además también se realizan estos estudios para suelos estabilizados con puzolanas, cloruro de sodio y calcio, y cemento Portland del tipo flexible.

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO EMPLEANDO CAL

La capa inferior a la que se va a estabilizar, deberá estar totalmente terminada, el mezclado puede realizarse en una planta adecuada o en campo, obteniéndose mejores resultados en el primer caso, la cual puede agregarse en forma de lechada, a granel o en sacada. Cuando se efectúa el mezclado en el campo, el material que se va a mejorar deberá estar disgregado y acamellonado, se abre una parte y se le agrega el estabilizador distribuyéndolo en el suelo para después hacer un mezclado en seco, se recomienda agregar una ligera cantidad de agua para evitar los polvos. Después de esto se agrega el agua necesaria y se tiende la mezcla debiendo darle un curado de hasta 48 horas de acuerdo con el tipo de arcilla de que se trate. Se tiende la mezcla y se compacta a lo que marca el proyecto para después aplicarle un curado final, el cual consiste en mantener la superficie húmeda por medio de un ligero rocío. Se recomienda no estabilizar cuando amenace lluvia o cuando la temperatura ambiente sea menor a 5 ° C, además se recomienda que la superficie mejorada se abra al tránsito vehicular en un tiempo de 24 a 48 horas.

ESTABILIZACIÓN CON CEMENTO PÓRTLAND.

Al mejorar un material con cemento Portland se piensa principalmente en aumentar su resistencia, pero además de esto, también se disminuye la plasticidad, es muy importante para que se logren estos efectos, que el material por mejorar tenga un porcentaje máximo de materia orgánica del 34%. Existen dos formas o métodos para estabilizar con cemento Portland, unas llamadas estabilizaciones del *tipo flexible*, en el cual el porcentaje de cemento varía del 1 al 4%, con esto solo se logra disminuir



la plasticidad y el incremento en la resistencia resulta muy bajo, las pruebas que se les efectúan a este tipo de muestras son semejantes a las que se hacen a los materiales estabilizados con cal. Otra forma de mejorar el suelo con cemento, se conoce como *estabilización rígida*, en ella el porcentaje de cemento varía del 6 al 14%, este tipo de mejoramiento es muy común en las bases, ya que resulta muy importante que éstas y la carpeta presenten un módulo de elasticidad semejante, ya que con ello se evita un probable fracturamiento de la carpeta, ya que ambos trabajan en conjunto; para conocer el porcentaje óptimo por emplear se efectúan pruebas de laboratorio con diferentes contenidos de cemento.

PRUEBAS PARA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS, PARA SU EMPLEO EN BASES Y SUB-BASES CON CEMENTO PÓRTLAND, TIPO RÍGIDO.

Las pruebas utilizadas son: la proctor para conocer su peso específico, y la humedad óptima de compactación. Para este mismo método se elaboran especímenes para el ensaye de expansión y el de perdida por cepillado en ciclos de humedecimiento y secado, además de esto se le aplica una prueba a la resistencia de compresión sin confinar (simple)

MEJORAMIENTO CON PRODUCTOS ASFÁLTICOS.

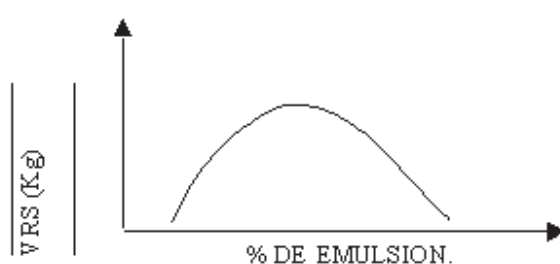
El material asfáltico que se emplea para mejorar un suelo puede ser el cemento asfáltico o bien las emulsiones asfálticas, el primero es el residuo último de la destilación del petróleo. Para eliminarle los solventes volátiles y los aceites. Para ser mezclado con material pétreo deberá calentarse a temperaturas 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 pétreos húmedos.

En las estabilizaciones, las emulsiones asfálticas son las más usadas ya que este tipo de productos si pueden emplearse con pétreos húmedos y no se necesitan altas temperaturas para hacerlo maniobrable, en este tipo de productos 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 las arcillas pero solo le procura impermeabilidad, resultando un método muy costoso, además con otros productos se logra mayor eficiencia y menor costo para los suelos plásticos. 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 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.



El procedimiento constructivo se desarrolla de la manera siguiente: la capa a mejorar ya tiene que estar completamente terminada. No hacer la estabilización con mucho viento, con temperaturas de menos de 5° C o lluvia. También se puede estabilizar con ácido fosfórico y fosfatos; fosfato de calcio (yeso), resinas y polímeros.



4.4.- CARPETA ASFÁLTICA

COMPUESTOS DE 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.

Anteriormente los cementos asfálticos se clasificaban por su dureza en:

CA-0 para climas fríos.

CA-6 para climas templados.

CA-10 para climas cálidos

Regionalización de los 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.

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 como el NAF. Por lo que para realizar un concreto asfáltico de calidad deberán tomarse en cuenta las siguientes características: a) enviar pétreos sanos, limpios y bien graduados, b) utilizar procedimientos constructivos adecuados y c) aplicar las temperaturas recomendadas. En algunas ocasiones será necesario adicionar algún aditivo.

Aplicación de los productos asfálticos.

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.



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.)

OBJETO O FINALIDAD DE MODIFICAR UN ASFALTO.

La finalidad de modificar a los asfaltos es la de mejorar sus propiedades para que presente un mejor comportamiento a los cambios climáticos y de temperatura. Además los hace más resistentes al envejecimiento, aumenta la capacidad de carga y de soporte, mejoran las condiciones de elasticidad, flexibilidad, cohesión y viscosidad, lo cual redundará en una mayor vida útil y en la disminución del espesor de la carpeta. El cemento asfáltico, para modificarlo se puede mezclar con materiales del tipo S-B-S (estireno butadieno-estireno), SBR (estireno butadieno-hule), productos EVA (productos termoplásticos además de polietilenos y podolefinas. Otro producto que también se emplea para darle mayor dureza es el hule molido de neumáticos y en algunas ocasiones la escoria de fundición.

PRINCIPALES PRUEBAS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS CEMENTOS ASFÁLTICOS.

- PESO ESPECÍFICO. Este ensaye se efectúa para ubicar las correlaciones necesarias de peso a volumen, varía con la temperatura, o al adicionarle algún otro material; regularmente el asfalto presenta una densidad mayor que el agua.
- SOLUBILIDAD TRICLOROETILENO. Este método sirve para detectar impurezas o materiales extraños que presente el asfalto, o bien algún elemento que no sea soluble al asfalto.
- PUNTO DE INFLAMACIÓN. Es una prueba de seguridad que se realiza para conocer a que temperatura provoca flama el material asfáltico.



- PUNTO DE REBLANDECIMIENTO. Por el método del anillo y la esfera, nos proporciona una medida a la resistencia del material a el cambio de sus propiedades de acuerdo a su temperatura.
- PENETRACIÓN A 25° C. Con esta prueba se determina la dureza que presentan los diferentes tipos de asfalto; de acuerdo a la dureza nos indica de qué tipo de cemento se trata.
- DUCTILIDAD A 25° C. Mide al alargamiento que presenta el asfalto sin romperse, la longitud del hilo de material se mide cuando se corta en cm, este ensaye además de indicarnos el tipo de asfalto nos da la edad del mismo; ya que si se rompe a valores menores a los establecidos nos indica que es un asfalto viejo y que ha perdido sus características, por consecuencia puede provocar grietas en la carpeta "cemento asfáltico crackeado" (viejo.)
- VISCOSIDAD SAYBOL FURQL. Nos ayuda a conocer la temperatura en la cual el asfalto es de fácil manejo. En esta prueba se mide el tiempo que tardan en pasar 60 cm³ de asfalto por un orificio de diámetro aproximadamente igual a 1 mm, este ensaye se efectúa a temperaturas que van de los 60 a los 135° C dependiendo del tipo de asfalto de que se trate.
- VISCOSIDAD ABSOLUTA A 60° C. Con esta prueba se clasifica el cemento. Consiste en hacer pasar hacia arriba el asfalto dentro de un tubo capilar bajo condiciones controladas de vacío y temperatura, el resultado se calcula de acuerdo al tiempo que tarda en pasar el asfalto de un punto a otro dentro del tubo, este tiempo se multiplica por una constante del equipo usado y la unidad que se maneja es el "poise" que es una fuerza de lgr/cm² y de acuerdo con la viscosidad que presente se clasifican los asfaltos.
- VISCOSIDAD CINEMÁTICA A 135° C. Con esta prueba se mide el tiempo en que un volumen de asfalto fluye a través de un viscosímetro capilar, de un orificio determinado. El tiempo se multiplica por un factor de calibración del viscosímetro, la unidad que emplea es el "centistokes". Esta unidad se basa en las relaciones de densidad de un líquido a la temperatura de prueba representada en lgr/cm³.
- PERDIDA POR CALENTAMIENTO. También llamada prueba de la película delgada; esta prueba estima el endurecimiento que sufren los asfaltos después de calentarse a temperaturas extremas (163° C) además nos determina los cambios que sufre el material durante el transporte, almacenamiento, calentamiento, elaboración y tendido



de mezcla. Se efectúa en películas de pequeño espesor que se someten a los efectos del calor y el aire, con ellos se evalúa el endurecimiento que presenta y la pérdida de su propiedades; después de efectuado este ensaye se efectúan pruebas de viscosidad, ductilidad, penetración y pérdida de peso.

PRUEBAS QUE SE EFECTUAN EN LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS.

- **CARGA ELECTRICA DE LA PARTÍCULA.** Se efectúa para identificar la polaridad de los glóbulos de asfalto en una emulsión teniendo carga eléctrica negativa las Aniónicas y positiva las catiónicas. Se aplica una carga de 8 mili-amperes y la emulsión se irá hacia el lado que presente carga contraria a la que ella tenga.
- **POTENCIAL DE HIDRÓGENO. (PH).** Consiste en conocer el grado de acidez o alcalinidad de la fase acuosa, además también nos indica el tipo de emulsión de que se trata sabiendo que las emulsiones *catiónicas* son ácidas y las *Aniónicas* son alcalinas.
- **DEMULSIBILIDAD.** La facilidad con que se rompen las emulsiones, esta prueba nos da una idea del tiempo adecuado para incorporar las emulsiones durante la elaboración de las mezclas asfálticas y consiste en pasar el material por la malla de 1.4 mm para efectuar otra destilación.
- **MEZCLABILIDAD CON CEMENTO PÓRTLAND.** Este ensaye permite conocer la estabilidad de los productos al mezclarlo con material fino, el ensaye consiste en agregar cemento Portland a la emulsión y después cribar la mezcla por la malla de 1.8 y 1.4, determinándose el retenido en cada una de las mallas no debiendo formar grumos los materiales.
- **CUBRIMIENTO DEL AGREGADO PÉTREO EN HÚMEDO.** Con este ensaye se estima que tanta afinidad existe entre la emulsión y el pétreo, nos permite observar cómo se porta esta unión ante la acción del agua, se recomienda emplear el material de la calizas mezclándose la emulsión y el suelo en diferentes porcentajes para después lavarlas y observar que porcentaje de asfalto cubre el pétreo, siendo un valor mínimo el 75%.
- **RESIDUO DE DESTILACIÓN.** Con esta prueba se obtiene el contenido de agua y disolventes que presenta la emulsión cuando se calienta a 260° C. Al residuo se le efectúan pruebas de penetración, ductibilidad y solubilidad para saber cómo le afecta la temperatura al cemento asfáltico.
- **VISCOSIDAD SAYBOL-FUROL.** A 25 y 50° C.
- **RETENIDO EN LA MALLA NÚMERO 20.** este ensaye nos indica si la emulsión presenta glóbulos de un tamaño muy grande, el procedimiento consiste en hacer pasar el asfalto o emulsión por la malla 20 y se observa que porcentaje se retiene en la misma.



- **ASENTAMIENTO EN 5 DÍAS.** Nos ayuda a conocer la homogeneidad que presentan los productos al ser almacenados y el ensaye consiste en dejar reposar durante 5 días el producto, y determinar las diferentes concentraciones que presente el asfalto.
-

DESCRIPCION 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 que debe cumplir el 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 los ensayos de *desgaste los ángeles, intemperismo acelerado, densidad y durabilidad*. C) la forma de la partícula deberá ser lo más cúbica posible, recomendamos 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 pétreo y el asfalto se pueden utilizar pruebas de desprendimiento por fricción, pérdida de estabilidad o bien, cubrimiento por el método inglés; en caso de que las características del 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 Circular 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.

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN PLANTA O EN CALIENTE.

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.

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA CARPETA.

En el lugar donde se va a colocar la carpeta, 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. En los aeropuertos además de lo anterior se pasa el equipo en la dirección perpendicular y oblicua con respecto al eje del camino. 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%.) la compactación deberá terminar cuando se llegue a esta posición y para comprobarlo se efectuarán calas, para esto se corta en frío usando un chaflán y procurando no dañar la base, para de esa manera realizar los ajustes necesarios. 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 conocer la permeabilidad de la carpeta, se realizará en ella una prueba de campo, la cual consiste en colocar un aro de lámina galvanizada de 250mm de diámetro y una altura de 50mm, se sella el aro y se coloca al centro un cono de bronce de 25mm de altura, se agrega agua hasta el ras del cono observando que no baje este nivel en un tiempo de 10 min. El índice de permeabilidad del material se calcula con la siguiente ecuación:

$IP = V_t / V_f \times (1247 \text{ cm}^3)$ donde

V_t = volumen delimitado en el interior del aro y cuyo valor es de 1247 cm^3

V_f = volumen final.

La carpeta deberá presentar un índice de permeabilidad menor del 10%. Por último en la carpeta se agrega un riego de sello, el cual consiste en una emulsión, la cual se cubre con un material pétreo del tipo 3E, esto se compacta para que penetre en la carpeta y con ello evitar que se introduzca el agua en ella, además protege del desgaste y proporciona una superficie antiderrapante. En algunos casos se puede emplear un mortero asfáltico que consiste en la mezcla de una emulsión y un material pétreo (arena) que se emplea comúnmente cuando se va a utilizar un camino que ya ha tenido cierto uso, a este tratamiento se le conoce como "*slurri seal*". En la actualidad, en algunos casos cuando el lugar donde se coloca la carpeta es de precipitación pluvial muy alta, se recomienda colocar sobre de esta una mezcla de textura abierta la cual se conoce como "*open grade*", este tratamiento ayudará a que no se formen charcos en la superficie los cuales pueden provocar accidentes por el fenómeno conocido como *acuaplaneo*.



EMPLEO DE MORTERO ASFÁLTICO

Es una capa delgada formada por arena, emulsión asfáltica y finos de relleno mineral. Se puede emplear para rellenar grietas en pavimentos para sellar superficies porosas e impermeabilizar.

FORMULAS PARA OBTENER EL CONTENIDO MÍNIMO DE ASFALTO CON MATERIAL QUE CONTIENE FINOS.

Tabla 1. Valor de la constante de área específica

Material que pasa la malla	Se retiene en la malla	Constante de área específica
1 ½	¾	0.27
¾	No. 4	0.41
No. 4	No. 40	2.05
No. 40	No. 200	15.38
No. 200		53.30

Tabla 2. Índice asfáltico

Material	Índice asfáltico
Gravas o arenas de río o material redondeado	0.0055
Gravas angulosas o redondas trituradas de baja absorción	0.0060
Gravas o arenas redondas de alta absorción y rocas trituradas de absorción media	0.0070
Roca triturada de alta absorción	0.0080

El espesor de los pavimentos de tipo flexible se puede determinar empleando diferentes métodos, sin embargo, en México se fija según el valor relativo de soporte modificado (V.R.S.) del suelo que forma las terracerías ya compactadas al mínimo especificado.



Para fijar este mínimo de compactación es necesario que las terracerías se estudien con mucho cuidado mediante la *Razón de compactación* a fin de que en el campo se de un peso volumétrico seco adecuado.

Se aconseja el método de la *Razón de compactación* porque el permite calificar con bastante precisión el grado de compactación de una estructura de suelo y establecer concretamente los requisitos que deben cumplir los terraplenes, sub-bases y bases para comportarse con eficacia.

Es necesario recordar que algunos materiales en especial las arcillas expansivas, si se les compacta en forma excesiva presentan cambios volumétricos mayores, y además, con el tiempo, pierden algo de su alta compactación.

4.5. - PROYECTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Para poder comenzar a hablar de un proyecto de pavimentos flexibles, necesitamos entender y distinguir las principales características que determinaran nuestro diseño de espesor de carpeta.

Una de las características primordiales que afectaran nuestro camino, son las cargas que efectuaran presión sobre ella, a continuación aprenderemos la forma en que se efectúan estas cargas.

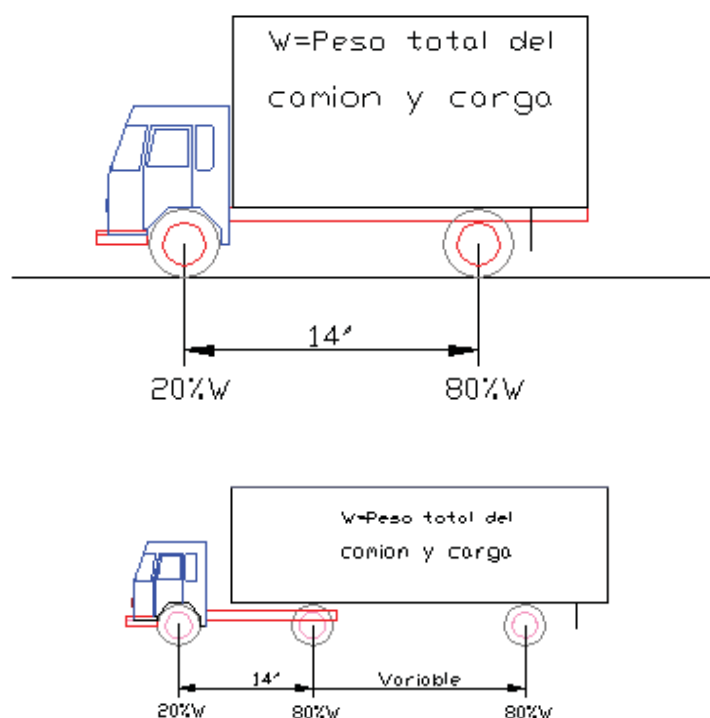
Cargas de proyecto.

Las cargas de proyecto consideradas para el cálculo de las estructuras son: cargas muertas, cargas vivas, impacto, presión de viento, etc. en lo siguiente estudiaremos las cargas vivas, ya que son de mayor preponderancia en nuestro diseño.

De acuerdo con las especificaciones de la American Association State Highway and Transportation Officials (A.A.S.H.T.O.) las cargas se conocen con la designación H y HS.

Un camión de dos ejes es una carga H. A continuación de la letra se coloca un número (10, 15, 20) que indica el peso bruto en toneladas del sistema inglés (2000 lb.) del camión especificado como carga.

Las cargas HS corresponden a un camión tractor, de dos ejes con un semirremolque de un solo eje. Los números que se colocan a continuación de la H y de la S representan el peso bruto, en toneladas del sistema inglés, del tractor y del semirremolque, respectivamente. El 80% del peso bruto del camión o del camión tractor cae en sus respectivos ejes posteriores. Al eje del semi remolque se le supone siempre una carga igual a la del eje posterior del camión tractor.



De acuerdo con lo anterior tenemos que un camión **H 20**, es un camión de 40,000 lb. De las cuales el 80%, o sean 32,000 lb.; corresponden al eje trasero y 20%, o sean 8,000 lb. Corresponden al eje delantero. De igual manera una carga **H 20 S 16** representa un camión tractor de 40,000 lb; con un semirremolque de 32,000 lb.

En este caso la distribución por eje es de 32,000 lb. Para el eje trasero del tractor, 32,000 lb. Para el eje del semirremolque y de 8,000 lb. Para el eje delantero del tractor.

Las cargas anteriores son las llamadas cargas tipo y corresponden a una separación de 14 pies de distancia entre ejes del camión. La distancia entre el eje posterior del camión tractor y el eje del semirremolque varían entre 14 y 30 pies, calculándose siempre en las condiciones más desfavorables.

Cuando se carga un camión o un remolque, la carga se distribuye entre los ejes en proporciones determinadas que pueden ser calculadas; para ello es necesario conocer:

- el peso propio del camión vacío en cada eje
- el peso de la carga útil
- distancia entre ejes y entre cada eje y el centro de la carga útil.

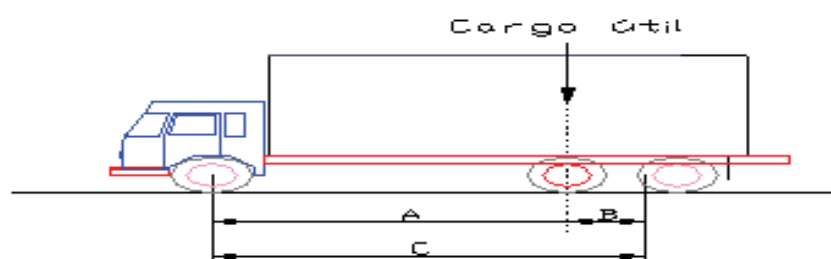
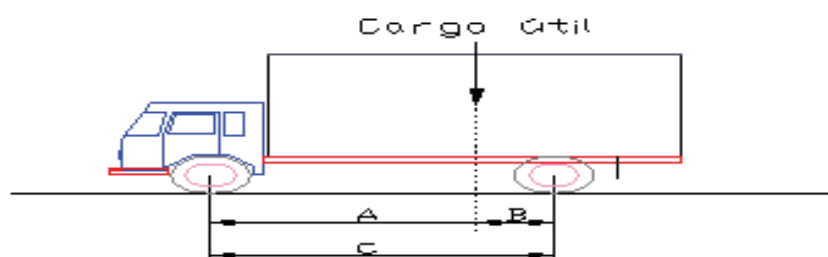


Si A es la distancia del eje delantero al centro de la carga útil, B la distancia del eje trasero al centro de la carga útil y C la distancia entre ejes, se tendrá:

Carga útil sobre el eje trasero = $A/C \times \text{carga útil}$

Carga útil sobre el eje delantero = $B/C \times \text{carga útil}$

Se resolverá el caso de un camión con uno y con dos ejes posteriores.



Peso del camión vacío

Eje delantero = 1365 kg.

Eje trasero = 2270 kg.

Carga útil = 2730 kg.

Distancia A = 432 cm.

Distancia B = 48 cm.

Distancia C = 480 cm.



- Carga útil sobre el eje trasero:

$$\left(\frac{432}{480}\right) \times 2730 = 2457 \text{ kg}$$

- Carga útil sobre el eje delantero:

$$\left(\frac{48}{480}\right) \times 2730 = 273 \text{ kg}$$

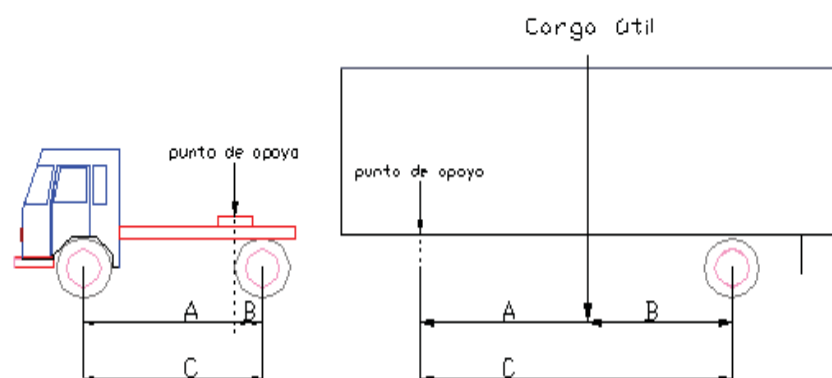
- Peso total sobre el eje trasero:

$$2270 + 2457 = 4727 \text{ kg}$$

- Peso total sobre el eje delantero:

$$1365 + 273 = 1638 \text{ kg}$$

Se verá ahora el caso de un camión tractor con semi remolque. En este caso, antes de analizar la distribución de la carga en el tractor es necesario calcular la carga útil en el punto de apoyo del semirremolque (quinta rueda) ya que la carga útil en este punto de apoyo es igual a la carga útil total sobre el tractor.





1. Calculo de las cargas del semirremolque:

Peso en el eje del semi remolque vacío = 2730 kg.

Distancia A = B = 280 cm.

Distancia C = 560 cm

Carga útil = 9100 kg

La carga útil sobre el eje del semi remolque es:

$$\left(\frac{280}{560}\right) \times 9100 = 4550 \text{ kg}$$

El peso total sobre el eje del semi remolque es:

$$(2730 + 4550 = 7280 \text{ kg})$$

Ahora, como A = B, la carga útil sobre el punto de apoyo, o sea la carga útil sobre el camión tractor será de 4550 kg; ya que el peso del semi remolque vacío sobre el punto de apoyo va incluido en el peso vacío del eje trasero del camión tractor.

Calculo de las cargas en el camión tractor:

Peso del camión tractor vacío:

Eje delantero = 2270 kg

Eje trasero = 3180 kg.

Carga útil calculada = 4550 kg.

Distancia A = 355.6 cm

Distancia B = 50.8 cm

Distancia C = 406.4 cm



La carga útil sobre el eje posterior es:

$$\left(\frac{355,6}{406,4} \right) \times 4550 = 3984 \text{ kg}$$

El peso total sobre el eje posterior del camión tractor será:

$$3984 + 3180 = 7164 \text{ kg}$$

La carga útil sobre el eje delantero es:

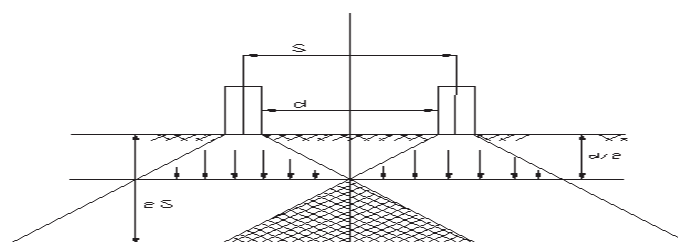
$$\left(\frac{50,8}{406,4} \right) \times 4550 = 566 \text{ kg}$$

La carga total sobre el eje delantero del camión tractor es:

$$566 + 2270 = 2830 \text{ kg}$$

Carga por rueda para diseño.

La profundidad a la cual los esfuerzos resultantes, dados por ruedas duales, son iguales a los de una rueda sencilla depende de la separación entre las mencionadas ruedas duales. Cerca de la superficie las ruedas duales actúan independientemente como se pueden observar en la figura siguiente. Sin embargo, a profundidades mayores los esfuerzos provocados por ellos se traslapan, pero ellos son menores a medida que la profundidad crece, llegándose a un punto en que dichos esfuerzos son despreciables. Por medio de análisis teóricos y por medidas directas de los esfuerzos en pavimentos, se ha establecido la relación que hay entre la profundidad y la separación que hay entre las ruedas duales, teniéndose que a la profundidad, aproximada, de $d/2$ las ruedas dejan de actuar independientemente y los esfuerzos bajo el pavimento comienzan ahí a combinar sus efectos debido a las dos ruedas, haciéndose despreciable este efecto a la profundidad de $2S$, como se muestra en la figura siguiente.





Los cálculos para determinar la carga por rueda equivalente pueden basarse ya sea en el criterio de la igualdad de deformación o en el criterio de igualdad de esfuerzos. Es decir que si se conoce la máxima deflexión que ocurre bajo un conjunto de ruedas duales, una deflexión que ocurra de la misma cantidad bajo una rueda sencilla, indica que esa rueda es equivalente a las ruedas duales. Lo mismo se puede decir, aproximadamente, acerca de lo que ocurre con los esfuerzos.

A profundidades pequeñas, las máximas deflexiones ocurren bajo una rueda, mientras que a mayores profundidades las deflexiones mayores ocurren bajo el centro del conjunto de las dos ruedas.

La deflexión bajo una rueda simple y la deflexión bajo un conjunto de ruedas duales vienen dadas por las expresiones que siguen, mismas que provienen de la ecuación de asentamiento dada por Boussinesq para deflexiones al centro de un plato flexible:

$$\Delta = \left(\frac{P \cdot a}{E} \right) F \quad \text{en la que}$$

$F = \left(\frac{3}{2} \right) \frac{1}{(1 + (Z/a))^2}$, y que vale 1.5 cuando la carga esta colocada en la superficie, o sea cuando $Z = 0$, pues "F" depende de la relación Z/a .

De acuerdo con la ecuación anterior, para una presión por rueda constante, la deflexión bajo una rueda simple es de

$$\Delta_1 = \frac{P a_1}{E} F_1 \quad \text{y para ruedas duales vale} \quad \Delta_2 = \frac{P a_2}{E} (F_1 + F_2)$$

En todas estas expresiones:

P = presión de la llanta

a1 = radio de contacto de la rueda simple

a2 = radio de contacto para cada llanta de un set de ruedas duales

F1 = factor de asentamiento para rueda simple

F'1 = factor de asentamiento contribuido por una llanta de las duales

F'2 = factor de asentamiento contribuido por la otra llanta de las duales

E = modulo de elasticidad del suelo



Empleando el criterio de dobles deflexiones se tiene:

$$\frac{P\delta_1}{E} F_1 = \frac{P\delta_2}{E} (F_1 + F_2)$$

Remplazando en la ecuación anterior los valores:

$$\frac{P\delta_1}{E} = \sqrt{P_1} \dots Y \dots \frac{P\delta_2}{E} = \sqrt{P_2}$$

Se tiene:

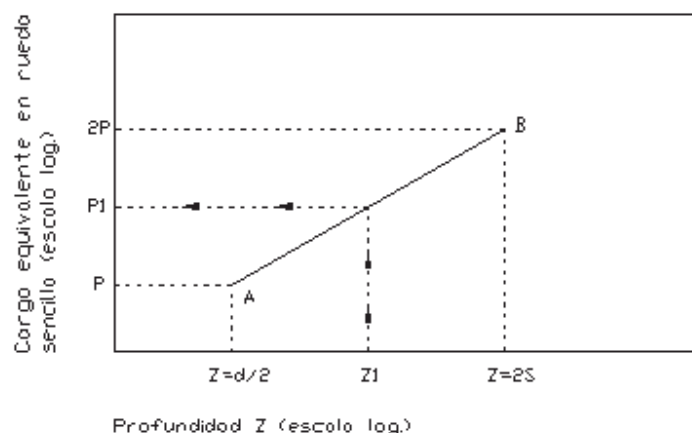
$$\sqrt{P_1} \cdot F_1 = \sqrt{P_2} (F_1 + F_2)$$

En la que P_1 = carga sobre la rueda simple, y P_2 es la carga sobre cada una de las ruedas duales.

Si se desea convertir un set de ruedas duales a una carga equivalente de rueda sencilla empleando el criterio de deflexiones, se tiene que se conoce el valor P_2 sobre cada rueda dual, se buscan en una grafica los valores máximos de F_1 y F_2 y se determinan los valores de P_1 y F_1 de tal manera que el producto $\sqrt{P_1} \cdot F_1$ sea igual a $\sqrt{P_2} (F_1 + F_2)$

El cuerpo de ingenieros del ejército americano presenta un método grafico para determinar la carga equivalente por rueda.

Asumiendo una relación lineal entre las profundidades $d/2$ y $2S$ puede, derivarse una relación para determinar la equivalencia a ruedas duales. La figura siguiente indica el método para determinar la carga sencilla equivalente a cualquier set de ruedas duales.





Se grafica el espesor del pavimento en la escala horizontal y se dibuja el punto de coordenadas (P , $d/2$). De igual modo, a la profundidad de $2S$ y con una carga por rueda de $2P$ el punto representa la profundidad al cual los efectos de los esfuerzos traslapados son despreciables. Una línea recta de A a B marca los puntos donde cualquier carga por rueda resulta equivalente a un set de ruedas duales.

Este método también sirve para transformar cargas duales en tándem a rueda sencilla. La distancia d es igual, en este caso, al claro libre entre las ruedas duales, y la distancia S se toma como la distancia diagonal entre los centros de las llantas duales del tándem. El procedimiento que se sigue para determinar el valor de la carga equivalente es el siguiente:

- suponga un espesor aproximado del pavimento
- determine la carga simple equivalente con el grafico del cuerpo de ingenieros
- determine el espesor del pavimento empleando el valor determinado de la carga por rueda simple
- compruebe el espesor con el asumido. Repita el proceso.



4.6. - DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE POR EL PROCEDIMIENTO DEL INSTITUTO NORTEAMERICANO DEL ASFALTO.

El procedimiento propuesto por el instituto norteamericano del asfalto con metodología de diseño de los pavimentos flexibles, se refiere básicamente a carreteras, y consiste en determinar el espesor de la estructura del pavimento, de acuerdo con los siguientes datos:

- volumen de tránsito a prever (NTD)
- parámetro que representa la resistencia y deformabilidad del material de apoyo o terracería (VRS y/o valor portante K)
- calidad general de los materiales disponibles
- procedimientos previstos para la construcción

El tránsito previsto se refiere al denominado número de tránsito para diseño (NTD), que es el promedio diario de cargas equivalentes de 8.2 Ton (18000 lb), dispuestas en un eje sencillo, que se esperan durante el periodo de diseño de la obra, normalmente fijado en 20 años por la propia institución.

Las propiedades mecánicas básicas del material de terracería, capa Subrasante, subbase y base, se establecen por medio de las pruebas usuales en la tecnología actual de los pavimentos.

El instituto del asfalto da el espesor necesario de cubrimiento, sobre un material determinado, en términos de un espesor de concreto asfáltico, el cual puede traducirse en diversas alternativas de estructuración, a base de las capas usuales, empleando los factores de equivalencia, que más adelante se detallan.

Una vez que se ha determinado el valor índice de la resistencia del material y el NTD aplicable al caso, el espesor necesario de cubrimiento se obtiene con el monograma de espesores de carpeta asfáltica, (adelante visto).



Procedimiento del método.

a) Evaluación del tránsito de vehículos

1.- cálculo del tránsito diario inicial (TDI)

Para tal propósito, deberá comenzarse por establecer con base en estudios previos de tránsito, el número medio diario de vehículos que se han de esperar en el camino, durante el primer año de su operación. Este número se denomina Tránsito Diario Inicial (TDI) y su valor es el correspondiente al tránsito promedio diario anual (TDPA).

$$\text{TDI} = \text{TDPA}$$

2.- cálculo del número promedio diario de vehículos pesados en el carril de diseño, en una dirección (N).

Con base en datos de aforo y clasificación vehicular del tránsito válido al caso, ha de determinarse también el porcentaje de vehículos pesados que existirá en ese primer año llegando incluso a definir cuanto de ese porcentaje corresponde al carril del diseño

El propio instituto del asfalto, indica cual es la distribución de vehículos pesados que conviene considerar en el carril de diseño, en los diferentes casos.

$$N = \text{TDI} \times A/100 \times B/100$$

En donde:

A es el porcentaje de camiones pesados en dos direcciones. Se efectúa la suma del número de vehículos pesados (S VP), de acuerdo con la clasificación vehicular correspondiente y se calcula el porcentaje de vehículos pesados respecto al TDPA.

$$B = (S \text{ VP} / \text{TDPA}) 100$$

B es el porcentaje de camiones pesados en el carril de diseño y se obtiene su valor de la siguiente tabla.



Porcentaje del tránsito total de vehículo pesados en dos direcciones que deberá considerarse en el carril de diseño

<i>No. Total de carriles en la carretera</i>	<i>% de camiones a considerar en el carril de diseño</i>
2	50
4	45 (oscila entre 35 y 48)
6 o más	40 (oscila entre 25 y 48)

3.- cálculo del peso promedio de los vehículos pesados (Ppc)

$$Ppc = S \text{ (No. De vehículos) (peso total vehículo) } / S VP$$

4.- limite de carga legal por eje sencillo, establecido por las autoridades

En México, se utiliza como estándar un eje sencillo, soportando una carga total de 8.2 Ton. (18000 lb), es decir, 4.1 Ton. Por rueda.

5.- cálculo del numero de transito inicial (NTI)

Con toda la información anterior podrá establecerse el numero de transito inicial (NTI), haciendo uso del monograma siguiente.

El procedimiento para utilizar el monograma es el siguiente:

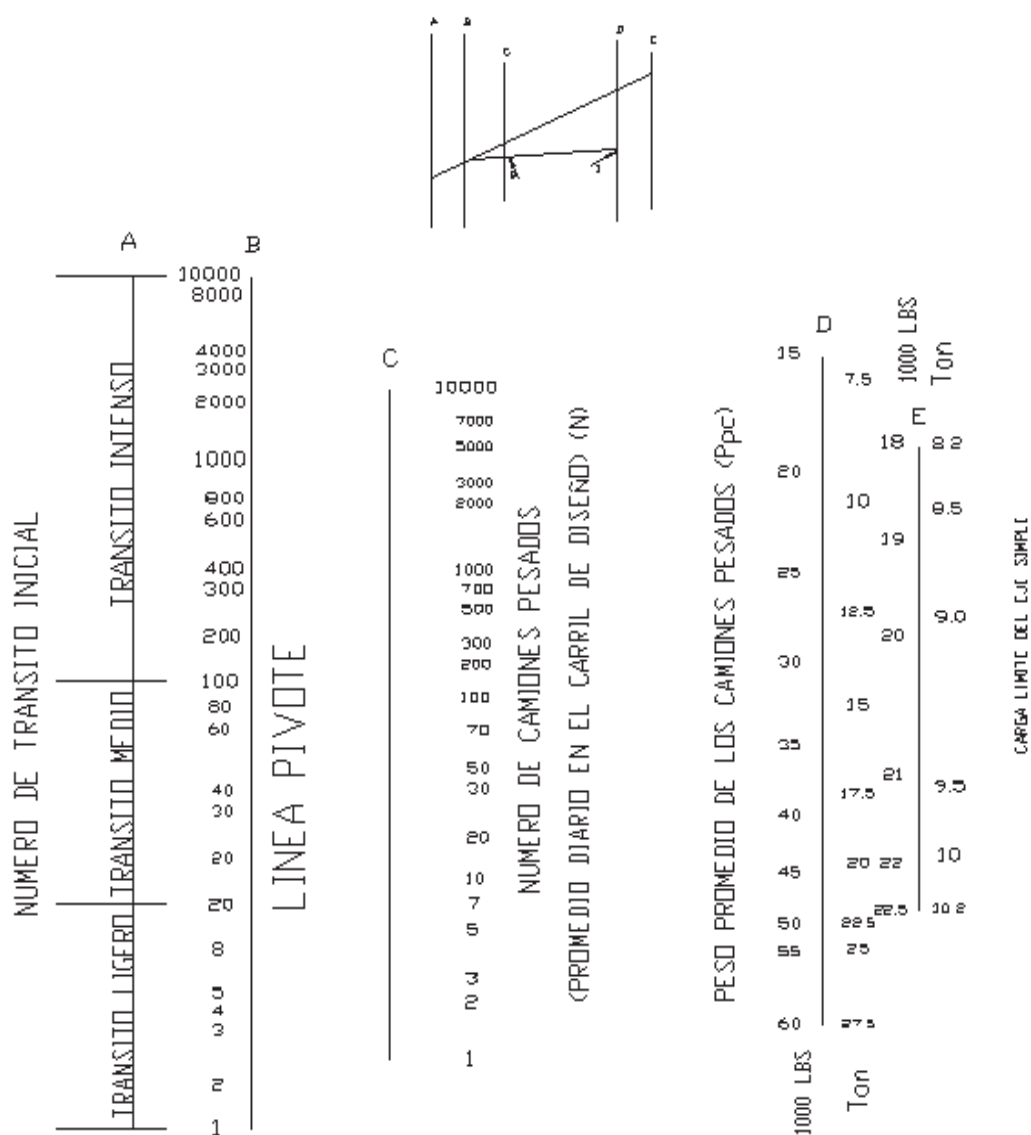
Fíjese en la escala D el peso promedio de la carga de los camiones pesados (Ppc). Únase ese punto con el número de camiones pesados en el carril de diseño (N), sobre el eje (C) la línea anterior deberá prolongarse hasta cortar el eje (B). Fíjese ahora en el eje (E) el limite de carga legal para eje sencillo (8.2 Ton); ese punto deberá unirse con el anterior encontrando sobre el eje (B), y esa línea deberá prolongarse hasta el eje (A), sobre el que podrá leerse el (NTI).



6.- cálculo del numero de transito de diseño (NTD).

Con el periodo de diseño del pavimento considerado, que será usualmente de 20 años, y la tasa de crecimiento anual de transito, podrá buscarse en la tabla de Factores de Corrección del NTI, el factor de corrección que deberá aplicarse al NTI, de manera que el producto de las cantidades, es el numero de transito de diseño (NTD) que figura en el monograma de espesor total de cubrimiento.

$$NTD = (NTI) (\text{FACTOR DE CORRECCIÓN})$$



Carta de análisis de tránsito del instituto norteamericano del asfalto



FACTORES DE CORRECCIÓN DEL NTI, PARA OBTENER EL NTD

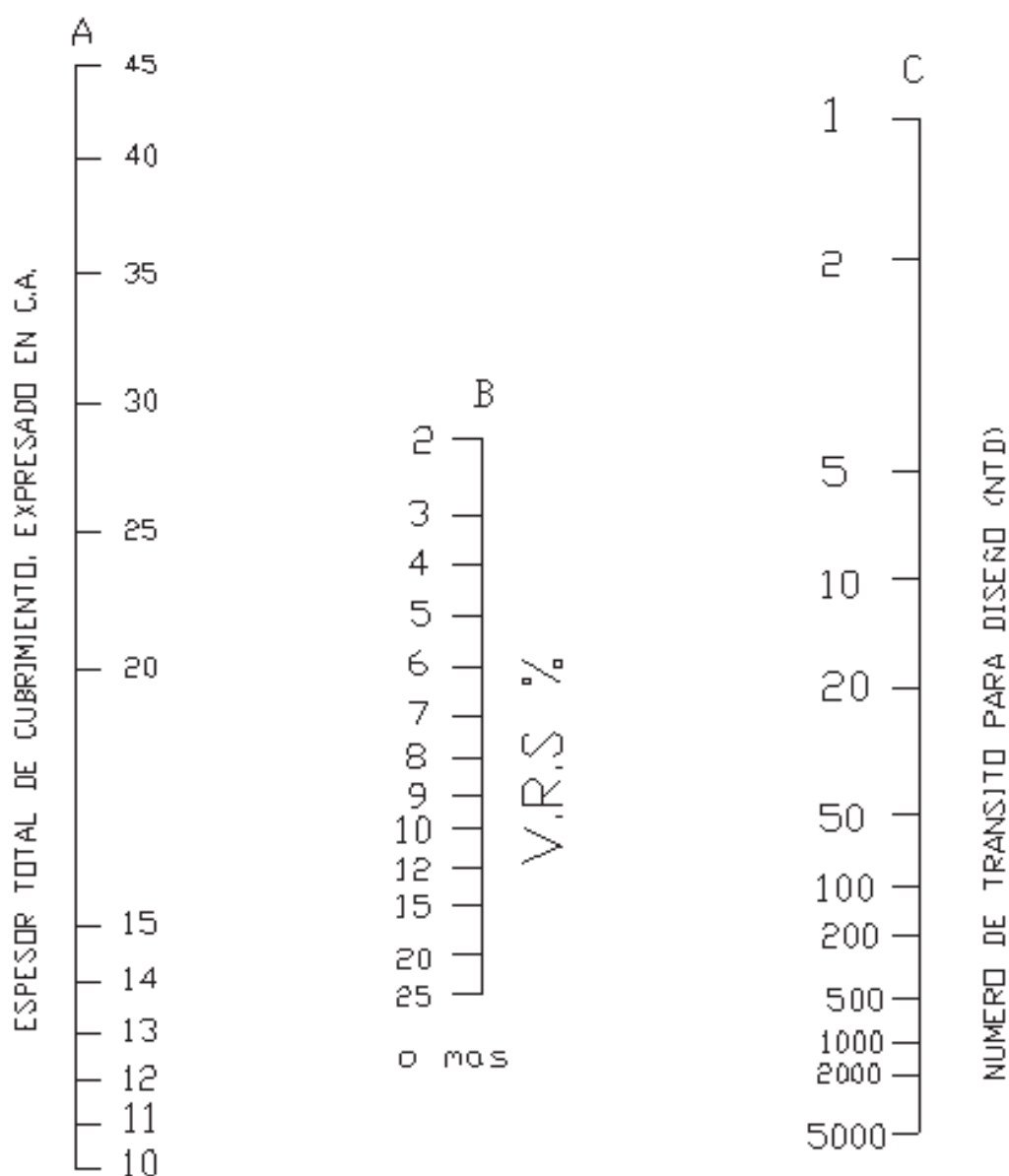
PERIODO DE DISEÑO	TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DEL TRANS.					
AÑOS	0	2	4	6	8	10
1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
2	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
4	0.20	0.20	0.21	0.22	0.22	0.23
6	0.30	0.32	0.33	0.35	0.37	0.39
8	0.40	0.43	0.46	0.50	0.53	0.57
10	0.50	0.55	0.60	0.66	0.72	0.80
12	0.60	0.67	0.75	0.84	0.95	1.07
14	0.70	0.80	0.92	1.05	1.21	1.40
16	0.80	0.93	1.09	1.28	1.52	1.80
18	0.90	1.07	1.28	1.55	1.87	2.28
20	1.00	1.24	1.49	1.84	2.29	2.86
15	1.25	1.60	2.08	2.74	3.66	4.92
30	1.50	2.03	2.80	3.95	5.66	8.22
35	1.75	1.50	3.68	5.57	8.62	13.55



b) análisis estructural del pavimento

1.- cálculo del espesor necesario de cubrimiento de concreto asfáltico.

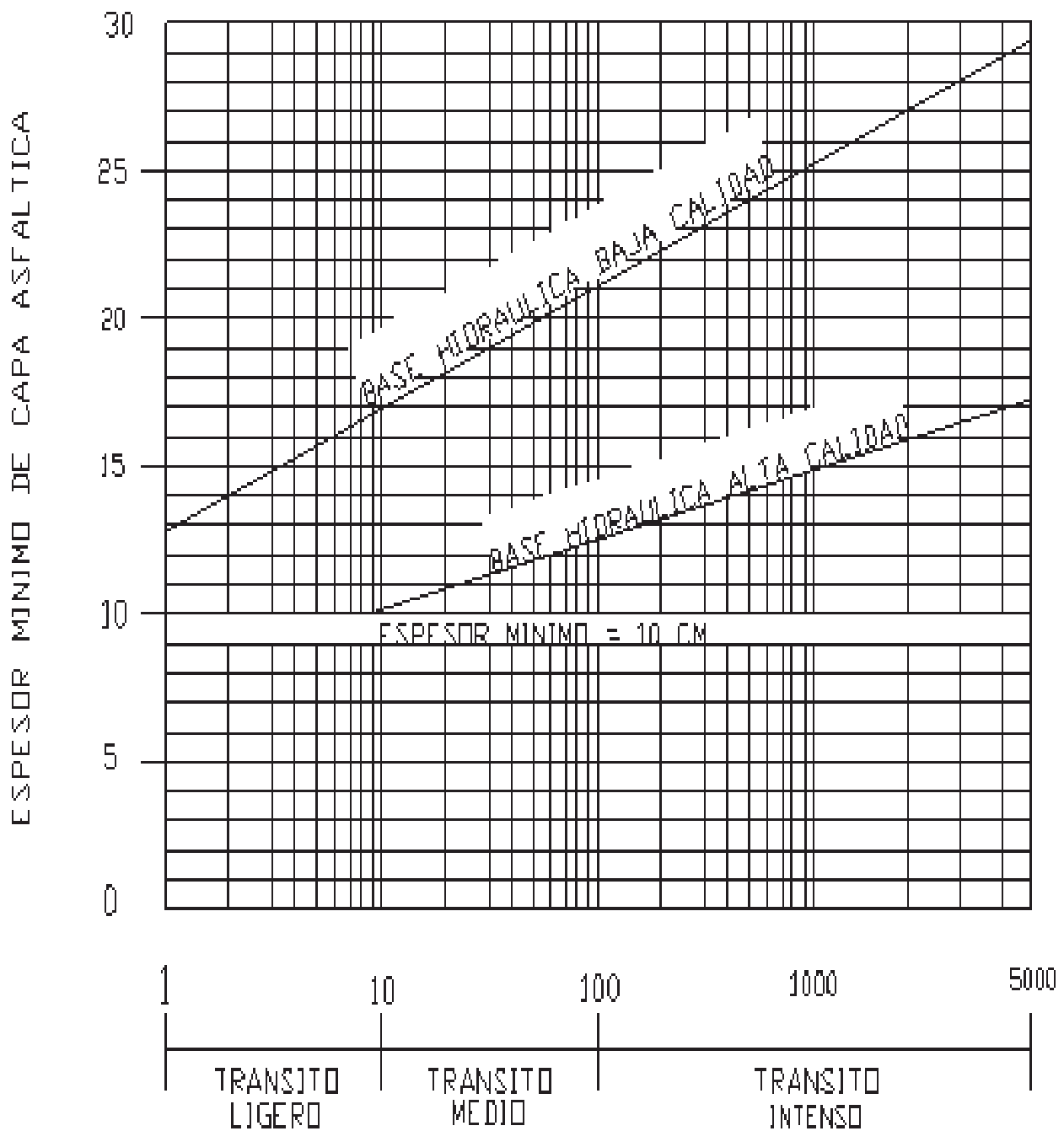
Con los datos del V.R.S. y el N.T.D., aplicable al caso, se entra en el monograma de la siguiente figura, y se obtiene el espesor total del pavimento, dado en concreto asfáltico.





2.- cálculo del espesor mínimo de carpeta asfáltica (E_m)

En la gráfica de la siguiente figura, se obtiene el espesor mínimo de carpeta asfáltica (E_m), requerido por un determinado tipo de base hidráulica.





NUMERO DE TRANSITO PARA DISEÑO (NTD)

REQUISITOS MINIMOS PARA MATERIALES DE BASES HIDRÁULICAS

TIPO DE PRUEBA	NORMAS	
	BAJA CALIDAD	ALTA CALIDAD
VRS MÍN	20	100
LL Max	25	25
IP Max	6	NP
Equivalente de arena	25	50
Finos (% Max)	12	7

El instituto del asfalto, especifica los espesores mínimos de concreto asfáltico que deben colocarse en la carpeta del pavimento cuando se utilizan bases asfálticas. Estos valores aparecen en la siguiente tabla.

ESPESORES MINIMOS PARA CARPETAS DE CONCRETO ASFALTICO SOBRE BASES ASFÁLTICAS

<i>NUMERO DE TRANSITO DE DISEÑO (NTD)</i>	<i>ESPESOR MINIMO (cm)</i>
Menor que 10 (transito ligero)	5
Entre 10 y 100 (transito medio)	7
Mayor de 100 (transito intenso)	10



3.- Calculo del espesor de la base granular.

Esp. Base granular en concreto asfáltico = $E_t - E_m$

El espesor real de la base, se obtiene multiplicando el espesor de la base granular, dado en concreto asfáltico, por un factor de equivalencia correspondiente a una base granular, este factor se obtiene mediante el uso de la siguiente tabla.

FACTORES DE EQUIVALENCIA ENTRE CAPAS CONVENCIONALES Y CAPAS DE CONCRETO ASFALTICO, EN CUANTO A ESPESOR	
<i>CAPAS CONVENCIONALES</i>	<i>FACTOR DE EQUIVALENCIA</i>
Bases asfálticas de arena, mezcla en planta	1.3
Bases asfálticas elaboradas con asfalto liquido o emulsificado	1.4
Bases granulares de alta calidad (VRS > 100%)	2.0
Bases granulares de baja calidad (VRS > 20%)	2.7

El espesor de la capa de súbbase y de la capa Subrasante se obtiene por especificación.

Ejemplo:

Diseñar la sección estructural de un pavimento flexible empleando el método anterior. Los datos generales son los siguientes:

Los materiales que forman las terracerías son generalmente de origen volcánico y están constituidos por limos inorgánicos de mediana plasticidad y de baja a alta compresibilidad. También se encuentran algunas mezclas de suelos y fragmentos pequeños de roca, cuyas características son muy variables.



- VRS Subrasante = 20%
- VRS sub-base = 30%
- VRS base = 100%
- No. De carriles = 2
- $r = 6\%$
- $n = 20$ años

CLASIFICACIÓN VEHICULAR		
<i>TIPO DE VEHICULO</i>	<i>TDPA</i>	<i>PESO TOTAL DEL VEHICULO</i>
A-2	1500	2.0 Ton.
A'2	150	5.5
B2	60	15.5
C2	95	15.5
C3	80	23.5
T2-S1	30	25.5
T2-S2	15	33.5
T3-S3	10	35.5
	1940	



a).- EVALUACIÓN DEL TRANSITO DE VEHICULOS

1.- transito diario inicial = transito promedio diario anual

$$TDI = TDPA = 1940 \text{ vehículos}$$

2.- el número de camiones pesados en el carril de diseño se calcula mediante la siguiente formula.

$$N = TDI (A/100) (B/100)$$

$$A = (S VP / TDPA) 100$$

$$S VP = B2+C2+C3+T2-S1+T2-S2+T3-S3 =$$

$$60+95+80+30+15+10 = 290$$

$$A = (290/1940)100 = 14.95 \%$$

El valor de **B** se calcula de la tabla de porcentaje de transito total de vehículos pesados para una carretera de dos carriles

$$B = 50 \%$$

$$N = 1940 (14.95/100) (50/100) = 145$$

3.- peso promedio de los vehículos pesados (Ppc).

$$Ppc = \frac{(60)(15.5) + (95)(15.5) + (80)(23.5) + (30)(25.5) + (15)(33.5) + (10)(35.5)}{290} = 20 \text{ Ton}$$

4.- limite de carga legal = 8.2 Ton

5.- se calcula el NTI, entrando a la grafica de análisis de transito del instituto norteamericano del asfalto.

$$NTI = 130 \text{ vehículos (transito intenso)}$$



6.- cálculo del NTD, el factor de corrección se obtiene de la grafica de factor de corrección del NTI, para una $n = 20$ años y un $r = 6\%$ el factor es de 1.84

$NTD = (NTI) (\text{factor})$

$NTD = (130) (1.84) = 240 \text{ VEHICULOS}$

b).- ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO.

1.- para el diseño del espesor total (E_t), se considera un valor de VRS Subrasante de 20% y de $NTD = 240$.

Mediante el empleo del monograma de espesor total de cubrimiento se obtiene un espesor total de:

$E_t = 14 \text{ cm. (de concreto asfáltico)}$

2.- en la tabla de espesor mínimo de carpeta asfáltica se podrá obtener el dicho (E_m) requerido para una base hidráulica de alta calidad, el cual en este caso da el resultado siguiente:

$E_m = 13.8 \text{ cm. (de concreto asfáltico)}$

3.- cálculo del espesor de la base granular.

$\text{Espesor de base granular de concreto asfáltico} = E_t - E_m = 14 - 13.8 = 0.2 \text{ cm}$

El espesor real de la base es:

$\text{Espesor de base granular de concreto asfáltico} \times \text{factor de equivalencia.}$

El factor de equivalencia lo podemos obtener de la tabla de factores de equivalencias entre capas convencionales y capas de concreto asfáltico, el cual nos arroja un resultado de 2.0 %

$\text{Espesor real de la base} = (0.2) (2.0) = 0.40 \text{ cm}$

Las especificaciones de la SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México), proponen 15 cm de espesor mínimo de base cuando $SVP < 1000$ vehículos.

Por lo tanto, el espesor de la base hidráulica es de 15 cm.



4.7. - DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE POR EL METODO DE LA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MÉXICO.

El instituto de ingeniería de la UNAM, se ha basado en la tipificación de tránsito y en los coeficientes de daño de los diferentes tipos de vehículos, que pueden obtenerse a partir de las pruebas AASHTO, para obtener su propia tabla de tipificación y sus propios coeficientes de daño. Con base en experiencias realizadas en la pista circular de pruebas y en el estudio de comportamientos en tramos experimentales que la propia institución controla en diversos puntos de la red mexicana de carreteras, el instituto diversificó un tanto la evaluación de daños producidos por los diferentes vehículos en los pavimentos, distinguiéndolos en profundidades de 0, 15, 22.5 y 30 cm.

1.- cálculo del tránsito equivalente acumulado (S L)

El volumen del tránsito real mezclado (TDPA) se convierte a tránsito equivalente de ejes sencillos de 8.2 toneladas, mediante la aplicación adecuada de los coeficientes de daño por tránsito para vehículos tipo.

En la siguiente tabla se representa el procedimiento para transformar el tránsito mezclado al correspondiente tránsito equivalente a ejes sencillo de 8.2 Ton. Referido al carril de diseño, en esta tabla se consideran que todos los vehículos transitan cargados en ambas direcciones.

1	2			3		4			5		6	
Tipo de vehículo		TDPA		Coeficiente de distribución			No. Veh. Car. De diseño		Coef. De diseño Z=0 Z=15		No. De ejes 8.2 Ton Z=0 Z=15	
Total To T' o												
vehículo	eje	Peso (ton)		P Kg/cm2	cargado				vacío			
		cargado	Vacío		Z=0	Z=15	Z=22.5	Z=30	Z=0	Z=15	Z=22.5	Z=30
A2	1	1.0	0.8	2.0	0.0023	0.000	0.000	0.000	0.0023	0.000	0.000	0.000
	2	1.0	0.8	2.0	0.0023	0.000	0.000	0.000	0.0023	0.000	0.000	0.000



	3											
	S	2.0	1.6		0.0046	0.000	0.000	0.000	0.0046	0.000	0.000	0.000
A'2	1	1.6	1.2	4.2	0.17	0.002	0.001	0.000	0.17	0.001	0.000	0.000
	2	3.3	1.2	4.2	0.17	0.040	0.010	0.010	0.17	0.000	0.000	0.000
	3											
	S	4.9	2.4		0.34	0.042	0.011	0.010	0.34	0.001	0.000	0.000
B2	1	4.2	3.0	5.8	1.0	0.150	0.080	0.050	1.0	0.040	0.015	0.007
	2	8.3	7.0	5.8	1.0	1.0	1.020	1.050	1.0	0.600	0.500	0.500
	3											
	S	12.5	10.0		2.0	1.15	1.10	1.10	2.0	0.640	0.515	0.507
C2	1	2.5	1.5	5.0	0.44	0.025	0.008	0.002	0.44	0.002	0.000	0.000
	2	6.8	2.7	5.0	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.025	0.008	0.003
	3											
	S	9.3	4.2		0.88	0.465	0.448	0.442	0.88	0.027	0.008	0.003
C3	1	2.6	1.7	5.0	0.44	0.025	0.008	0.003	0.44	0.004	0.001	0.000
	2	14.0	5.2	5.0	0.44	0.650	0.650	0.650	0.44	0.040	0.010	0.006
	3											
	S	16.6	6.9		0.88	0.675	0.658	0.653	0.88	0.044	0.011	0.006
T2-S1	1	3.0	2.5	5.8	1.0	0.040	0.015	0.007	1.0	0.020	0.006	0.002
	2	8.0	3.6	5.8	1.0	0.900	0.900	0.900	1.0	0.080	0.030	0.020
	3	7.8	3.0	5.8	1.0	0.800	0.800	0.800	1.0	0.040	0.015	0.007



	S	18.8	9.1		3.0	1.740	1.715	1.707	3.0	0.140	0.051	0.029
T2-S2	1	4.0	3.5	5.8	1.0	0.120	0.060	0.030	1.0	0.080	0.030	0.020
	2	8.5	4.0	5.8	1.0	1.0	1.020	1.050	1.0	0.120	0.060	0.030
	3	12.1	3.8	5.8	2.0	0.450	0.400	0.400	2.0	0.010	0.002	0.001
	S	24.6	11.3		4.0	1.570	1.480	1.480	4.0	0.210	0.092	0.051
T3-S2	1	3.9	3.5	5.8	1.0	0.100	0.050	0.025	1.0	0.080	0.030	0.020
	2	13.0	5.4	5.8	2.0	0.600	0.500	0.500	2.0	0.040	0.015	0.007
	3	13.0	5.0	5.8	2.0	0.600	0.500	0.500	2.0	0.030	0.010	0.005
	S	29.9	13.9	17.4	5.0	1.3	1.05	1.025	5.0	0.15	0.055	0.0032

Columna 1.- tipos de vehículos que transitaran por el camino

Columna 2.- volumen de tránsito promedio diario anual (TDPA), en dos direcciones, correspondiente a cada tipo de vehículo que hará uso del camino.

Columna 3.- coeficiente de distribución para el carril de proyecto, tomando en cuenta el número de carriles de la carretera y la siguiente tabla sugerida por el instituto de ingeniería de la UNAM.

No. De carriles en ambas direcciones	Coeficiente de distribución para el carril de proyecto (%)
2	50
4	40 - 50
6 o mas	30 - 40



Columna 4.- el número de vehículos en el carril de diseño, se obtiene Multiplicando el TDPA de la columna 2, por el coeficiente de distribución de la columna 3.

Columna 5.- los coeficientes de diseño, son los factores de daño (cargados) de los diferentes tipos de vehículos que se muestran en la grafica anterior de cálculo de trafico equivalente, para $Z = 0$ y $Z = 15$. El factor de daño es la relación del daño que un vehículo dado causa a la estructura de la obra, con relación al daño que le causa un vehículo estándar (eje sencillo de 8.2 Ton).

Columna 6.- el número de ejes equivalentes para cada renglón se determina Multiplicando el número de vehículos del carril de diseño de la columna 4, por el coeficiente de equivalencia de daño de la columna 5. La suma de estos resultados parciales se tiene al final de la columna 6, para dos valores de la profundidad Z , cada una de estas sumas (T_0 y T'_{10}), representan el transito equivalente en ejes simples de 8.2 Ton., referido al carril de diseño y a un día medio del año en que se realizo el aforo.

El transito acumulado de ejes equivalentes de 8.2 Ton., durante un periodo de n años de servicio, se calcula con la siguiente formula.

$$S_{Ln} = C' T_0 \quad S_{L'n} = C' T'_{10}$$

De donde:

S_{Ln} = transito acumulado durante n años de servicio y tasa de crecimiento anual r , en ejes equivalentes de 8.2 Ton.

T_0 y T'_{10} = transito medio diario en el primer año de servicio para el carril de diseño en ejes equivalentes de 8.2 Ton. Para la profundidad de $Z = 0$ y $Z = 15$ respectivamente.

C' = coeficiente de acumulación del tránsito para n años de servicio y una tasa de crecimiento anual r , que se puede obtener mediante la siguiente ecuación y cuya solución grafica se puede observar en la grafica para estimar el coeficiente de acumulación de transito (siguiente)

$$C' = 365 \cdot \sum_{j=1}^n (1+r)^{j-1} = 365 \cdot \left(\frac{(1+r)^n - 1}{r} \right)$$

2.- Diseño estructural de la carretera.

De acuerdo con las características de la carretera proyectada, se considera que el diseño estructural de esta se debe hacer mediante el uso de la grafica para el diseño estructural de carreteras con pavimento flexible, la cual representa condiciones normales de diseño utilizando el dato de transito



equivalente acumulado ($L'n$) a $Z = 15$ expresado en potencia de base 10 y el valor de VRS critico ($\overline{VRS}$) de los diferentes materiales correspondientes a cada capa.

$$\overline{VRS} = VRS(1 - 0.84r)$$

De donde:

$\overline{VRS}$ Es el valor medio en cada material

V es el coeficiente de variación de los valores de prueba.

Cuando no se encuentre en la grafica para el diseño estructural de carreteras con pavimento flexible, con la curva que se necesita, se debe dibujar la curva de igual resistencia relativa.

Con los datos de la grafica para el diseño estructural de carreteras con pavimento flexible, se obtienen los diferentes espesores de la carretera mediante el siguiente procedimiento:

El espesor total del material equivalente que deberá colocarse sobre la terracería se determina dibujando una línea vertical partiendo del punto de $\overline{VRS}$ (de terracería) hasta interceptar la curva de igual resistencia ($S L'n$), denominado punto critico, que proyectado en el eje de las ordenadas (Z) proporcionan un espesor total (E_t).

$$E_t = a_1d_1 + a_2d_2 + a_3d_3 + a_4d_4$$

El espesor de la carpeta (d_1) se obtiene a partir del $\overline{VRS}$ base y la curva de igual resistencia ($S L'n$), con el procedimiento anterior.

$$E_t = a_1d_1, d_1 = E_t / a_1, a_1 = 2 \text{ carpeta C.A.}$$

El espesor de la base (d_2) se obtiene a partir del $\overline{VRS}$ sub-base y la curva de igual resistencia ($S L'n$).

$$d_2 = (E_t - d_1) / a_2$$

El espesor de la sub-base (d_3) se obtiene a partir del $\overline{VRS}$ Subrasante y la curva de igual resistencia ($S L'n$).

$$d_3 = (E_t - d_1 - d_2) / a_3$$

El espesor de la Subrasante (d_4) se obtiene con la siguiente fórmula:

$$E_t = a_1d_1 + a_2d_2 + a_3d_3 + a_4d_4$$

$$d_4 = (E_t - (d_1 + d_2 + d_3)) / a_4$$

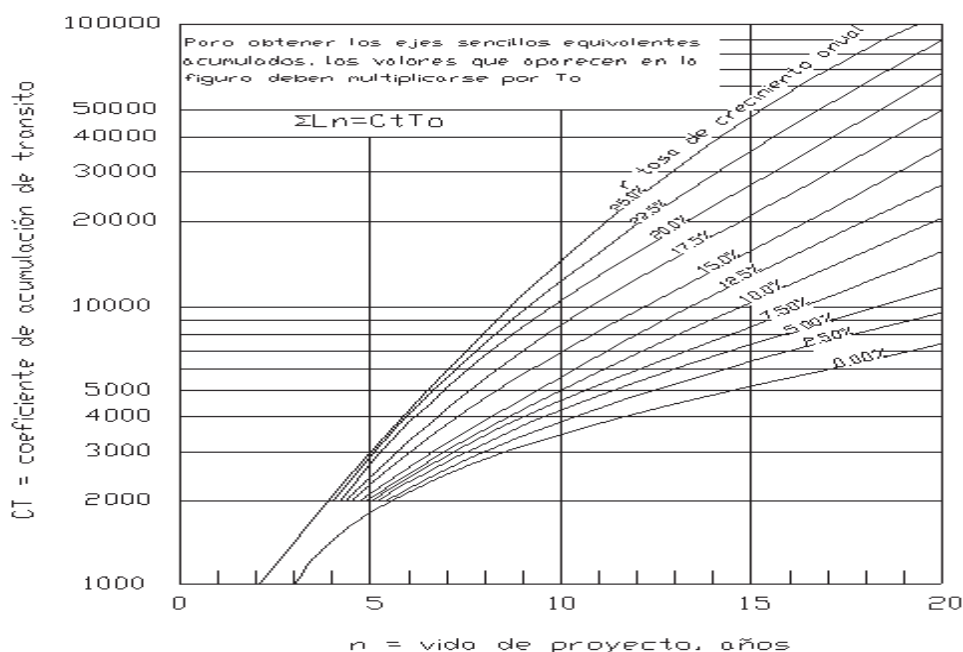


$a_1 = 0$ para carpetas de riego

$a_1 = 2$ para carpetas de concreto asfáltico

$a_2 = a_3 = a_4 = 1$

Grafico para estimar el coeficiente de acumulación de tránsito

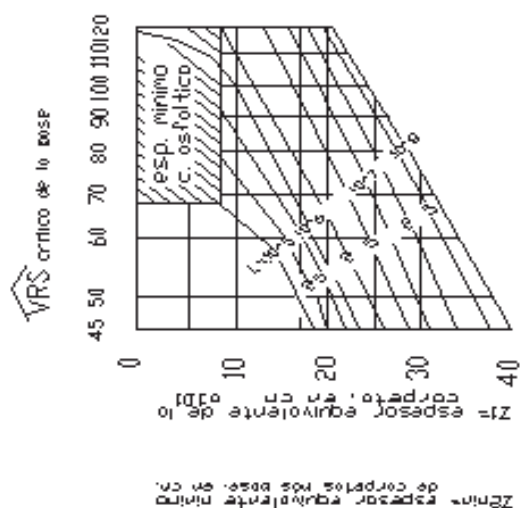


$$C_T = 365 \sum_{i=1}^n (1+r)^{i-1} = 365 \left[\frac{(1+r)^n - 1}{r} \right]$$

CT = coeficiente de acumulación del tránsito para (n) años de servicio y una tasa de crecimiento anual (r)

T₀ = tránsito equivalente medio diario en el carril de proyecto durante el primer año de servicio ejes sencillos equivalentes de 8.2 Ton

$\sum L_n$ = tránsito acumulado al cabo de (n) años de servicio ejes sencillos equivalentes de 8.2 Ton.



VRS estimación del valor relativo de soporte crítico esperado en el campo $VRS(0.84V)$

VRS valor relativo de soporte medio esperado en el campo

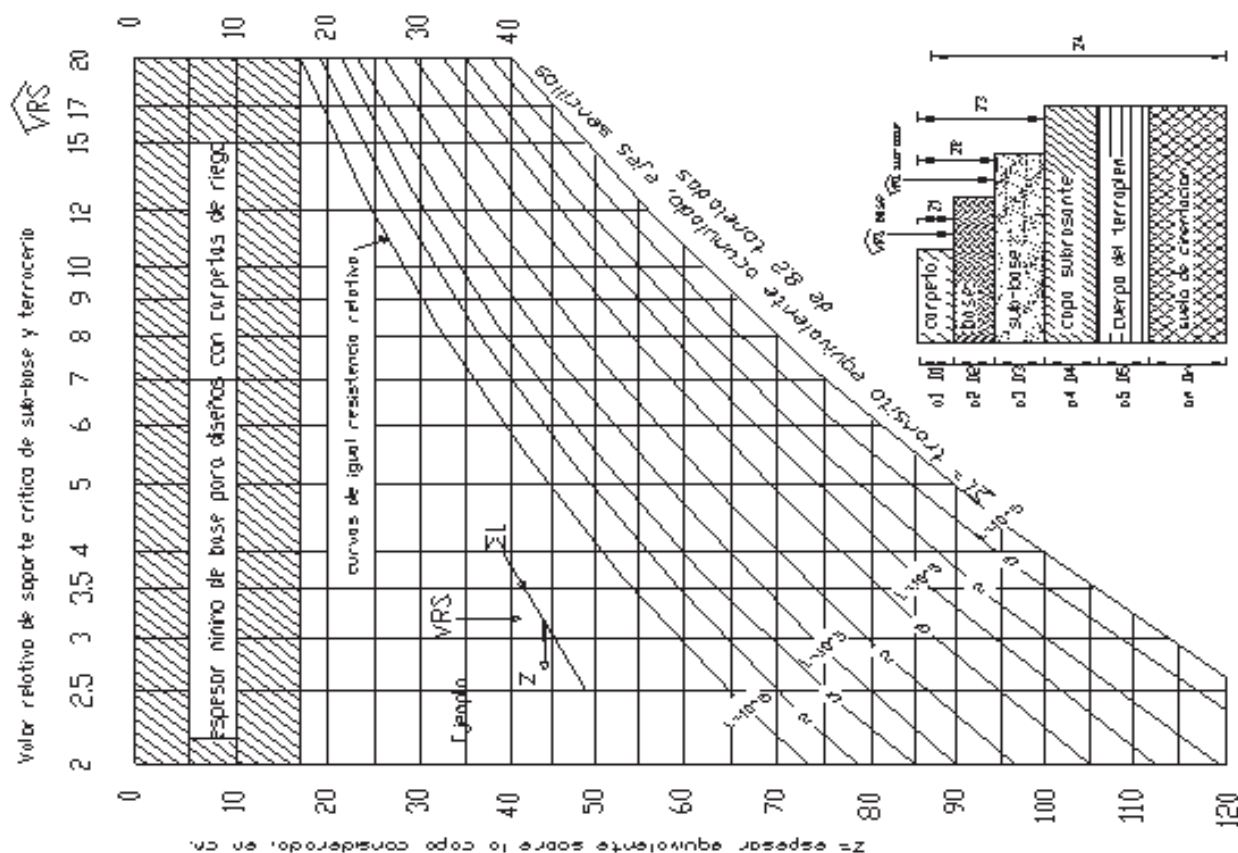
V coeficiente de variación del VRS en el campo

Z espesor equivalente, en cm Z al II

$a1$ $\pm$ 1 para carpetas de negro

$a1$ $\pm$ 2 para concreto asfáltico

$a2$ $\pm$ $a3$ $\pm$ $a4$ $\pm$ $a5$ $\pm$ 1 para diferentes estadísticas recurrentes





$$\frac{VRS_z}{VRS_0} [1.5]^{\log z L} \left[1 - \frac{z^3}{(15^2 + z^2)^{3/2}} \right]; z, en cm$$

		VRS_0 NIVEL DE RECHAZO 2.5	NIVEL DE CONFIANZA $Q_u =$ 0.9
BASES 10.03	SUB-BASES Y TERRACERIAS 4.57		

Ejemplo:

Diseño de un pavimento flexible, por el método de la UNAM.

Los datos de diseño son los siguientes:

- **clasificación vehicular**

Tipo de vehículo	TDPA
A2	8460
A'2	2116
B	684
C2	734
C3	116
T2-S2	28
T3-S3	102
TOTAL	12240



- tasa de crecimiento anual (r) = 7%
- número de años de servicio (n) = 10 años
- número de carriles = 4
- características de los materiales

Capa	$\overline{VRS}$	$\overline{VRS}$	$\overline{VRS}$
suelo natural	35%	5%	0.36
subrosante	10.0%	20%	0.60
sub-base	20.0%	40%	0.59
base	80.0%	100%	0.24

Calculo del tránsito equivalente acumulado (L)

Transformación del tránsito mezclado al correspondiente tránsito equivalente a ejes sencillos de 8.2 Ton. Referido al carril de diseño.

1	2	3	4	5		6	
				Z=0	Z=15	Z=0	Z=15
A2	8460	0.40	3384	0.005	0.000	16.9	0.0
A'2	2116	0.40	846	0.34	0.042	287.6	35.5
B	684	0.40	274	2.00	1.15	548.0	315.1
C2	734	0.40	294	0.88	0.465	258.7	136.7
C3	116	0.40	46	0.88	0.675	40.5	31.1
T2-S2	28	0.40	11	4.00	1.57	44.0	17.3
T3-S3	102	0.40	41	5.00	1.30	205.0	53.3
$T_0 = 1400.7$ $T'_0 = 589.0$							

El tránsito acumulado de ejes equivalentes de 8.2 Ton. Durante un periodo de 10 años de servicio es el siguiente:



$$S L_n = C' T_o S L' n = C' T' o$$

$$C = 365 \left(\frac{(1 + r)^n - 1}{r} \right) = \left(\frac{(1 + 0.07)^{10} - 1}{0.07} \right) = 5043$$

$$\Sigma L_n = (5043)(1400.7) = 7,063,730.1 = 10^{6.85}$$

$$\log 7,063,730.1 = 6.85$$

$$\Sigma L_n = (5043)(589) = 2,970,327 = 10^{6.47}$$

$$\log 2,970,327 = 6.47$$

2.- diseño estructural de la carretera.

$$\overline{VRS} \text{ Terracerías} = 3.5\% Z = 75 \text{ cm}$$

Espesor de carpeta de concreto asfáltico

$$\square \overline{VRS} \text{ base} = 80\% Z = 17.5 \text{ cm}$$

$$\square E_t = a d l$$

$$\square d l = E_t / a l = 17.5 / 2 = 8.75 \text{ cm}$$

Espesor de base hidráulica

$$\square \overline{VRS} \text{ sub-base} = 21\% Z = 22 \text{ cm}$$

$$\square E_t = a d l + a_2 d_2$$

$$\square d_2 = (E_t l) / a_2 = (22 - 8.75) / 1 = 13.25 \text{ cm}$$

Espesor de sub-base

$$\square \overline{VRS} \text{ Subrasante} = 10\% Z = 43 \text{ cm}$$

$$\square d_3 = (E_t l - d_2) / a_3 = (43 - 8.75 - 13.25) / 1 = 21 \text{ cm}$$

Espesor de Subrasante

$$\square \overline{VRS} \text{ Terracería} = 3.5\% Z = 75 \text{ cm}$$

$$\square E_t = a d l + a_2 d_2 + a_3 d_3 + a_4 d_4$$

$$\square d_4 = (E_t (d l + d_2 + d_3) / a_4 = (75 - (8.75 + 13.25 + 21) / 1) = 32 \text{ cm}$$



CONCLUSIONES

COMO SE VIO A LO LARGO DE LA PRESENTE TESIS, EL BUEN ESTUDIO Y PLANEACION DE UN CAMINO O CARRETERA ES DE VITAL IMPORTANCIA, YA QUE DE NO SER ASI, LOS COSTOS DE CONSTRUCCION Y DE OPERACIÓN SE INCREMENTAN. Y ESTO HACE A UN PROYECTO NO VIABLE, TANTO PARA LA ECONOMIA DEL MISMO, COMO PARA LA ZONA DONDE SERA CONSTRUIDO PUES EN LUGAR DE BENEFICIAR A LA SOCIEDAD, ACARREA NUEVOS PROBLEMAS PARA LA MISMA.

ESTA TESIS, DE MANERA MUY GENERAL EXPLICA CADA UNO DE LOS PROCEDIMIENTOS A SEGUIR, PARA LA CORRECTA PLANEACION Y FACTIBILIDAD DE CONSTRUCCION DE UN PROYECTO CARRETERO.

DE ACUERDO A LA OBSERVACION Y EXPERIENCIA DEL QUE SUSCRIBE, LA RED CARRETERA NACIONAL, PRESENTA BASTANTES CARENCIAS, ASI COMO ALTOS COSTOS DE TRASLADO, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.

LA FALTA DE ESTUDIOS PREVIOS A LA CONSTRUCCION DE UN CAMINO, ACARREA MALOS DISEÑOS TANTO EN LA SUB-ESTRUCTURA, COMO EN LA CAPA DE RODAMIENTO, QUE ES EN ESTE CASO PAVIMENTO FLEXIBLE (CARPETA). YA QUE OBSERVANDO LA RED CARRETERA DEL ESTADO DE MICHOACAN, LA CUAL FUE RECONSTRUIDA EN EL AÑO DE 2008, A LA FECHA YA PRESENTA DAÑOS ESTRUCTURALES, A CAUSA DE LA MALA PLANEACION DE CONSTRUCCION, RECONSTRUCCION Y CONSERVACION DE LA MISMA. PUES LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION VARIAN DE ACUERDO A LA ZONA Y POR CONSECUENCIA LOS ESPESORES DE LAS CAPAS Y DOSIFICACIONES PARA LA ELABORACION DE LAS CARPETAS NO ES LA MISMA PARA TODO EL ESTADO Y ESTO GENERA GASTOS EXTRAORDINARIOS PARA EL MISMO. IMPLICANDO CON ESTO QUE SE DEJEN DE CONSTRUIR CAMINOS NUEVOS EN BENEFICIO DE LA SOCIEDAD.

POR LO QUE CON LA PRESENTE TESIS SE PRETENDE DAR AL LECTOR, UN AMPLIO PANORAMA EN LA CORRECTA PLANEACION, ESTUDIO Y FACTIBILIDAD DE CONSTRUCCION DE UN PROYECTO CARRETERO. Y CON ESTO MEJORAR LAS CONDICIONES DE VIDA EN LAS ZONAS DE BENEFICIO Y POR CONSECUENCIA REDUCIR LOS GASTOS DE TRASLADO DE PERSONAS Y BIENES.



BIBLIOGRAFIA

VIAS DE COMUNICACIÓN (caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos)

CARLOS CRESPO 3ª EDICION. - editorial LIMUSA. 717 pág.

NORMAS Y SERVICIOS TECNICOS (Proyecto geométrico, carreteras) SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES, Edición 1984. 58 pág.

MANUAL DE PROYECTO GEOMETRICO DE CARRETERAS (SCT 4ª Reimpresión), México 1991. 685 pág.

INGENIERIA DE CAMINOS RURALES (Gordon Keller & James Sherar) Septiembre 2004. 181 pág.

GUIA GENERAL PARA LA PREPARACION Y PRESENTACION DE ESTUDIOS DE EVALUACION SOCIOECONOMICA DE PROYECTOS CARRETEROS, 2ª Edición, Noviembre de 2004. 26 pág.

APUNTES SOBRE EVALUACION SOCIAL DE PROYECTOS. 1ª Edición, México 1999.

DISEÑO GEOMETRICO DE CARRETERAS, (James Cárdenas Grisales) ,1ª Edición, Octubre 2002. 405 pág.

AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES (American Association of State Highway and Transportation Engineers), 1993.

DISEÑO ESTRUCTURAL DE CARRETERAS CON PAVIMENTO FLEXIBLE, Series del instituto de Ingeniería 325. Santiago Corro y Guillermo Prado. INSTITUTO DE ING. DE LA UNAM. 1974

INSTRUCTIVO PARA DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA CARRETERAS, Series del instituto de Ingeniería 444. Santiago Corro y Guillermo Prado. INSTITUTO DE ING. DE LA UNAM. 1981