



UNIVERSIDAD VILLA RICA

ESTUDIOS INCORPORADOS A LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

“METODOLOGÍA PARA EL TRAZO Y CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

IVÁN MENDOZA GARCÍA

Director de Tesis:

ING. PEDRO ABELARDO BOLIVAR HERNÁNDEZ

Revisor de Tesis:

ING. JOSÉ VLADIMIRO SALAZAR SIQUEIROS

BOCA DEL RÍO, VER.

2012



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

RECONOCIMIENTO

A mis padres, gracias por haberme amado, gracias por haberme adorado y educado, pero sobre todo por haberme acompañado y apoyado durante todo este tiempo dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta, porque ustedes fueron los que me impulsaron en los momentos más difíciles de mi carrera y me enseñaron a nunca darme por vencido, lo que me hizo ir hasta el final.

A ustedes, espero no defraudarlos y siempre contar siempre con su valioso apoyo sincero e incondicional.

ÍNDICE

	Página
Introducción.....	1
Capítulo 1. Metodología.....	2
1.1. Justificación.....	2
1.2. Objetivos.....	2
Capítulo 2. Caminos y carreteras y elección de ruta.....	4
2.1. Clasificación de las carreteras.....	4
2.2. Información para el proyecto.....	8
2.3. Velocidades de proyecto.....	10
2.4. Niveles de servicio.....	11
2.5. Análisis de capacidad y niveles de servicio en autopistas y vías rápidas.....	14
2.5.1. Elementos críticos que requieren consideración.....	21
2.5.2. Cálculo de capacidad bajo condiciones prevalecientes.....	22
2.5.3. Cálculo de volúmenes de servicio.....	23
2.5.4. Determinación de niveles deservicio.....	24
2.6. Análisis de capacidad y niveles de servicio en carreteras de carriles múltiples.....	28
2.6.1. Elementos críticos que requieren consideración.....	30
2.6.2. Procedimiento para determinar la capacidad y niveles de servicio.....	31
2.7. Análisis de capacidad y niveles de servicio en carreteras de dos carriles.....	34
2.7.1. Elementos críticos que requieren consideración.....	38
2.7.2. Procedimientos para determinar la capacidad y los niveles de servicio.....	39
2.8. Dispositivos para el control de tránsito.....	48
2.8.1. Capacidad de un camino.....	48
CAPÍTULO 3. ANTEPROYECTO.....	51
3.1. Reconocimiento del área.....	52
3.2. Estudios de drenaje.....	53
3.3. Fotointerpretación geológica e hidrológica.....	54
3.4. Estudio estereoscópico de fajas de ruta.....	56
3.5. Fotointerpretación socioeconómica.....	57
3.6. Estudio estereoscópico de líneas de ruta.....	60
3.7. Antepresupuesto y elección de ruta.....	61
3.8. Datos a brigada de localización y reconocimiento topográfico.....	62
3.9. Línea definitiva.....	64
3.9.1. Nivelación.....	68
CAPÍTULO 4. PROYECTO.....	70
4.1. Alineamiento horizontal.....	70
4.2. Normas generales para el alineamiento horizontal.....	82
4.3. Proyecto de la subrasante.....	83
4.3.1. Determinación económica de la subrasante.....	84
4.4. Alineamiento vertical.....	84
4.4.1. Visibilidad.....	89
4.4.2. Cálculo de curvas verticales.....	90
4.4.3. Ejemplo de cálculo de curva vertical.....	91
4.5. Normas generales para el alineamiento vertical.....	95
4.6. Empleo simultáneo de las curvas verticales y horizontales.....	96
4.7. Secciones de construcción.....	97

	Página
4.7.1. De la sección transversal.....	97
4.8. Determinación de las secciones de carretera.....	100
4.8.1. Selección de ruta.....	102
4.8.2. Obtención de Perfil del terreno natural y rasante de proyecto... ..	102
4.8.3. Obtención de secciones transversales.....	104
4.8.4. Cálculo de volúmenes.....	110
4.8.5. Obtención de ordenada de curva masa.....	111
4.8.6. Cuadro de datos de construcción.....	111
4.9. Diagrama de masas.....	113
4.10. Terracerías.....	115
4.10.1. Construcción.....	116
4.11. Movimiento de tierras.....	118
4.11.1. Determinación del desperdicio.....	120
4.11.2. Determinación de los préstamos.....	120
4.12.3. Determinación del sobre acarreo.....	121
4.13. Obras complementarias de drenaje.....	121
4.13.1. Tipos de drenaje.....	122
4.13.2. Obras de drenaje menor.....	126
4.13.3Drenaje subterráneo.....	126
CAPITULO 5. CARPETA ASFALTICA.....	128
CAPITULO 6. CONCLUSIONES.....	130
Bibliografía.....	131

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
TABLA 2-A.....	11
TABLA 2-B.....	15
TABLA 2-C.....	16
TABLA 2-D.....	17
TABLA 2-E.....	18
TABLA 2-F.....	19
TABLA 2-G.....	20
TABLA 2-H.....	29
TABLA 2-I.....	30
TABLA 2-J.....	35
TABLA 2-K.....	36
TABLA 2-L.....	36
TABLA 2M.....	37
TABLA 3-A.....	67
TABLA 4-A.....	64
TABLA 4-B.....	77
TABLA 4-C.....	77
TABLA 4-D.....	81
TABLA 4-E.....	86
TABLA 4-F.....	90
TABLA 4-G.....	90
TABLA 4-H.....	94
TABLA 4-I.....	98
TABLA 4-J.....	103
TABLA 4-K.....	110
TABLA 4-L.....	112
TABLA 4-M.....	121

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1-A.....	3
FIGURA 1-B.....	5
FIGURA 4-A.....	72
FIGURA 4-B.....	86
FIGURA 4-C.....	87
FIGURA 4-D.....	101
FIGURA 4-E.....	101
FIGURA 4-F.....	103
FIGURA 4-G.....	114
FIGURA 4-H.....	115
FIGURA 4-I.....	120
FIGURA 4-J.....	122
FIGURA 4-K.....	125
FIGURA 4-L.....	125

ÍNDICE DE IMÁGENES

	Página
IMAGEN 4-A.....	117
IMAGEN 4-B.....	117
IMAGEN 4-C.....	118
IMAGEN 4-D.....	124

INTRODUCCION

Desde el principio de la existencia del ser humano se 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, desarrollara el tema sobre uno de estos métodos, el cual se refiere al proyecto de una carretera, este describirá las definiciones de carretera y todas aquellas más necesarias para su comprensión, sus características y método de construcción, de acuerdo a las características del lugar, suelo y condiciones climatológicas, ya que estas pueden variar

Capítulo 1. Metodología

1.1. Justificación

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 también todos y cada uno de los reglamentos, leyes y restricciones que deberá tomar en cuenta para poder realizar el diseño del mismo.

1.2. 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 resultados que ayuden en el análisis y diseño de una carpeta.

Los pasos de este procedimiento se ilustran detalladamente a continuación en el siguiente diagrama:

PROYECTO PRELIMINAR

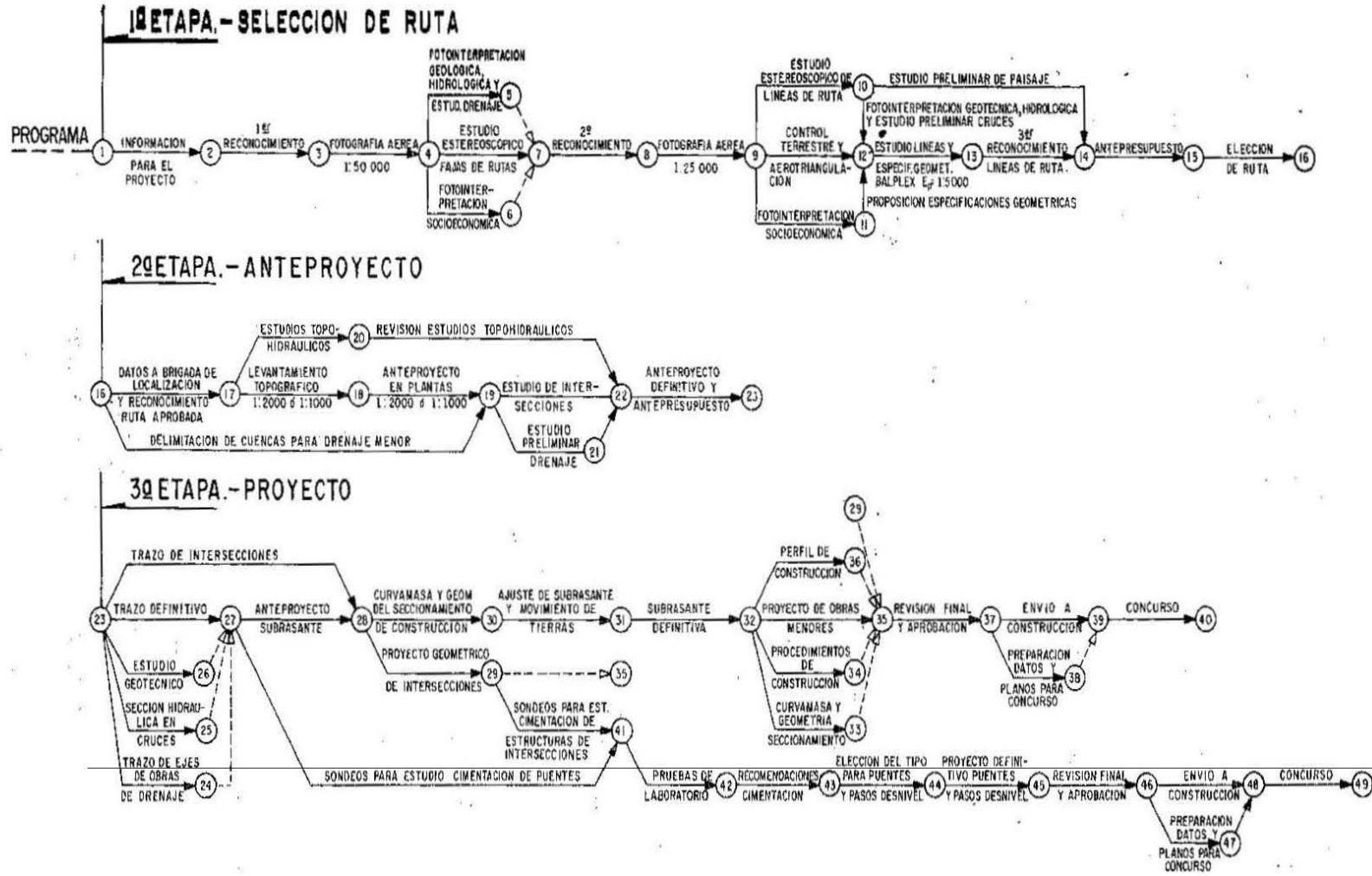


FIGURA 1-A. Red del proyecto de carreteras. Método convencional Fuente: Manual de Diseño de Carreteras S.O.P.

Capítulo 2. Caminos y carreteras y selección de ruta.

2.1. Clasificación 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 principal diferencia actualmente entre un camino y una carretera es que el primero tiene el firme de tierra, mientras la segunda se encuentra asfaltada. Esta distinción se puede aplicar desde finales del siglo XIX, cuando los principales caminos fueron arreglados y convertidos en carreteras, pero con anterioridad a esta fecha los elementos de distinción entre ambos eran mínimos.

Las vías terrestres forman parte de la infraestructura de un país ; son aquellas obras que por lo general están a cargo del gobierno y contribuyen al desarrollo. Entre las obras de infraestructura se encuentran las de irrigación, instalación de energía eléctrica, introducción de agua potable y drenaje, entre otras.

Se ha dicho que las carreteras son la infraestructura de la infraestructura, pues una vez que se constituye uno de ellos, es más fácil proporcionar el resto de los servicios. Un camino tiene ciertas ventajas respecto a las vías férreas y los aeropuertos, como el hecho de que puede empezar a dar servicio conforme se construyen los tramos; es decir, no es necesario esperar a la conclusión de la

obra para utilizar las partes que se vayan terminando. Desde el punto de vista de la infraestructura, las vías terrestres tienen una importancia económica y, por tanto, deben evaluarse y programarse de acuerdo con los beneficios sociales y económicos que se puedan proporcionar.

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.- la clasificación 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 subrasante transitable en tiempo de secas.
2. Revestida: cuando sobre la subrasante se ha colocado ya una o varias capas de material granular y es transitable en todo tiempo.
3. Pavimentada: cuando sobre la subrasante se ha construido ya totalmente el pavimento.

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

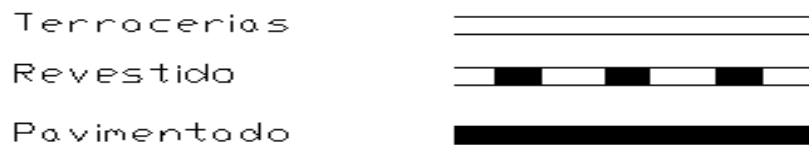


FIGURA 1-B. Representación de los tipos de carretera en el plano cartográfico.

Fuente: Vías de Comunicación, editorial Crespo

1. **Federales:** cuando son costeadas íntegramente por la federación y se encuentran por lo tanto a su cargo.
2. **Estatales:** cuando son construidos por el sistema de cooperación a razón del 50% aportados 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 construidos 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 y ahora sistema 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 DEACUERDO A SU UTILIDAD.- los caminos se pueden clasificar de acuerdo a su utilidad en:

1. **De integración nacional:** son aquellos que sirven principalmente para unir el territorio de un país. Así, en México los primeros caminos troncales se programaron para comunicar en primera instancia a la capital de la república con las capitales de los estados y más tarde a estas últimas entre sí, así como las cabeceras municipales.
2. **De tipo social:** son aquellos cuyo fin principal es incorporar al desarrollo nacional en los núcleos poblacionales que han permanecido marginados por falta de comunicación. Estos caminos se evalúan con base en el costo por habitante servido que se calcula al dividir el

costo de la obra entre el número de ciudadanos residentes en la zona de influencia del camino.

3. **Para el desarrollo:** son aquellos que fomentan principalmente las actividades agrícolas, ganaderas, comerciales, industriales o turísticas de la zona de influencia, y su evaluación económica se realiza de acuerdo con el índice de productividad, que se obtiene al dividir los beneficios entre el costo de la obra. Este tipo de caminos tiene una corona de 7m a 11m

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, como se mostrará a continuación:

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 equivalente 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).

2.2. Información para el proyecto.

Una vez realizados los estudios socioeconómicos que justifican la construcción de nuevos caminos y las mejoras de los existentes, es necesario programar los estudios de vialidad, que permitan establecer la conveniencia y las prioridades para elaborar los nuevos proyectos y las obras correspondientes.

Con este fin es necesario realizar una serie de trabajos preliminares que básicamente comprenden el estudio comparativo de todas las rutas convenientes y posibles, para seleccionar en cada caso, la que ofrezca las mayores ventajas económicas y sociales.

Se entiende por ruta, la franja de terreno de ancho variable entre 2 puntos obligados, dentro de la cual es factible hacer la localización de un camino. Mientras más detallados y precisos sean los estudios para determinar la ruta, el ancho de la franja será más reducido.

Los puntos obligados son aquellos sitios por los que necesariamente deberá pasar el camino, por razones técnicas, económicas, políticas y sociales, tales como: poblaciones, sitios o áreas productivas y puertos orográficos.

La selección de ruta es un proceso que involucra varias actividades, desde el acopio de datos, análisis y examen de los mismo, hasta los levantamientos aéreos y terrestres necesarios para determinar a este nivel los costos y ventajas de las diferentes rutas para elegir las más conveniente.

La topografía, la geología, la hidrología, el drenaje y el uso de la tierra, tienen un efecto determinante en la localización y elección del tipo de carretera y conjuntamente con los datos de tránsito, constituyen la información básica para el proyecto de estas obras.

El proyectista debe contar con cartas geográficas y geológicas, sobre las cuales puedan ubicar esquemáticamente las diferentes rutas. Estas cartas son elaboradas por la Secretaria de la Defensa Nacional, a escalas 1: 250 000, 1: 100 000, 1:50 000 y 1:25 000.

Al estudiar esas cartas el ingeniero puede formarse una idea de las características más importantes de la región. Auxiliado con las cartas geológicas existentes y con mapas que indiquen la potencialidad económica de la región, se dibujan sobre ella las rutas que pueden satisfacer el objetivo de comunicación deseado.

Para la zona de influencia de la obra en proyecto, se recopilara la información sobre las obras existentes, así como la que se pueda obtener sobre las planeadas a corto y largo plazo, ya sean de la SCT o de otras dependencias oficiales y privadas. Los datos de tránsito para carreteras existentes, se obtienen por medio de los aforos que se realizan sistemáticamente en la red de carreteras; cuando es necesario se practican estudios de origen y destino. Para el caso de caminos nuevos, se calcula el tránsito, de acuerdo con las estimaciones pertinentes.

2.3. Velocidades de proyecto.

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 fórmula:

$$V = d/t.$$

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 que determina normalmente 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 Obras Públicas y ahora 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

TABLA 2-A. Velocidades de proyecto para cada tipo de camino
Fuente: Manual de Diseño de Carreteras S.O.P

2.4. Niveles de servicio.

Cuando el volumen de tránsito iguala a la capacidad de la carretera, las condiciones de operación son deficientes, aun bajo las condiciones ideales de la vía y del tránsito, ya que las velocidades son bajas, con frecuentes paros y demoras. Para que una carretera suministre un nivel de servicio aceptable, es necesario que el volumen de servicio sea menor a la capacidad de la carretera. El volumen máximo que puede transportarse en cualquier nivel de servicio seleccionado, es llamado volumen de servicio para ese nivel.

El usuario como individuo, tienen una idea limitada del volumen de tránsito, pero se da cuenta del efecto de un alto volumen de tránsito en la posibilidad para transitar por una carretera a una velocidad razonable, con comodidad, conveniencia, economía y seguridad.

Por tanto, entre los elementos que pueden ser considerados en la evaluación del nivel de servicio se incluyen los siguientes:

1. Velocidad y tiempo durante el recorrido. Estos elementos incluyen la velocidad de operación y el tiempo empleado durante el recorrido de un tramo de la carretera.
2. Interrupciones de tránsito o restricciones. El número de paradas por kilómetro, las demoras que estas implican, la magnitud y frecuencia en los cambios de velocidad necesarios para mantener la corriente de tránsito.
3. Libertad para maniobrar. Considera el grado para conducir manteniendo la velocidad de operación deseada.
4. Seguridad. Se refiere a evitar los accidentes y riesgos potenciales.
5. Comodidad en el manejo. Considera el efecto de las condiciones de la carretera y el tránsito, así como el grado en que el servicio proporcionado por la carretera satisface las necesidades normales del conductor.
6. Economía. Considera el costo de la operación del vehículo en la carretera.

Después de consideraciones cuidadosas, se eligió la velocidad durante el recorrido, como el factor principal para identificar el nivel de servicio.

Se considera, además, un segundo factor que puede ser la relación volumen de demanda a capacidad, o bien, la relación volumen de servicio a capacidad, dependiendo del problema que se presente en una situación particular.

Cada nivel de servicio debe considerarse como un rango de condiciones de operación, limitado por los valores de la velocidad durante el recorrido y por las relaciones volumen-capacidad.

Si bien, los valores de la velocidad y de los volúmenes de servicio tienen por objeto determinar los límites de un nivel de servicio, se considera que estos representan la velocidad más baja aceptable y el volumen más alto del rango de ese nivel de servicio. Cuando las velocidades son altas y los volúmenes de servicio son más bajos que los valores dados, las condiciones de operación son mejores que las correspondientes a ese nivel de servicio. Conforme la densidad de tránsito va

incrementando, la calidad de servicio baja, solo por coincidencia se alcanzaran simultáneamente el límite inferior del rango de velocidades de operación y el límite superior del rango de volúmenes; usualmente uno de los límites gobernara en un caso particular. Una vez que se ha rebasado un límite, el servicio caerá al siguiente nivel.

Para uso práctico, los valores de la capacidad y de las relaciones volumen capacidad que definen los niveles de servicio, se establecen para cada uno de los siguientes tipos de caminos:

- Autopistas y vías rápidas.
- Carreteras de carriles múltiples.
- Carreteras de dos y tres carriles.
- Arterias urbanas.
- Calles del centro de la ciudad.

Los niveles de servicio designados con las letras de la A a la F, del mejor al peor, comprenden la clasificación total de las operaciones de tránsito que pueden ocurrir.

El nivel de servicio A corresponde a una condición de flujo libre, con volúmenes de tránsito bajos y velocidades altas.

El nivel de servicio B corresponde a la zona de flujo estable, con velocidades de operación que comienzan a restringirse por las condiciones del tránsito.

El nivel de servicio C se encuentra en la zona de flujo estable, pero las velocidades y posibilidades de maniobra están más estrechamente controladas por los altos volúmenes de tránsito.

El nivel de servicio D se aproxima al flujo inestable con velocidades de operación aun satisfactorias, pero afectadas considerablemente por las condiciones de operación.

El nivel de servicio E no puede describirse solamente por la velocidad, pero representa la operación a velocidades aun más bajas que el nivel D, con volúmenes de tránsito correspondientes a la capacidad. El flujo es inestable y pueden ocurrir paradas de corta duración.

El nivel de servicio F corresponde a la circulación forzada, las velocidades son bajas y los volúmenes son superiores a los de la capacidad. En estas condiciones, se producen generalmente colas de vehículos a partir del lugar en que se produce la restricción. Las velocidades se reducen y pueden producirse paradas debido al congestionamiento.

2.5. Análisis de capacidad y niveles de servicio en autopistas y vías rápidas.

El propósito de las autopistas y vías rápidas es el de proporcionar a los usuarios, un nivel de servicio alto a través del movimiento rápido del tránsito, y de evitar interferencias externas. Esto se logra al eliminar el acceso directo a las propiedades a favor de un servicio sin interrupciones; lo anterior trae generalmente como consecuencia, una gran demanda del usuario por este tipo de caminos.

A continuación se describirán los procedimientos básicos para la determinación de los volúmenes de servicio y las capacidades en tramos de autopistas.

El primer paso a dar, dentro del procedimiento general para cualquier tipo de camino, consiste en dividir el camino en estudio de subtramos que presenten condiciones razonablemente uniformes, desde el punto de vista de la capacidad. Generalmente en el

caso de las autopistas modernas esta división no es necesaria, puesto que estos caminos están proyectados con altas especificaciones en tramos relativamente largos, especialmente en áreas rurales. El análisis por subtramos será necesario solo cuando se presente un enlace, una zona de entrecruzamiento, una pendiente significativa o alguna otra característica especial del camino. A continuación se una lista de tablas que se usan como base para el cálculo de la capacidad y niveles de servicio en autopistas y vías rápidas.

Nivel de servicio	Condiciones del flujo de tránsito		Volumen de servicio-capacidad (v/c) ^b					Volumen de servicio máximo bajo condiciones ideales, incluyendo velocidad de proyecto ponderada de 110km/h (Total de vehículos ligeros por hora en un sentido)															
	Descripción	Velocidad de operación (km/h)	Valor límite para velocidad de proyecto ponderada de 110 km/h			Valor aproximado para cualquier número de carriles con velocidad de proyecto ponderada de		4 CARRILES dos por cada sentido				6 CARRILES tres por cada sentido				8 CARRILES cuatro para cada sentido				ADICIONAL A CUATRO CARRILES EN UNA DIRECCION			
			4 CARRILES dos para cada sentido	6 CARRILES tres para cada sentido	8 CARRILES cuatro para cada sentido	95 km/h	80 km/h																
A	Flujo libre	≥ 95	≤ 0.35	≤ 0.40	≤ 0.43	— ^b	— ^b	1400				2400				3400				1000			
B	Flujo estable	≥ 90	≤ 0.50	≤ 0.58	≤ 0.63	≤ 0.25	— ^b	2000				3500				5000				1500			
FACTOR DE LA HORA DE MÁXIMA DEMANDA (FHMD) ^c								0.77	0.83	0.91	1.00 ^d	0.77	0.83	0.91	1.00 ^d	0.77	0.83	0.91	1.00 ^d	0.77	0.83	0.91	1.00 ^d
C	Flujo estable	≥ 80	≤ 0.7x ^e FHMD	≤ 0.80x ^e FHMD	≤ 0.83x ^e FHMD	≤ 0.45x ^e FHMD	— ^b	2300	2500	2750	3000	3700	4000	4350	4800	5100	5500	6000	6600	1400	1500	1650	1800
D	Flujo próximo al	≥ 65	≤ 0.90x ^e FHMD		≤ 0.80x ^e FHMD	≤ 0.45x ^e FHMD		2800	3000	3300	3600	4150	4500	4900	5400	5600	6000	6600	7200	1400	1500	1650	1800
E ^f	Flujo inestable	50-55 ^e	≤ 1.00					4000 ^e				6000 ^e				8000 ^e				2000 ^e			
F	Flujo Forzado	< 50	No significativo					Muy variable															

a.- La velocidad de operación y la relación v/c son medios independientes del nivel de servicio; ambos límites deben satisfacerse en cualquier determinación del nivel.

b.- La velocidad de operación requerida para este nivel no se alcanza aun a bajos niveles.

c.- El factor de hora máxima demanda para autopistas es la relación entre el volumen de una hora completa y el valor más alto del flujo que ocurre durante un intervalo de 5 minutos dentro de la hora de máxima demanda.

d.- Un factor de hora máxima demanda de uno raramente se alcanza; los valores en la tabla deben considerarse como los valores máximos del flujo medio que probablemente se obtengan durante el intervalo de máxima demanda de 5 minutos dentro de la hora de máxima demanda.

e.- Aproximadamente.

f.- Capacidad.

TABLA 2-B. Niveles de servicio y volúmenes de servicio para autopistas y vías rápidas bajo condiciones de circulación continua.

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras S.O.P.

Distancia desde la orilla del carril al obstáculo (en - m)	Factor de ajusta W, por ancho de carril y distancia a obstáculos laterales							
	Obstáculos a un lado de un sentido de circulación				Obstáculos a ambos lados de un sentido de circulación			
	Carriles en metros				Carriles en metros			
	3.65	3.35	3.05	2.75	3.65	3.35	3.05	2.75
Carretera dividida de cuatro carriles								
1.8	1	0.97	0.91	0.81	1	0.97	0.91	0.81
1.2	0.99	0.96	0.9	0.8	0.98	0.95	0.89	0.79
0.6	0.97	0.94	0.88	0.79	0.94	0.91	0.86	0.76
0	0.9	0.87	0.82	0.73	0.81	0.79	0.74	0.66
Carretera dividida de seis y ocho carriles								
1.8	1	0.96	0.89	0.78	1	0.96	0.89	0.78
1.2	0.99	0.95	0.88	0.77	0.98	0.94	0.87	0.77
0.6	0.97	0.93	0.87	0.76	0.96	0.92	0.85	0.75
0	0.94	0.91	0.85	0.74	0.91	0.87	0.81	0.7

TABLA 2-C. Efecto combinado de ancho de carril y de la distancia de obstáculos laterales sobre la capacidad y los volúmenes de servicio en autopistas y vías rápidas con circulación continua.

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras S.O.P.

Nivel de servicio		Equivalente, para:		
		Terreno plano	Terreno en lomerío	Terreno montañoso
A		Muy variable; a este nivel uno ó más camiones tienen prácticamente la misma influencia sobre el volumen de servicio. Para el análisis, úsense las equivalencias indicadas para los niveles B hasta E.		
B hasta E	Et para camiones	2	4	8
	Et para autobuses	1.6	3	5

TABLA 2-D. Vehículos ligeros equivalentes por camión y por autobús para tramos largos de autopistas, vías rápidas y carreteras de carriles múltiples.

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras S.O.P.

Pendiente (%)	Longitud de la pendiente (km)	Equivalencia en vehículos ligeros, E_t										
		Niveles de servicio entre A y C para:					Niveles de servicio entre D y E para:					
		3% camiones	5% camiones	10% camiones	15% camiones	20% camiones	3% camiones	5% camiones	10% camiones	15% camiones	20% camiones	
0-1	Todas	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
2	0.4 - 0.8	5	4	4	3	3	5	4	4	3	3	
	1.2 - 1.6	7	5	5	4	4	7	5	5	4	4	
	2.4 - 3.2	7	6	6	6	6	7	6	6	6	6	
	4.8 - 6.4	7	7	8	8	8	7	7	8	8	8	
	0.4	10	8	5	4	3	10	8	5	4	3	
3	0.8	10	8	5	4	4	10	8	5	4	4	
	1.2	10	8	6	5	5	10	8	5	4	5	
	1.6	10	8	6	5	6	10	8	6	5	6	
	2.4	10	9	7	7	7	10	8	7	7	7	
	3.2	10	9	8	8	8	10	9	8	8	8	
	4.8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
	6.4	10	10	11	11	11	10	10	11	11	11	
	0.4	12	9	5	4	3	13	9	5	4	3	
	4	0.8	12	9	5	5	5	13	9	5	5	5
		1.2	12	9	7	7	7	13	9	7	7	7
1.6		12	10	8	8	8	13	10	8	8	8	
2.4		12	11	10	10	10	13	11	10	10	10	
3.2		12	11	11	11	11	13	12	11	11	11	
4.8		12	12	13	13	13	13	13	14	14	14	
6.4		12	13	15	15	14	13	14	16	16	15	
0.4		13	10	6	4	3	10	10	6	4	3	
5	0.8	13	11	7	7	7	14	11	7	7	7	
	1.2	13	11	9	8	8	14	11	9	8	8	
	1.6	13	12	10	10	10	14	13	10	10	10	
	2.4	13	13	12	12	12	14	14	13	13	13	
	3.2	13	14	14	14	14	14	15	15	15	15	
	4.8	13	15	16	16	15	14	17	17	17	17	
	6.4	15	17	19	19	17	16	19	22	21	19	
	0.4	14	10	6	4	3	15	10	6	4	3	
6	0.8	14	11	8	8	8	15	11	8	8	8	
	1.2	14	12	10	10	10	15	12	10	10	10	
	1.6	14	13	12	12	11	15	14	13	13	11	
	2.4	14	14	14	14	13	15	16	15	15	14	
	3.2	14	15	16	16	15	15	18	18	18	16	
	4.8	14	16	18	18	17	15	20	20	20	19	
	6.4	19	19	20	20	20	20	23	23	23	23	

TABLA 2-E. Equivalencia de vehículos ligeros por camión, para subtramos o pendientes específicas de autopistas, vías rápidas y carreteras de carriles múltiples.

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras S.O.P.

Pendiente (%)	Equivalencia en vehículos ligeros E _B	
	Niveles de servicio A, B y C	Niveles de servicio D y E
0-4 ^b	1.6	1.6
5 ^c	4	2
6 ^c	7	4
7 ^c	12	10

a.- Para todos los porcentajes de autobús

b.- Todas las longitudes

c.- Sólo cuando la longitud de las pendientes sea mayor de 800m

TABLA 2-F. Vehículos ligeros equivalentes por autobús en subtramos o pendientes específicas de autopistas, vías rápidas y carreteras de carriles múltiples

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras S.O.P

Vehículos ligeros equivalentes P _o , G, E	Factor de ajustes por camiones T _C ó T _L (B _C ó B _L por autobuses ^o)																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	25	30	35	40	45	50	55	60
	2	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.93	0.92	0.91	0.89	0.88	0.86	0.85	0.83	0.8	0.77	0.74	0.71	0.69	0.67	0.65
3	0.98	0.96	0.94	0.93	0.91	0.89	0.88	0.86	0.85	0.83	0.81	0.78	0.76	0.74	0.71	0.67	0.63	0.59	0.56	0.53	0.5	0.48	0.45
4	0.97	0.94	0.92	0.89	0.87	0.85	0.83	0.81	0.79	0.77	0.74	0.7	0.68	0.65	0.63	0.57	0.53	0.49	0.45	0.43	0.4	0.38	0.36
5	0.96	0.93	0.69	0.86	0.83	0.81	0.78	0.76	0.74	0.71	0.68	0.64	0.61	0.58	0.56	0.5	0.45	0.42	0.38	0.36	0.33	0.31	0.29
6	0.95	0.91	0.87	0.83	0.8	0.77	0.74	0.71	0.69	0.67	0.63	0.59	0.56	0.53	0.5	0.44	0.4	0.36	0.33	0.31	0.29	0.27	0.25
7	0.94	0.89	0.85	0.81	0.77	0.74	0.7	0.68	0.65	0.63	0.58	0.54	0.51	0.48	0.45	0.4	0.36	0.32	0.29	0.27	0.25	0.23	0.22
8	0.93	0.88	0.83	0.78	0.74	0.7	0.67	0.64	0.61	0.59	0.54	0.51	0.47	0.44	0.42	0.36	0.32	0.29	0.26	0.24	0.22	0.21	0.19
9	0.93	0.86	0.81	0.76	0.71	0.68	0.64	0.61	0.58	0.56	0.51	0.47	0.44	0.41	0.38	0.33	0.29	0.26	0.24	0.22	0.2	0.19	0.17
10	0.92	0.85	0.79	0.74	0.69	0.65	0.61	0.58	0.55	0.53	0.48	0.44	0.41	0.38	0.36	0.31	0.27	0.24	0.22	0.2	0.18	0.17	0.16
11	0.91	0.83	0.77	0.71	0.67	0.63	0.59	0.56	0.53	0.5	0.45	0.42	0.38	0.36	0.33	0.29	0.25	0.22	0.2	0.18	0.17	0.15	0.14
12	0.9	0.82	0.75	0.69	0.65	0.6	0.57	0.53	0.5	0.48	0.43	0.39	0.36	0.34	0.31	0.27	0.23	0.21	0.19	0.17	0.15	0.14	0.13
13	0.89	0.81	0.74	0.68	0.63	0.58	0.54	0.51	0.48	0.45	0.41	0.37	0.34	0.32	0.29	0.25	0.22	0.19	0.17	0.16	0.14	0.13	0.12
14	0.88	0.79	0.72	0.66	0.61	0.53	0.52	0.49	0.46	0.42	0.39	0.35	0.32	0.3	0.28	0.24	0.2	0.18	0.16	0.15	0.13	0.12	0.11
15	0.88	0.78	0.7	0.64	0.59	0.54	0.51	0.47	0.44	0.42	0.37	0.34	0.31	0.28	0.26	0.22	0.19	0.17	0.15	0.14	0.13	0.11	0.11
16	0.87	0.77	0.69	0.63	0.57	0.53	0.49	0.45	0.43	0.4	0.36	0.32	0.29	0.27	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11	0.1
17	0.86	0.76	0.68	0.61	0.56	0.51	0.47	0.44	0.41	0.38	0.34	0.31	0.28	0.26	0.24	0.2	0.17	0.15	0.14	0.12	0.11	0.1	0.09
18	0.85	0.75	0.66	0.6	0.54	0.49	0.46	0.42	0.4	0.37	0.33	0.3	0.27	0.25	0.23	0.19	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11	0.1	0.09
19	0.85	0.74	0.65	0.58	0.53	0.48	0.44	0.41	0.38	0.36	0.32	0.28	0.26	0.24	0.22	0.18	0.16	0.14	0.12	0.11	0.1	0.09	0.08
20	0.84	0.72	0.64	0.57	0.51	0.47	0.42	0.4	0.37	0.34	0.3	0.27	0.25	0.23	0.21	0.17	0.15	0.13	0.12	0.1	0.1	0.09	0.08
22	0.83	0.7	0.61	0.54	0.49	0.44	0.4	0.37	0.35	0.32	0.28	0.25	0.23	0.21	0.19	0.16	0.14	0.12	0.11	0.1	0.09	0.08	0.07
24	0.81	0.68	0.59	0.52	0.47	0.42	0.38	0.35	0.33	0.3	0.27	0.24	0.21	0.19	0.16	0.15	0.13	0.11	0.1	0.09	0.08	0.07	0.07
26	0.8	0.67	0.57	0.5	0.44	0.4	0.36	0.33	0.31	0.29	0.25	0.22	0.2	0.18	0.17	0.14	0.12	0.1	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06
28	0.79	0.65	0.55	0.48	0.43	0.38	0.35	0.32	0.29	0.27	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16	0.13	0.11	0.1	0.08	0.08	0.07	0.06	0.06
30	0.78	0.63	0.53	0.46	0.41	0.36	0.33	0.3	0.28	0.26	0.22	0.2	0.18	0.16	0.15	0.12	0.1	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05
35	0.75	0.6	0.49	0.42	0.37	0.33	0.3	0.27	0.25	0.23	0.2	0.17	0.16	0.14	0.13	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05
40	0.72	0.56	0.46	0.39	0.34	0.3	0.27	0.24	0.22	0.2	0.18	0.15	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04
45	0.69	0.53	0.43	0.36	0.31	0.27	0.25	0.22	0.2	0.19	0.16	0.14	0.12	0.11	0.1	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04
50	0.67	0.51	0.4	0.34	0.29	0.25	0.23	0.2	0.18	0.17	0.15	0.13	0.11	0.1	0.09	0.08	0.06	0.06	0.05	0.04	0.04	0.04	0.03
55	0.65	0.48	0.38	0.32	0.27	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16	0.13	0.12	0.1	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03
60	0.63	0.46	0.36	0.3	0.25	0.22	0.19	0.17	0.16	0.15	0.12	0.11	0.1	0.09	0.08	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03
65	0.61	0.44	0.34	0.28	0.24	0.21	0.18	0.18	0.15	0.14	0.12	0.1	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03
70	0.59	0.42	0.37	0.27	0.22	0.19	0.17	0.15	0.14	0.13	0.11	0.09	0.08	0.07	0.07	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02
75	0.57	0.4	0.31	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.1	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02
80	0.56	0.39	0.3	0.24	0.2	0.17	0.15	0.14	0.12	0.11	0.1	0.08	0.07	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02
90	0.53	0.3	0.27	0.22	0.18	0.16	0.14	0.12	0.11	0.1	0.09	0.07	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
100	0.5	0.34	0.25	0.2	0.17	0.14	0.13	0.11	0.1	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02

TABLA 2-G. Factores de ajuste por camiones y autobuses en autopistas carreteras de carriles múltiples y carreteras de dos carriles.

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras S.O.P.

Como ya se menciona con anterioridad, la velocidad de operación y la relación volumen de demanda-capacidad (relación v/c) son las medidas básicas utilizadas para determinar el nivel de servicio en autopistas y vías rápidas. Las limitaciones que definen los diferentes niveles de servicio, están resumidas en la tabla 1-B mostrada anteriormente, la cual sirve de base para la mayoría de los cálculos.

La determinación de la capacidad en autopistas con condiciones por debajo de las ideales, requiere de la simple aplicación de uno o más de los valores de ajuste al valor básico (bajo condiciones ideales) de 2000 vehículos ligeros por carril por hora, multiplicado por el número de carriles (valor tabulado para nivel E en la tabla 1-B). el cálculo de volúmenes de servicio requiere además, del uso de las relaciones velocidad de operación v/c .

2.5.1. Elementos críticos que requieren consideración

1. Ancho de carril y distancia de obstáculos laterales. En la tabla 2-C se indican los valores de ajuste que deben ser aplicados para corregir las restricciones causadas por el ancho de carril y la distancia a obstáculos laterales.

Es conveniente señalar que se ha observado que los conductores usan regularmente una autopista, se ajustan rápidamente a la presencia de obstáculos laterales continuos como puede ser una defensa, lo que ocasiona que los factores de ajuste mostrados en la tabla 2-C sean excesivos.

Cuando se tienen elementos continuos específicamente diseñados para la seguridad del tránsito puede ser conveniente, a criterio, aplicar un ajuste menor.

2. Camiones autobuses y pendientes. Debido a que los camiones y autobuses son más grandes que los vehículos ligeros, estos ocupan mayor espacio; de ahí, siempre deberá considerarse su influencia en los volúmenes de servicio de autopistas.

Desde el punto de vista de volúmenes de servicio y de la capacidad, el principal criterio para evaluar las pendientes, es su efecto en las características de operación de camiones y autobuses. El efecto

que tienen los camiones en un tramo largo de autopista, es diferente del efecto sobre una pendiente específica dentro de ese tramo.

La tabla 2-D presenta valores medios de la equivalencia de vehículos ligeros por camión en tramos largos de autopista y vías rápidas para varias condiciones de terreno. Estas se aplican a todos los niveles de servicio, excepto al nivel A, para el cual no son factibles los valores medios. En esa misma tabla también se dan unas equivalencias aproximadas para autobuses, para los casos en que su volumen es importante.

Para el análisis de pendientes específicas sostenidas en autopista, en la tabla 2-F se indican las equivalencias de vehículos ligeros, las cuales representan el grado en que la capacidad y los volúmenes de servicio pueden ser afectados desfavorablemente.

La eficiencia relativamente buena de los autobuses en la mayoría de las pendientes, conduce a usar una equivalencia general de 1.6. Sin embargo, cuando la pendiente es larga y pronunciada y los volúmenes de autobuses son fuertes, puede ser deseable hacer consideraciones especiales. Para estos casos en la tabla 2-F se indican las equivalencias de vehículos ligeros por autobús.

En ampliaciones prácticas, las equivalencias por camiones y autobuses de las tablas 2-D, 2-E y 2-F no se usan directamente, sino que son empleadas para dirigir el factor de ajuste por camiones apropiado, que se puede obtener de la tabla 2-G; esta tabla considera la equivalencia de vehículos ligeros y el porcentaje de camiones y autobuses en la corriente de tránsito.

2.5.2. Cálculo de capacidad bajo condiciones prevalecientes

La formula básica para calcular la capacidad en caminos con circulación continua, es:

Capacidad

$$c = 2000 N (v/c) W Tc$$

en la cual:

c = Capacidad (transito mixto en vehículos por hora en un sentido)

N = Numero de carriles (en un sentido)

v/c = Relación volumen-capacidad (para este caso $v/c = 1$)

W = Factor de ajuste por ancho de carril y distancia a obstáculos laterales, obtenidos en la tabla 2-C

Tc = factor de ajuste a la capacidad, por vehículos pesados

El factor de ajuste Tc variara dependiendo de las siguientes características:

- Para tramos largos usaremos la tabla 2-D en combinación con la tabla 2-G.
- Para subtramos específicos usaremos la tabla 2-E en combinación con la tabla 2-G
- Cuando el volumen sea importante, el segundo termino de la formula básica anterior deberá multiplicarse por el factor de autobuses (Bc), obtenido de la tabla 2-G en combinación con la tabla 2-F.

2.5.3. Cálculo de volúmenes de servicio

El procedimiento es similar al descrito previamente para la capacidad, pero en este caso la relación v/c debe aplicarse para el nivel de servicio deseado y el factor de ajuste por camiones debe ser el correspondiente al nivel de servicio, en lugar del utilizado para la capacidad. Cuando no se dispone del alineamiento ideal, ósea que la velocidad de proyecto es menor a 110 km/h, debe usarse la relación v/c indicada en la tabla 2-B para velocidad de proyecto ponderada correspondiente, lo cual asegurara un resultado que mantendrá la velocidad de operación, dentro del nivel de servicio considerado.

La relación v/c también se puede obtener de la figura. En los niveles de servicio C y D, la elección de la relación v/c involucra la consideración del factor de la hora máxima de demanda como multiplicador.

$$VS = 2000 N (v/c) W TL$$

En la cual:

VS = Volumen de servicio (transito mixto en vehículos por hora en un sentido)

N = Numero de carriles (en un sentido)

v/c = Relación volumen-capacidad, obtenida de la tabla 2-B.

W = Factor de ajuste por ancho de carril y distancia a obstáculos laterales, obtenido en la tabla 2-C

TL = Factor de ajuste a un nivel de servicio dado, por vehículos pesados.

El factor de ajuste T_c se determinara de la misma forma que el cálculo de capacidad.

2.5.4. Determinación de niveles de servicio

La determinación del nivel de servicio que proporciona una autopista o vía rápida existente o propuesta, al acomodar un volumen de demanda dado, bajo condiciones de circulación continua, es a menudo el problema que se presenta. Esto puede hacerse directamente examinando la tabla 2-B, si se conocen la velocidad de operación, el volumen de demanda, el factor de la hora máxima demanda y la velocidad de proyecto ponderada. El resultado será aproximado si se desprecia la influencia de los vehículos pesados. Sin embargo, un cálculo preciso en el que se consideren los vehículos pesados. Sin embargo, un cálculo preciso en el que se consideren los vehículos pesados y las características de la hora de máxima demanda, involucra complicaciones que hacen inevitable una solución por tanteos. Un procedimiento de análisis puede ser el siguiente:

1. Supóngase un nivel de servicio a criterio, tomando en cuenta las características del camino y del tránsito.
2. Calcúlese el volumen de servicio correspondiente al nivel de servicio supuesto, siguiendo el procedimiento indicado para el cálculo de volúmenes de servicio.
3. Compárese el volumen de servicio obtenido con el volumen de demanda en el camino. Dos tanteos como máximo, permitirán conocer en que rango de volúmenes de servicio cae el volumen de demanda y por consiguiente, conocer el nivel de servicio buscado.

Ejemplo.

Datos:

- Autopista de 8 carriles, 4 en cada sentido.
- Carriles de 3.65 m, acotamientos de 1.80 m o mas y distancia libre lateral a la barrera central de 0.60 m.
- Terreno en lomerío .
- Camiones 6%, autobuses despreciable.
- Los alineamientos horizontal y vertical restringen la velocidad de proyecto ponderada de 80 km/h.
- Factor de la hora máxima de demanda = 0.91

Determinar:

1. Volúmenes de servicio para los niveles de servicio B y D
2. Volúmenes de servicio para los niveles B y D para las condiciones dadas, si los alineamientos permiten una velocidad de proyecto ponderada de 95 km/h

Solución:

1. Volúmenes de servicio para niveles B y D con una velocidad de proyecto ponderada de 80 km/h.
 - a) Para comenzar nos vamos a observar nuestra tabla 1-B en la cual como nos podemos dar cuenta, el nivel de servicio B no se puede alcanzar, debido a que la velocidad de proyecto ponderada de 80 km/h no permite alcanzar la velocidad de operación de 90 km/h que corresponde al nivel de servicio B

b) Para el caso del volumen de servicio para el nivel D se tiene que:

$$VS_D = 2000 N \frac{v}{c} W T_L$$

$N = 4$ carriles

$\frac{v}{c} = .45$ x Factor de la hora máxima de demanda.

$W =$ Basádonos en la tabla 2-C y de acuerdo a nuestros datos de ancho de carril y distancia libre lateral de 0.60m obtenemos que el valor de W es de .97, pero considerando que es un obstáculo continuo y es para seguridad del del conductor, disminuirémos este valor a .96

$T_L = 0.85$ (Tabla 2-D en combinación con la tabla 2-G)

$$VS_D = 2000 \times 4 (0.45 \times 0.91) \times 0.96 \times 0.85 = 2673 \text{ vph}$$

2. Volúmenes de servicio para niveles B y D con una velocidad de proyecto ponderada de 95 km/h.

a) Volumen de servicio para el nivel B

$$VS_B = 2000 N \frac{v}{c} W T_L$$

N, W, T_L son los mismo valores que en la solución anterior.

$$\frac{v}{c} = 0.25 \text{ (valor obtenido de la tabla 2-B)}$$

$$VS_B = 2000 \times 4 \times 0.25 \times 0.96 \times 0.85$$

$$VS_B = 1632 \text{ vph}$$

b) Para el caso del volumen de servicio para el nivel D se tiene que

$$VS_D = 2000 N \frac{v}{c} W T_L$$

N, W, T_L son los mismo valores que en la solución anterior.

$$\frac{v}{c} = .85 \times \text{Factor de la hora máxima de demanda.}$$

$$VS_D = 2000 \times 4 \times (0.85 \times 0.91) \times 0.96 \times 0.85 = 4752 \text{ vph}$$

2.6. Análisis de capacidad y niveles de servicio en carreteras de carriles múltiples

La diferencia en la operación entre las autopistas y las vías rápidas con los caminos de carriles múltiples, se debe a la ausencia de la faja separadora central y del control de acceso. En efecto, cuando se tienen dos o más carriles en una dirección, a volúmenes intermedios, la eficiencia de las autopistas es mayor que la de los caminos con carriles múltiples, debido a que en estos últimos caminos, los vehículos que circulan por los carriles interiores se ven afectados por los vehículos que circulan en sentido contrario, además de las interferencias producidas por los vehículos que van a dar vuelta o vienen de la izquierda y a que los vehículos que circulan por los carriles exteriores se ven afectados en mayor proporción por el tránsito lento y por los obstáculos laterales a la derecha. Como consecuencia de lo anterior, para fines de análisis se considera que las velocidades de operación son más bajas en caminos de carriles de múltiples que en las autopistas, lo cual produce diferencias en los límites de la relación v/c para ciertos niveles de servicio.

Las condiciones ideales para caminos de carriles múltiples son similares a las de las autopistas, incluyendo carriles de 3.65m, distancias a obstáculos laterales mayores a 1.80m, alineamientos para velocidad de proyecto de 110km/h, y sin vehículos pesados en la corriente de tránsito. Las capacidades promedio por carril bajo estas condiciones son también de 2000 vehículos ligeros por hora.

A continuación se una lista de tablas que se usan como base para el cálculo de la capacidad y niveles de servicio en carreteras de carriles múltiples.

Nivel de servicio	Condiciones del flujo de tránsito		Volúmenes de Servicio-Capacidad (v/c)			Volumen de servicio máximo bajo condiciones ideales, incluyendo velocidad de proyecto ponderada de 110km/h (Total de vehículos ligeros por hora en un sentido)		
	Descripción	Velocidad de operación ^a (km/h)	Valor límite ^a para velocidad de proyecto ponderada de 110 km/h	Valor aproximado para una velocidad de proyecto ponderada de:		Carretera de 4 carriles (2 carriles por sentido)	Carretera de 6 carriles (3 carriles por sentido)	Cada carril adicional
				95 km/h	80 km/h			
A	Flujo libre	≥ 95	≤ 0.30	___ b	___ b	1200	1800	600
B	Flujo estable (velocidad superior del rango)	≥ 90	≤ 0.50	≤ 0.20	___ b	2000	3000	1000
C	Flujo estable	≥ 70	≤ 0.75	≤ 0.50	≤ 0.25	3000	4500	1500
D	Aproximándose al flujo inestable	≥ 55	≤ 0.90	≤ 0.85	≤ 0.70	3600	5400	1800
E ^c	Flujo inestable	50 ^d	≤ 1.00			4000	6000	2000
F	Flujo forzado	< 50 ^d	No significativo ^e			Muy variable (desde cero hasta la capacidad)		

- a.- La velocidad de operación y la relación v/c son medios independientes del nivel de servicio; ambos límites deben satisfacerse en cualquier determinación del nivel.
- b.- La velocidad de operación requerida para este nivel no se alcanza aún a bajos volúmenes.
- c.- Capacidad.
- d.- Aproximadamente.
- e.- La relación volumen de demanda-capacidad puede exceder el valor de 1.00 indicando que hay sobrecarga.

TABLA 2-H. Niveles de servicio y volúmenes de servicio máximos para carreteras de carriles múltiples, bajo condiciones de circulación continua.

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras S.O.P.

Distancia desde la orilla del carril al obstáculo (m)	Factor de ajuste ^a , W por ancho de carril y distancia a obstáculos laterales							
	Obstáculos en el lado derecho (considerando que circula tránsito en sentido contrario del lado izquierdo).				Obstáculos a ambos lados de un sentido de circulación ^{b,c}			
	Carriles en metros				Carriles en metros			
	3.65	3.35	3.05	2.75	3.65	3.35	3.05	2.75
Carretera no dividida de 4 carriles.								
1.8	1	0.95	0.89	0.77	N.A	N.A	N.A	N.A
1.2	0.98	0.94	0.88	0.76	N.A	N.A	N.A	N.A
0.6	0.95	0.92	0.86	0.75	0.94	0.91	0.86	N.A
0	0.88	0.85	0.8	0.7	0.81	0.79	0.74	0.66
Carretera no dividida de 6 y 8 carriles.								
1.8	1	0.95	0.89	0.77	N.A	N.A	N.A	N.A
1.2	0.99	0.94	0.88	0.76	N.A	N.A	N.A	N.A
0.6	0.97	0.93	0.86	0.75	0.96	0.92	0.85	N.A
0	0.94	0.9	0.83	0.72	0.91	0.87	0.81	0.7

a.- Los mismos valores de ajuste para la capacidad y niveles de servicio.

b.- Su uso es apropiado solo cuando el camino no dividido este separado temporalmente en dos calzadas, por obstáculos tales como barreras centrales, elementos estructurales, de pasos a desnivel, más cercanos de lo que estaría el tránsito opuesto.

c.- N.A = no aplicable; úsese el ajuste para obstáculos en el lado derecho.

TABLA 2-I. Efecto combinado del ancho de carril y de la distancia a obstáculos laterales sobre la capacidad y volúmenes de servicio en carreteras de carriles múltiples con circulación continua.

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras S.O.P.

En la tabla 2-G que se presenta a continuación se muestran las relaciones que existen entre los niveles de servicio, las velocidades de operación y las relaciones v/c en caminos de carriles múltiples, tanto para condiciones ideales como para el caso de alineamiento restringido (velocidad de proyecto ponderada menor a 110km/h); en esta tabla también se muestran los volúmenes de servicio y la capacidad bajo condiciones ideales.

2.6.1. Elementos críticos que requieren consideración

1. Ancho de carril y distancia de obstáculos laterales. En la tabla 1-H se presentan los factores de ajuste combinados por ancho de carril y distancia de obstáculos laterales. Normalmente, las restricciones laterales en este tipo de caminos, serán más críticas y más abruptas por naturaleza, que las que normalmente se encuentran en autopistas. En el caso de encontrarse obstáculos continuos, deberá aplicarse el mismo criterio que para el caso de las autopistas.

2. Camiones, autobuses y pendientes. Para este caso se toma los factores de ajuste de la tabla 2-G, mismos que son utilizados en autopistas, ya que investigaciones hechas no justifican tomar en cuenta los refinamientos de la pequeña diferencia del efecto específico entre las autopistas y carreteras de carriles múltiples.
3. Interrupciones de tránsito. Por definición, todos los caminos, excepto las autopistas, están sujetas a interrupciones, aun cuando la magnitud de estas pueden variar ampliamente. Las interrupciones fijas del tránsito en el camino incluyen las intersecciones controladas con semáforos, señales de alto, cruces a nivel de ferrocarril, y otras interrupciones semejantes. De las interrupciones anteriores, solo la ocasionada por semáforos es la única por la cual se hace un procedimiento de análisis, para hacer una evaluación cuantitativa de su efecto en la capacidad y en los niveles de servicio del camino.

2.6.2. Procedimiento para determinar la capacidad y niveles de servicio

Los procedimientos generales aplicados en autopistas, son igualmente aplicables a la mayoría de los caminos. De manera similar, el procedimiento consiste en determinar las capacidades, volúmenes de servicio y niveles de servicio, de subtramos específicos analizando después tramos de mayor longitud, formados por la combinación de varios subtramos.

Como en el caso de autopistas, la velocidad de operación y la relación volumen de demanda o de servicio-capacidad (relación v/c) son las medidas básicas utilizadas para identificar los niveles de servicio, en caminos de carriles múltiples como se muestran en la tabla 2-G.

En cuanto a los procedimientos para determinar la capacidad y los niveles de servicio, se emplean los mismos que los de autopistas.

Ejemplo.

Datos:

- Carretera de 4 carriles, 2 en cada sentido.
- Carriles de 3.65 m.
- Arboles a una distancia de 1.20 m de la orilla de la calzada.
- Pendiente longitudinal del 3% en 1.6 km.
- Camiones PT= 7%, autobuses despreciable.
- Alineamiento para una velocidad de proyecto ponderada de 95km/h.
- Volumen de demanda de 540 vph.

Determinar:

1. El nivel de servicio para el volumen de demanda indicado en los datos.
2. El volumen de servicio correspondiente al nivel de servicio E

Solución:

3. Vamos suponer como primer tanteo, un nivel de servicio C

$$VS_c = 2000 N \frac{v}{c} W T_L$$

N = 2 carriles

$\frac{v}{c} = .50$ (obtenido de la tabla 2-G con los datos de nivel de servicio y velocidad de proyecto ponderada).

$W = .98$ (obtenido de la tabla 2-H de acuerdo al ancho de carril y la distancia desde la horilla del carril al obstáculo).

$ET = 7$ (obtenido de la tabla 2-E en base a nuestra pendiente, longitud de la pendiente y el promedio entre el valor de acuerdo al 5 y 10 % de equivalencia en vehículos ligeros, ya que el 7 % no se muestra en la tabla).

$TL = .70$ (obtenido de la tabla 1-G en base a nuestro ET y PT).

$$\begin{aligned} VS_c &= 2000 \times 2 \times 0.50 \times 0.98 \times 0.70 \\ &= 1372 \text{ vph} \end{aligned}$$

$$540 \text{ vph} < 1372 \text{ (} VS_c \text{)}.$$

Como nuestro volumen de servicio para nivel C es mucho mayor al de demanda, se hará un segundo tanteo pero ahora con un nivel de servicio B.

Volumen de servicio para el nivel B

$$VS_B = 2000 N \frac{v}{c} W TL$$

N, W, TL son los mismo valores que en la solución anterior.

$\frac{v}{c} = 0.20$ (valor obtenido de la tabla 2-G).

$$VS_B = 2000 \times 2 \times 0.20 \times 0.98 \times 0.60$$

$$VS_B = 549 \text{ vph}$$

En este caso nuestro volumen de servicio es similar al de demanda y se concluye que el camino opera al nivel de servicio B.

4. Volumen de servicio E

$$VS_E = 2000 N \frac{v}{c} W T_L$$

N y W son los mismos valores que en la solución anterior.

TC es igual a TL

$\frac{v}{c} = 1$ (valor obtenido de la tabla 2-G).

$$VS_E = 2000 \times 2 \times 1.0 \times 0.98 \times 0.70$$

$$VS_E = 2744 \text{ vph}$$

2.7. Análisis de capacidad y niveles de servicio en carreteras de dos carriles.

Existen 2 características básicas que distinguen la operación del tránsito en caminos de 2 carriles y la operación del tránsito en caminos de carriles múltiples.

La primera característica es que la distribución de tránsito por sentidos en caminos de 2 carriles, no tiene efecto en las condiciones de operación a cualquier nivel de volúmenes de tránsito.

La segunda característica es que las maniobras de rebase se efectúan en el carril de sentido contrario.

Debido a la geometría de este tipo de caminos la distancia de visibilidad de rebase se encuentra restringida a 500m o más lo cual también afecta las velocidades de operación.

En este tipo de caminos, el nivel de servicio se expresa de la misma manera que en los casos que tuvimos anteriormente. Para un nivel de servicio dado, las velocidades de operación se mantienen dentro del rango correspondiente a ese nivel, por lo que el efecto de las restricciones en la distancia de visibilidad de rebase, es el de disminuir el volumen de servicio correspondiente.

A continuación se una lista de tablas que se usan como base para el cálculo de la capacidad y niveles de servicio en carreteras de dos carriles.

Nivel de servicio	Condiciones del flujo de tránsito		Distancia de visibilidad de rebase >500 mts (%)	Volumen de Servicio-Capacidad					Volúmenes de servicio máximo bajo condiciones ideales, incluyendo velocidad de proyecto ponderada de 110 km/h (total de vehículos ligeros por hora en ambas direcciones)	
	Descripción	Velocidad de operación (km/h)		Valor límite ^e para velocidad de proyecto ponderada de 110 km/h	Valor para una velocidad de proyecto ponderada de:					
					95 km/h	80 km/h	70 km/h	65 km/h		55 km/h
A	Flujo libre	≥95	≤	-	-	-	-	-	400	
			100	0.2	-	-	-	-		
			80	0.18	-	-	-	-		
			60	0.15	-	-	-	-		
			40	0.12	-	-	-	-		
			0	0.04	-	-	-	-		
B	Flujo estable (velocidad superior al rango)	≥80	≤	≤	-	-	-	-	900	
			100	0.45	0.4	-	-	-		
			80	0.42	0.35	-	-	-		
			60	0.38	0.3	-	-	-		
			40	0.34	0.24	-	-	-		
			0	0.24	0.12	-	-	-		
C	Flujo estable (velocidad superior al rango)	≥65	≤	≤	≤	≤	-	-	1400	
			100	0.7	0.66	0.56	0.51	-		
			80	0.68	0.61	0.53	0.43	-		
			60	0.65	0.56	0.47	0.41	-		
			40	0.62	0.51	0.38	0.32	-		
			0	0.54	0.38	0.18	0.12	-		
D	Flujo próximo al inestable	≥55	≤	≤	≤	≤	≤	-	1700	
			100	0.85	0.83	0.75	0.67	0.58		
			80	0.84	0.81	0.72	0.62	0.55		
			60	0.83	0.79	0.69	0.57	0.51		
			40	0.82	0.76	0.56	0.52	0.45		
			0	0.81	0.71	0.61	0.44	0.35		
E ^c	Flujo inestable	50 ^d	No es aplicable ^e	≤ 1.00					2000	
F	Flujo forzado	<50 ^d	No es aplicable ^e	no significativo ^f					Muy variable (desde cero hasta la capacidad)	

a.- La velocidad de operación y la relación v/c son medios independientes del nivel de servicio; ambos límites deben satisfacerse en cualquier determinación del nivel.

b.- Cuando el espacio esté en blanco, la velocidad de operación requerida para este nivel es inalcanzable aun a volúmenes bajos.

c.- Capacidad.

d.- Aproximadamente.

e.- No hay rebase.

f.- La relación volumen de demanda-capacidad puede exceder el valor de 1.00 indicando que hay sobrecarga.

TABLA 2-J. Niveles de servicio y volúmenes de servicio máximos para carreteras de dos carriles bajo condiciones de flujo continuo.

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras S.O.P.

Distancia desde la orilla del carril al obstáculo (m)	Factores de ajuste ^a W_L y W_C por ancho de carril y distancia a obstáculos laterales															
	Obstáculos en un solo lado ^b								Obstáculos en ambos lados ^b							
	Carriles en metros															
	3.65		3.35		3.05		2.75		3.65		3.35		3.05		2.75	
	Nivel		Nivel		Nivel		Nivel		Nivel		Nivel		Nivel		Nivel	
	B	E ^c	B	E ^c	B	E ^c	B	E ^c	B	E ^c	B	E ^c	B	E ^c	B	E ^c
	1.8	1	1	0.86	0.88	0.77	0.81	0.7	0.76	1	1	0.86	0.88	0.77	0.81	0.7
1.2	0.96	0.97	0.83	0.85	0.74	0.79	0.68	0.74	0.92	0.94	0.79	0.83	0.71	0.76	0.65	0.71
0.6	0.91	0.93	0.78	0.81	0.7	0.75	0.64	0.7	0.81	0.85	0.7	0.75	0.63	0.69	0.57	0.65
0	0.85	0.88	0.73	0.77	0.66	0.71	0.6	0.66	0.7	0.76	0.6	0.67	0.54	0.62	0.49	0.58

- a.- Factores de ajuste, W_C para el nivel "E" (Capacidad) y W_L para el nivel "B"; interpolar para otros niveles.
b.- Incluye el efecto del tránsito en sentido contrario.
c.- Capacidad.

TABLA 2-K. Efecto combinado del ancho de carril y de la distancia a obstáculos laterales sobre la capacidad y volúmenes de servicio en carreteras de dos carriles bajo condiciones de circulación continua.

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras S.O.P.

Equivalente	Nivel de servicio	Equivalente, para:		
		Terreno plano	Terreno en lomerío	Terreno montañoso
E_T , para camiones	A	3	4	7
	B y C	2.5	5	10
	D Y E	2	5	12
E_B para autobuses ^a	Todos los niveles	2	4	6

- a.- Hacer consideraciones por separado no es requisito en la mayoría de los problemas; aplíquese únicamente cuando el volumen de autobuses sea significativo.

TABLA 2-L. Vehículos ligeros equivalentes por camión y por autobús en tramos largos de carreteras de dos carriles.

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras S.O.P.

Pendiente (%)	Longitud de la pendiente (km)	Vehículos ligeros equivalentes (para todos los porcentajes de camiones)								
		Peso potencia = 90Kg/Hp			Peso potencia = 120Kg/Hp			Peso potencia = 180Kg/Hp		
		Nivel de servicio A y B	Nivel de servicio C	Nivel de servicio D y E	Nivel de servicio A y B	Nivel de servicio C	Nivel de servicio D y E	Nivel de servicio A y B	Nivel de servicio C	Nivel de servicio D y E
0 - 1	Todos	2	2	2	2	2	2	2	2	2
01-feb	Todos	2	2	2	2	2	2			
2	0.4							6	4	2
	0.8							6	5	2
	1.2							8	7	2
	1.6							8	8	4
	2.4							9	9	6
	3.2							10	10	7
	4.8							11	11	8
3	0.4	4	2	2	5	4	2	7	7	2
	0.8	4	2	2	6	5	2	11	11	8
	1.2	4	2	2	7	6	2	14	14	13
	1.6	5	3	2	8	7	3	16	16	15
	2.4	5	3	2	9	8	4	17	21	21
	3.2	5	3	2	10	9	5	18	22	22
	4.8	5	3	2	10	9	5	19	24	24
4	0.4	6	4	2	7	6	2	11	11	8
	0.8	7	6	2	10	10	7	18	22	22
	1.2	7	7	2	12	12	10	22	28	29
	1.6	7	7	2	13	13	12	24	31	34
	2.4	8	8	3	14	14	14	25	34	37
	3.2	8	8	4	15	15	15	26	35	39
	4.8	8	8	5	16	16	16	27	36	40
5	0.4	7	7	2	10	10	7	16	19	19
	0.8	10	10	7	15	17	17	26	35	39
	1.2	11	11	9	17	20	20	30	41	46
	1.6	12	12	10	18	23	23	32	45	50
	2.4	13	13	11	19	25	25	34	47	54
	3.2	14	13	12	20	26	26	34	47	54
	4.8	14	14	12	20	26	27	35	48	55
6	0.4	14	10	7	15	17	16	24	31	34
	0.8	15	14	13	21	27	19	32	47	54
	1.2	16	16	15	23	30	32	39	54	64
	1.6	17	17	17	24	32	34	41	58	67
	2.4	17	18	18	25	34	36	44	60	72
	3.2	18	19	19	26	35	37	45	61	73
	4.8	18	20	21	26	35	38	46	62	74
6.4	14	21	22	26	35	38	46	62	74	

TABLA 2-M. Vehículos ligeros equivalentes por camión, para subtramos o pendientes específicas de carreteras de dos carriles.

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras S.O.P.

7	0.4	18	14	14	20	25	27	31	44	49
	0.8	19	23	23	27	38	42	44	61	74
	1.2	20	25	26	29	40	45	47	65	79
	1.6	21	26	27	30	42	47	49	68	83
	2.4	22	27	28	31	43	48	51	70	86
	3.2	22	28	29	32	44	49	51	71	87
	4.8	22	28	30	32	45	50	52	72	88
	6.4	18	28	30	32	45	50	52	72	88
8	0.4	22	22	22	25	34	37	41	58	67
	0.8	24	29	31	33	45	51	52	72	88
	1.2	25	32	34	35	49	55	57	77	97
	1.6	25	33	35	36	50	57	59	80	100
	2.4	26	34	36	37	51	58	61	84	104
	3.2	26	35	37	38	52	59	61	84	105
	4.8	26	35	38	38	52	60	62	85	106
	8.4	26	35	38	38	52	60	62	85	106

Continuación TABLA 2-M.

En la tabla 2-I e indica la escala de características de operación establecida para los diferentes niveles de servicio en caminos de 2 carriles, velocidades de operación y relaciones volumen capacidad para condiciones de alineamiento ideal (110 km/h), también incluye relaciones v/c para velocidades de proyecto menores de 110 km/h.

2.7.1. Elementos críticos que requieren consideración

1. Ancho de carril y distancia de obstáculos laterales. En la tabla 2-J se dan los factores de ajuste que reflejan el efecto combinado que tienen las restricciones en el ancho de carril y los obstáculos laterales, sobre caminos de 2 carriles.

2. Camiones, autobuses y pendientes. En la tabla 2-K se dan las equivalencias de vehículos ligeros por camión, aplicables a tramos largos de caminos de 2 carriles para varias condiciones del terreno y del nivel del servicio. Los factores de demanda mixtos a vehículos ligeros equivalentes por hora, se obtienen entrando a la tabla 1-G con las equivalencias de la tabla 2-K y el porcentaje de camiones o autobuses en la corriente de tránsito.
3. Interrupciones de tránsito. Como en el caso de carriles múltiples, las interrupciones de tránsito tienen un efecto negativo en la operación de caminos de 2 carriles y deben, por lo tanto, tomarse en consideración en el análisis. Una intersección aislada controlada con semáforos, podrá en muchos casos, no afectar materialmente los niveles de servicio más altos, debido a que solo unos cuantos vehículos tendrían que detenerse en la intersección y por que la capacidad de la intersección excederá considerablemente a los volúmenes de servicio asociados con dichos niveles, cuando los volúmenes son más grandes, o las intersecciones están ubicadas muy cerca una de la otra, el efecto puede llegar a ser de importancia.

2.7.2. Procedimientos para determinar la capacidad y los niveles de servicio

Los procedimientos para determinar la capacidad y los niveles de servicio, son similares en concepto, a los utilizados para caminos de carriles múltiples. Sin embargo, son un poco más complejos que los que involucran el análisis de los niveles de servicio, debido a la influencia de la distancia de visibilidad de rebase disponible y la mayor probabilidad de tener alineamientos

restringidos. Igualmente, existe más variación entre los factores de ajuste para la capacidad y niveles de servicio.

El procedimiento es el siguiente:

- I. Cálculo de la capacidad bajo condiciones prevalecientes:

$$\text{Capacidad : } c = 2000 N \frac{v}{c} W_c T_c$$

en la cual:

c = Capacidad (transito mixto en vehículos por hora en ambos sentidos).

N = Numero de carriles (en este caso $N= 1$, debido a que la capacidad bajo condiciones ideales es de 2000 vph en ambos sentidos).

v/c = Relación volumen-capacidad (para este caso $v/c = 1$).

W_c = Factor de ajuste a la capacidad, por ancho de carril y distancia a obstáculos laterales, de la tabla 2-J.

T_c = factor de ajuste a la capacidad, por vehículos pesados.

Para obtener este factor T_c en tramos largos debemos usar las tablas 2-K en combinación con la 2-G.

Para subtramos específicos debemos usar la tabla 2-L en combinación con la 2-G.

- II. Cálculo de volumen de servicio: el procedimiento es similar al empleado para autopistas y caminos de carriles múltiples, excepto que en este caso interviene el porcentaje de distancia de visibilidad de rebase disponible.

$$V_s = 2000 N \frac{v}{c} W_L T_L$$

En la cual:

V_s = Volumen de servicio (transito mixto en vehículos por hora en ambos sentidos)

N = Numero de carriles (en este caso $N= 1$, debido a que la capacidad bajo condiciones ideales es de 2000 vph en ambos sentidos).

v/c = Relación volumen-capacidad, obtenida de la tabla 2-I

W = Factor de ajuste a nivel de servicio dado por ancho de carril y distancia a obstáculos laterales, obtenido en la tabla 2-J

T_L = Factor de ajuste a un nivel de servicio dado, por vehículos pesados.

Para obtener este factor T_L en tramos largos debemos usar las tablas 1-K en combinación con la 2-G.

Para subtramos específicos debemos usar la tabla 1-L en combinación con la 2-G.

- III. Determinación de niveles de servicio. Se sugiere seguir el siguiente procedimiento:
1. Suponga un nivel de servicio a criterio, tomando en cuenta las características del camino y del tránsito.
 2. Calcúlese el volumen de servicio correspondiente al nivel de servicio supuesto, siguiendo el procedimiento indicado para el cálculo de volúmenes de servicio.

3. Compárese el volumen de servicio obtenido, con el volumen de demanda en el camino. 2 tanteos como máximo, permitirán conocer en que rango de volúmenes de servicio cae el volumen de demanda y por consiguiente, conocer el volumen de servicio buscado.

Ejemplo.

Datos:

- Carretera de carriles en 2 sentidos.
- Ancho de calzada = 6.10 m.
- Acotamiento de 0.60 m en ambos lados.
- Terreno en lomerío.
- Velocidad de proyecto ponderada, 80 km/h.
- Distancia de visibilidad de rebase disponible mayor de 500 m = 40%.
- Camiones 20%.
- Autobuses, despreciable.
- Volumen de demanda actual, 250 vph.
- Volumen de demanda dentro de 20 años = 750 vph

Determinar:

3. El nivel de servicio al que opera actualmente.
4. A qué nivel de servicio operara dentro de 20 años

5. A qué nivel de servicio operara dentro de 20 años si se hacen las siguientes mejoras al camino.
- 7.30 m de calzada.
 - 3.00 m de acotamiento.
 - 80% de distancia de visibilidad de rebase disponible.
6. Cual será el volumen de servicio proporcionado por el camino, mejorado a nivel de servicio E (capacidad).

Solución:

5. Vamos suponer como primer tanteo, un nivel de servicio C

$$V_{Sc} = 2000 N \frac{v}{c} W_L T_L$$

$$N = 1$$

$\frac{v}{c} = .38$ (obtenido de la tabla 2-I con los datos de nivel de servicio y velocidad de proyecto ponderada).

$$W_L = .98 \text{ (de la tabla 2-J)}$$

$T_L = .56$ (obtenido de la tabla 2-G en combinación con la tabla 2-K).

$$\begin{aligned} V_{Sc} &= 2000 \times 1 \times 0.38 \times 0.65 \times 0.56 \\ &= 276 \text{ vph} \end{aligned}$$

Comparado con el volumen de demanda actual:

$$250 \text{ vhp} < 276 \text{ vhp (VSc)}$$

Conclusión:

La suposición es correcta y el camino opera a un nivel de servicio C.

6. Se supone como primer tanteo un nivel de servicio D.

$$VS_D = 2000 N \frac{v}{c} W_L T_L$$

$$N = 1$$

$$\frac{v}{c} = .66 \text{ (obtenido de la tabla 2-I)}$$

$$W_L = .67 \text{ (de la tabla 2-J)}$$

$$T_L = .56 \text{ (obtenido de la tabla 2-G en combinación con la tabla 2-K).}$$

$$VS_D = 2000 \times 1.0 \times 0.66 \times 0.67 \times 0.56$$

$$VS_D = 493 \text{ vph}$$

Si lo comparamos con el volumen de demanda dentro de veinte años.

$$750 \text{ vph} > 493 \text{ vph (VSD)}$$

Conclusión:

Dentro de veinte años, el volumen de demanda sobrepasara al volumen de servicio correspondiente al nivel D y, por lo tanto, el camino operara a la capacidad o a nivel de servicio F.

7. Se supone como primer tanteo un nivel de servicio C.

$$VS_c = 2000 N \frac{v}{c} W_L T_L$$

$$N = 1$$

$$\frac{v}{c} = .53 \text{ (obtenido de la tabla 2-I)}$$

$$W_L = 1.00 \text{ (de la tabla 2-J)}$$

$$T_L = .56 \text{ (obtenido de la tabla 1-G en combinación con la tabla 2-K).}$$

$$\begin{aligned} VS_c &= 2000 \times 1 \times 0.53 \times 1.00 \times 0.56 \\ &= 594 \text{ vph} \end{aligned}$$

Si lo comparamos con el volumen de demanda dentro de veinte años.

$$750 \text{ vph} > 594 \text{ vph (VSC)}$$

Conclusión:

La suposición es incorrecta, por lo que hay que hacer un nuevo tanteo.

Supongamos ahora un nivel de servicio D.

$$VS_D = 2000 N \frac{v}{c} W_L T_L$$

$$N = 1$$

$$\frac{v}{c} = .72 \text{ (obtenido de la tabla 2-I).}$$

W_L = mismo valor que para nivel de servicio C.

T_L = mismo valor que para nivel de servicio C.

$$VS_D = 2000 \times 1.0 \times 0.72 \times 1.0 \times 0.56$$

$$VS_D = 806 \text{ vph}$$

Si lo comparamos con el volumen de demanda dentro de veinte años.

$$750 \text{ vph} > 806 \text{ vph (VSD)}$$

Conclusión:

El camino mejorado operara a un nivel de servicio D dentro de 20 años.

8. Capacidad de la carretera mejorada:

$$\text{Capacidad : } c = 2000 N \frac{v}{c} Wc Tc$$

$$N = 1$$

$$\frac{v}{c} = 1.0$$

$$Wc = 1.0 \text{ (donde la tabla 2-J).}$$

$$Tc = 0.56 \text{ (de la tabla 2-G combinada con tabla 2-K).}$$

$$c = 2000 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 \times 0.56$$

$$c = 1120 \text{ vph.}$$

2.8. Dispositivos para el control de tránsito.

Se entiende por volumen de tránsito 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 tránsito promedio diario (T.P.D.) al promedio de los volúmenes de tránsito 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 tránsito 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. Este Volumen Directriz usualmente equivale en USA. al 15% de T.P.D. como se vera a continuación en México se usa el 12% del T.P.D.

2.8.1. 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 tránsito 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 anterior. La capacidad práctica 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 tránsito sea estimado de la mejor manera posible previendo cualquier aumento. La manera de conocer el tipo de tránsito 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 tránsito 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 tubo 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 número 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 práctica 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.

CAPITULO 3. ANTEPROYECTO

El anteproyecto es el resultado del conjunto de estudios y levantamientos topográficos que se llevan a cabo con base en los datos previos, para situar en planos obtenidos de ese levantamiento, el eje que seguirá el camino.

Una vez obtenidos los planos con curvas de nivel a una escala apropiada, se inicia el estudio para el trazo del camino, considerando un número variable de posibilidades, hasta seleccionar la más conveniente que se tomara como tentativa del eje de la carretera, quedando así definidos los alineamientos horizontal y vertical.

El anteproyecto requiere una elevación razonablemente exacta de la geometría de cada una de las posibilidades, sin hacer falta una exactitud minuciosa, ya que serán inútiles cuantos cálculos se hagan para todas las líneas posibles, excepto para aquella que se juzgue posteriormente como la mejor.

Un trazo óptimo es aquel que se adapta económicamente a la topografía del terreno. Sin embargo, la selección de una línea y su adaptabilidad al terreno dependen de los criterios adoptados.

Estos criterios a su vez dependen del tipo y volumen de tránsito previstos durante la vida útil del camino, así como de la velocidad de proyecto.

Por consiguiente, una vez clasificada la vía y fijadas las especificaciones que regirán el proyecto geométrico, se debe buscar una combinación de alineamientos que se adapten al terreno, planimétrica y altimétricamente y cumplan los requisitos establecidos.

En muchas ocasiones, algunos factores pueden llevar a forzar una línea, entre ellos pueden citarse los requerimientos del derecho de vía, la división de propiedades, el efecto de la vía proyectada sobre otras existentes, los cruces con ríos, las intersecciones con otras carreteras o ferrocarriles, las previsiones para lograr un buen drenaje, la naturaleza geológica de los terrenos donde se alojara la carretera.

Estos factores y otros semejantes que pudieran establecerse influyendo en la determinación de los alineamientos horizontal y vertical de un

camino. Alineamientos que dependen mutuamente entre si, por lo que deben guardar una relación que permita la construcción con el menor movimiento de tierra posible y con el mejor balance entre los volúmenes que se produzcan de excavación y terraplén.

Para realizar el anteproyecto de una obra vial, primero se requiere conocer los elementos de proyecto geométrico, los cuales se agrupan, para su estudio, en: alineamiento horizontal, alineamiento vertical y secciones transversales de a obra. Después, se estudia la forma como se llevara a cabo el proyecto, esto es, su metodología.

3.1. Reconocimiento del área.

Una vez presentadas las posibles rutas en los mapas geográficos, se inicia propiamente el trabajo de campo con reconocimientos del terreno los cuales pueden ser: aéreos, terrestres o una combinación de ambos.

El reconocimiento aéreo es el que ofrece mayor ventaja sobre los demás, por la oportunidad de observar el terreno desde la altura que convenga, abarcando grandes zonas, lo que facilita el estudio; este reconocimiento se efectúa con avionetas y helicópteros, distinguiéndose 3 reconocimientos aéreos.

1. El primer reconocimiento aéreo se efectúa en avioneta y tiene como objetivo determinar las rutas que se consideren viables y fijar el área que debe fotografiarse a escala 1: 50 000. Estas primeras fotos deben servir de apoyo al ingeniero para poder hacer un buen estudio estereoscópico y fotointerpretación geológica, hidrológica, socioeconómica y estudios de drenaje.
2. El segundo reconocimiento se lleva a cabo después de haber hecho la interpretación de las fotografías a escala 1: 50 000 y tiene por objeto comprobar en el terreno lo estudiado en las fotografías; este reconocimiento se efectúa en helicóptero, lo que permite al ingeniero descender en lugares de interés y recabar en ellos la información que consideren necesaria. Al finalizar este reconocimiento, se delimita la zona que deberá cubrirse con fotografías escala 1: 25 000
3. El tercer reconocimiento que puede ser aéreo o terrestre, es propiamente un refinamiento del estudio que se ha efectuado en el Balplex, el que proyecta las fotografías sobre una mesa hasta una escala 5 veces mayor.

3.2. Estudios de drenaje.

El estudio de las aerofotos desde el punto de vista geológico proporciona información sobre la morfología del terreno, la existencia de fallas y de zonas susceptibles de deslizamientos, la clasificación general de rocas y suelos, las cuencas de drenaje y los materiales de construcción que se tengan en el área de estudio.

El drenaje constituye una de las mejores guías acerca de la geología y los tipos de suelo en el área; también indica las líneas de menor resistencia.

El drenaje rectangular suele estar controlado por las diaclasas, las fallas y plegamientos; el drenaje radial se produce desde un cono montañoso o hacia el centro de una depresión o cuenca; el drenaje concéntrico suele ser indicativo de la presencia de una estructura en forma de domo, un sistema de drenaje dendrítico generalmente representa un área de rocas bastante homogéneas, mientras que el drenaje paralelo se suele formar por un control de estratos de diferentes resistencias a la erosión. El drenaje emparrado es característico de rocas sedimentarias fuertemente plegadas.

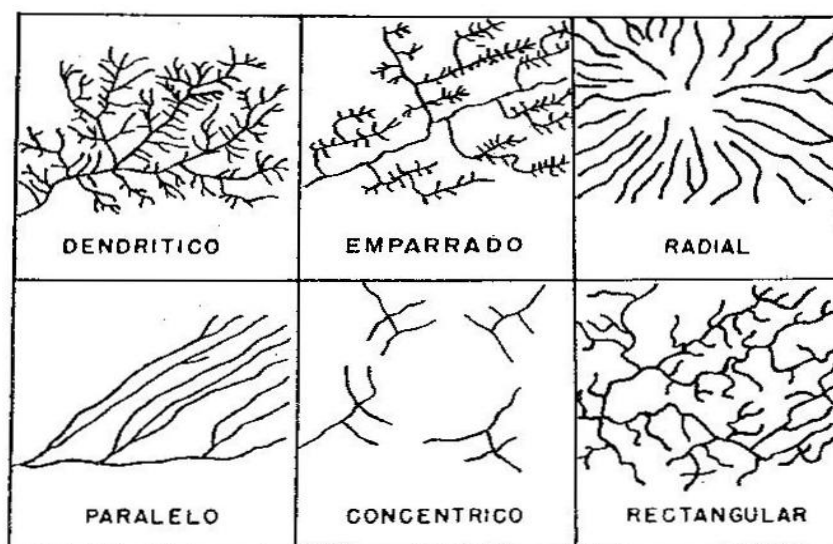


FIGURA 3-A. Apariencias típicas de los drenajes
Fuente: Libro Vías de comunicación, Editorial Crespo

3.3. Fotointerpretación geológica e hidrológica.

La fotointerpretación consiste en el examen de las imágenes fotográficas con el objeto de identificar rasgos y determinar su significado.

Para poder determinar el significado de las imágenes fotográficas deben considerarse los conceptos básicos que se explican a continuación

- **Características físicas:** el tono y la textura en una fotografía tienen un papel muy importante; cada uno de los tonos entre el blanco y el negro y su frecuencia de cambio en la imagen manifiesta la textura, haciendo más fácil la identificación de los objetos; por ejemplo en las fotografías aéreas las cimas de las montañas se ven en tonos más claros que las barrancas, por que aquellas reciben más luz del sol.
- **Características de rasgos y objetos:** considerando la forma, el tamaño y la sombra de los objetos podemos distinguir si es formado por la actividad humana o si fue formado por la naturaleza; por ejemplo, las imágenes con apariencia regular en general corresponden a objetos que se deben a la actividad humana, mientras que las imágenes irregulares corresponden a objetos de la naturaleza. La sombra revela y acentúa el relieve terrestre. Estas características se complementan y relacionan con objetos asociados en el área. Estas características se complementan y relacionan con objetos asociados en el área
- **Características topográficas y geomorfológicas:** el aspecto del relieve generalmente indica la dureza de los materiales: los materiales resistentes forman partes altas con taludes acentuados y los materiales blandos forman llanuras o lomeríos suaves a cada resistencia de material corresponde un talud natural, por lo que puede decirse que los cambios de talud indican que hay un cambio de material. La disposición o alineamiento puede indicar flujo, fracturas, plegamientos, fallas, etc.; el drenaje está dado por la pendiente del terreno y por las características de resistencia a la erosión de los materiales superficiales y subyacentes de la zona, así como por las fracturas y las fallas.

- **Características de la vegetación:** debido al tipo de vegetación podemos identificar el tipo de suelo y el de la roca original. Un determinado tipo de vegetación nos puede indicar la composición del suelo, contenido de humedad, permeabilidad, variaciones de su espesor y de su pendiente. Debe distinguirse la vegetación natural de los cultivos, forestaciones, etc., que pudiera desorientar. Para este estudio las fotografías de color, las infrarrojas blanco y negro y las infrarrojas de color son de un valor inestimable.

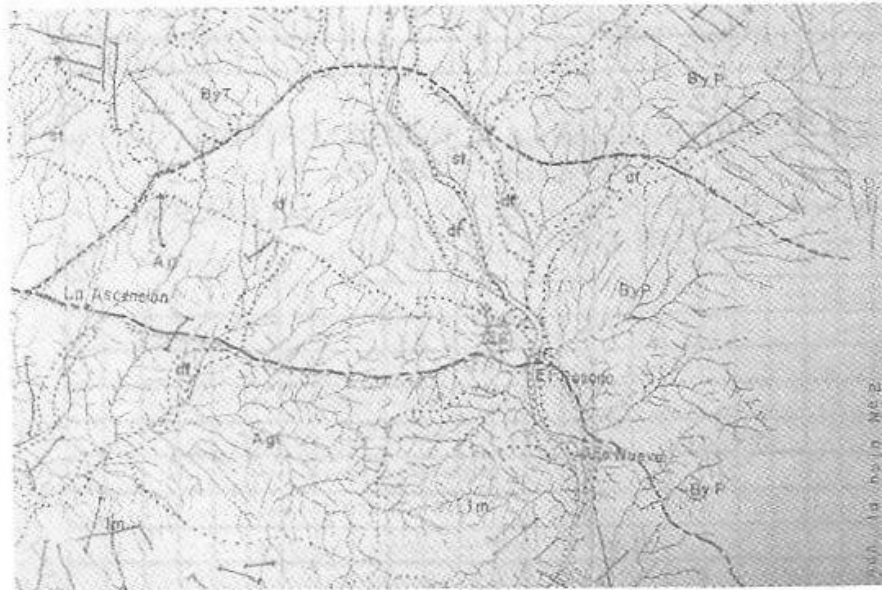


FIGURA 3-B. Mapa fotogeológico.
Fuente: Manual de Diseño de Carreteras S.O.P

3.4. Estudio estereoscópico de fajas de ruta.

El ingeniero especialista en localización determina la posición de una o más alternativas de trazo, conveniente desde el punto de vista topográfico con fines operativos, para limitar las franjas de terreno en las que debe buscarse la mejor ubicación de la línea en etapas posteriores de más detalle.

En las fotografías a escala 1:50 000 se marcan las diferentes rutas estudiadas previamente, a fin de facilitar la selección de las aerofotos que cubren el área donde van a desarrollarse las distintas alternativas.

Con pares sucesivos de las fotografías seleccionadas, los diferentes especialistas estudian con el auxilio del estereoscopio, la localización de las rutas, los aspectos geotécnicos, los drenajes y los socioeconómicos, a fin de conocer las ventajas y desventajas de cada una de las rutas que se marcaron.

3.5. Fotointerpretación socioeconómica.

El estudio socioeconómico de las fotografías fundamentalmente se encamina a la localización y estimación de población, al uso actual y potencial de la tierra, a los recursos forestales y minerales en explotación y en potencia y a todo aquello que represente facilidades de producción o recursos para el desarrollo económico y social de la zona.

Para el proyecto de carreteras, la interpretación de las fotografías desde el punto de vista socioeconómico tiene por objeto estimar las necesidades de transporte, tanto para los diferentes núcleos de población como para los sitios de actividad económica actual o futura.

Estos estudios se tendrán que verificar en el campo, en aquellos puntos representativos seleccionados de antemano por el foto intérprete.

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 pueden 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 que 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 y 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 hacen abatir el tiempo de recorrido.

Los proyectos que mejoran la comunicación se dividen en dos tipos:

1. **EL MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA ACTUAL.**

Consiste en una ampliación de sus carriles o rectificación de los alineamientos horizontal y vertical.

2. **EL MEJORAMIENTO MEDIANTE UNA NUEVA RUTA.**

Consiste en generar una opción que una dos centros de población mejorando las características geométricas que contribuyan a obtener ahorros en el tiempo de recorrido, costos de operación, reducción de accidentes, etc.

La información a recabar comprende el tránsito diario promedio anual, su tasa de crecimiento anual, su composición vehicular, velocidad media de marcha, velocidad media de recorrido con y sin proyecto para determinar el ahorro de tiempo para los usuarios. Los costos de operación se obtienen para cada tipo de vehículo (automóvil, autobús y camión), y para los tipos de terreno y superficie de rodamiento actual y de proyecto y para cada velocidad de marcha. Deben quedar definidos el costo y tiempo de construcción mediante un presupuesto.

Para las rutas alternas se requieren los mismos datos, incluyendo el TDPA para la nueva ruta, su tasa de crecimiento, su composición obtenida mediante estudios de origen y destino, cuantificación de tránsito desviado, etc.

3.6. Estudio estereoscópico de líneas de ruta.

Por cada línea de ruta resultante, el localizador debe estimar la longitud total; las longitudes de las diferentes pendientes; las cantidades de materiales en cuanto a terracerías y drenaje; las afectaciones; y en general, todos los conceptos de costos que sirvan para evaluar cada alternativa.

Un factor importante en la elección de una ruta es la pendiente del terreno; por lo que para tener una idea aproximada de ella y definir si las rutas vistas están dentro de lo especificado, se determinan las elevaciones de los puertos, la de los fondos de las barrancas y las de otros puntos que pueden afectar la posición de la línea.

En la construcción de un camino se trata siempre de que la línea de ruta quede siempre 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 y así cuando llegamos al pie de una cuesta la pendiente del terreno es mayor que la máxima permitida para ese camino y es necesario entonces desarrollar la ruta. Debido a estos desarrollos necesarios y a la búsqueda de pasos adecuados es por lo que 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 ubicaran 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.

3.7. Antepresupuesto y elección de ruta.

La elección de la mejor ruta entre varias posibles es un problema de cuya solución depende el futuro de la carretera.

Al comparar las ventajas que ofrezcan las rutas posibles, es preciso hallar el costo aproximado de construcción, operación y conservación, de la vía que se vaya a proyectar y compararlo con los beneficios probables que se deriven de ella. Asimismo, deben tenerse en cuenta los perjuicios ocasionados por la obra, a fin de considerarlos en la evaluación.

Por tanto una vez establecidas las rutas probables, es necesario comparar los costos anuales del proceso constructivo, pues existen los insumos tales como materiales, energía, la mano de obra y el empleo de los bienes de capital y por otra parte, el desarrollo de toda actividad constructiva, se lleva a cabo dentro de restricciones técnicas, financieras, políticas y en general, de disponibilidad de factores de producción.

3.8. Datos a brigada de localización y 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 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 características:

- Geológicas
- Hidrológicas
- Topográficas y complementarias

Así se vera 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 afloren 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, clisimetro 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.

Un puerto topográfico es un punto de bajo paso a través de una cordillera. Siendo los puertos los lugares más decisivos en la localización de una vía terrestre, es indispensable que el ingeniero trate de localizar en primer término dichos pasos.

El paso por los puertos ahorra en el desarrollo longitudinal de la vía, evita que se tengan pendientes muy fuertes y por lo tanto ahorra mucho en la construcción.

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

En el reconocimiento, el ingeniero anota todos los datos que crea son convenientes y que le van a servir posteriormente, tales como la estructura y composición terrestre a través de reconocimientos superficiales, que permita, por ejemplo predecir la inestabilidad de un corte en una formación cavernosa o del tipo columnar.

El reconocimiento geológico superficial también puede indicar la presencia de una estratificación caliza en una de las rutas probables, estratificación cuyo techado puede ocasionar deslizamientos.

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.

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

Se dejarán 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 PIS 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 número de referencia del punto y su distancia al eje del camino.

Una vez que se 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.

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 100 km/h
- Velocidad de marcha 60
- Distancia de visibilidad de parada de 155 m
- Distancia de visibilidad de rebase de 450 m
- Grado máximo de curvatura de 3.25
- Porcentaje de pendiente en curvas verticales en cresta de 57
- Porcentaje de pendiente en curvas verticales en columpio de 37
- Longitud mínima en curvas verticales de 60 m
- Pendiente gobernadora --
- Pendiente máxima de 7%

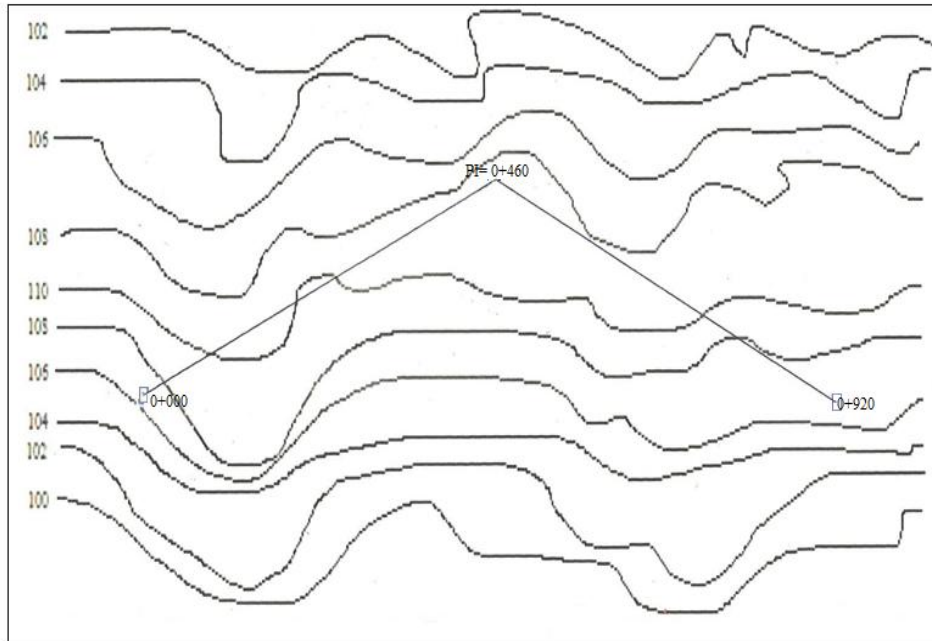


FIGURA 3-C. Línea definitiva
Fuente: Elaboración propia

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	50	60	70	
Distancia de visibilidad de parada	m	30	40	50	60	70	
Distancia de visibilidad de rebase	m	-	-	-	-	-	
Grado máximo de curvatura	°	60	30	15	10	7	
CURVAS VERTICALES	K	Cresta	m / %	4	7	10	15
		Cohmpio	m / %	4	7	10	15
	Longitud mínima	m	20	30	40	50	60
Pendiente gobernadora	%	7	6	5	4	3	
Pendiente máxima	%	13	12	8	7	6	
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	-	-	-	-	≥1.0	
Bombeo	%	3	3	2	2	2	
Sobreelevación máxima	%	10	10	10	10	10	

TABLA 3-A. Tipos de carreteras con sus características según la SCT.
Fuente: Documento elaborado por la SCT

3.9.1. Nivelación.

Así como se niveló 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.

CAPITULO 4. PROYECTO

Es el resultado de diversos estudios que se han considerado todos los casos previstos y se han establecido normas para la realización de la obra y para resolver otros casos que puedan presentarse como imprevistos.

La etapa de proyecto se inicia una vez situada la línea, con estudios de una precisión tal, que permite definir las características geométricas del camino, las propiedades de los materiales que lo formaran y las condiciones de las corrientes que cruza.

Con respecto a las características geométricas, los estudios permitirán definir la inclinación de los taludes de cortes y terraplenes y las elevaciones de subrasante.

Referente a las propiedades de los materiales que formaran las terracerías, se dictan normas para su detección, explotación, manejo, tratamiento y compactación.

Las obras de drenaje quedaran definidas principalmente por las condiciones hidráulicas de las corrientes que cruza el camino unidas a las características de los materiales en el cauce.

Buscando la mayor economía posible en la construcción de la carretera, se procede al cálculo de movimiento de terracerías por medio del diagrama denominado curva masa; así mismo se dan los procedimientos que deben seguirse durante la construcción.

Todos aquellos imprevistos que surjan durante la construcción de la obra, se resolverían con base a los estudios realizados en el proyecto de la misma, ampliándose estos para los casos que se crean necesarios.

4.1. Alineamiento horizontal.

El alineamiento horizontal es la proyección del centro de la línea de una obra vial sobre un plano horizontal. Sus elementos son tangentes y curvas horizontales.

Las tangentes del alineamiento horizontal tienen longitud y dirección. La longitud es la distancia existente entre el fin de la curva horizontal anterior y el principio de la curva siguiente; la dirección es el rumbo.

La longitud mínima de una tangente horizontal es aquella que se requiere para cambiar en forma conveniente la curvatura, la pendiente transversal y el ancho de la corona. En teoría, la longitud máxima puede ser indefinida, por ejemplo, en las zonas muy llanas; sin embargo, en estas regiones se limita a 15 km por razones de seguridad, ya que las longitudes mayores causan somnolencia y dañan los ojos de los operadores.

Es factible que se presenten accidentes graves en los terrenos donde se puedan tener tangentes de mayor longitud que la señalada, por lo tanto es conveniente introducir bayonetas con 2 o 3 curvas amplias a distancias de aproximadamente 15 km, en donde más convenga para cumplir con la condición anterior.

Dos tangentes consecutivas del alineamiento horizontal se cruzan en un punto de inflexión (PI) formando un ángulo de deflexión (Δ), que está constituido por la continuación de la tangente de entrada hacia adelante del PI y la tangente de salida.

En general para cambiar la dirección de un vehículo de una tangente horizontal a otra se requieren curvas cuya longitud sea proporcional a la variación de la aceleración centrífuga, y los cuales la

aceleración centrífuga de los vehículos varíe de cero a un máximo hacia el centro y luego disminuya a cero al llegar a la tangente posterior. Las curvas que cumplen con estas condiciones son la espiral de Euler y la lemniscata de Bernoulli.

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.

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 limite 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:

$$G_{\max} = 146735 \frac{M + S_{\max}}{V^2}$$

En donde:

G_{max} = Grado máximo de curvatura

μ = Coeficiente de fricción entre llantas y superficie de rodamiento

S_{max} = Sobreelevación máxima de la curva en decimal, calculado de acuerdo con la cantidad de vehículos pesados y si se tienen o no heladas. En México se usa un S_{max} de .10

V = Velocidad de proyecto en Km/h

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

Velocidad de proyecto Km/h	Coeficiente de fricción μ	Sobreelevación máxima	Grado máximo de curvatura calculado Grados	Grado máximo de curvatura para proyecto Grados
30	0.280	0.10	61.95	62
40	0.230	0.10	30.11	30
50	0.190	0.10	16.93	17
60	0.165	0.10	10.74	11
70	0.150	0.10	7.44	7.5
80	0.140	0.10	5.47	5.5
90	0.135	0.10	4.23	4.25
100	0.130	0.10	3.25	3.25
110	0.125	0.10	2.71	2.75

TABLA 4-A. Valores de curvatura máxima para cada velocidad de proyecto.
Fuente: Manual de Diseño de Carreteras S.O.P.

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 limite 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 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 m.

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 = Sobreelevación 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 sobreelevación de las curvas circulares sea de siete por ciento (7%) o mayor.

Visibilidad.- Toda curva horizontal y vertical deberá satisfacer la distancia de visibilidad de parada para una velocidad de proyecto y una curvatura dada.

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

$$D_p = d + d'$$

Donde:

D_p = Distancia de visibilidad de parada en metros

d = Distancia de reacción en m

d' = Distancia de frenado en m

En las siguientes tablas se muestran las relaciones entre velocidades de marcha y de proyecto, también los valores para proyecto de la distancia de visibilidad de parada que corresponden a velocidades de proyecto de treinta a ciento diez Km/h.

Velocidad de proyecto en, Km/h	Velocidad de marcha, en Km/h		
	Volumen de transito bajo	Volumen de transito intermedio	Volumen de transito alto
30	28	27	26
40	37	35	34
50	46	44	42
60	55	51	48
70	63	59	53
80	71	66	57
90	79	73	59
100	86	79	60
110	92	85	61

TABLA 4-B. Relaciones entre velocidades de marcha y de proyecto.
Fuente: Manual de Diseño de Carreteras S.O.P.

Velocidad de proyecto Km/h	Velocidad de marcha (Volumen de transito alto)	Reacción		Coeficiente de fricción longitudinal	Distancia de frenado m	Distancia de visibilidad	
	Km/h	Tiempo seg	Distancia m			Calculada m	Para proyecto m
30	26	2.5	19.44	0.4	7.72	28.306	28
40	34	2.5	25.69	0.38	14.18	41.135	41
50	42	2.5	31.94	0.36	23.14	55.901	56
60	48	2.5	38.19	0.34	35.03	68.248	68
70	53	2.5	43.75	0.325	48.08	79.37	79
80	57	2.5	49.3	0.31	64.02	88.812	89
90	59	2.5	54.86	0.305	80.56	93.715	94
100	60	2.5	59.72	0.3	97.06	96.212	96
110	61	2.5	63.89	0.295	112.96	98.74	99

TABLA 4-C. Distancia de visibilidad de parada.
Fuente: Manual de Diseño de Carreteras S.O.P.

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

$$D_r = 4.5 v$$

Donde:

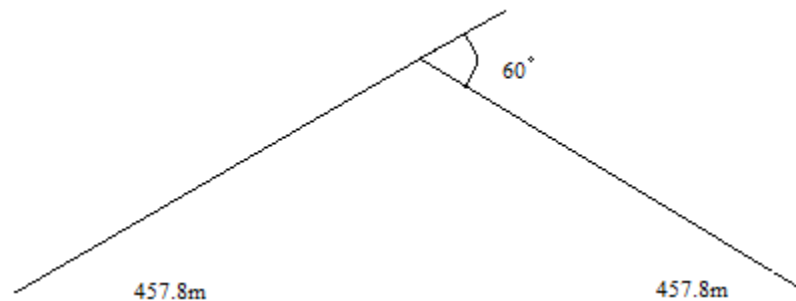
D_r = distancia de visibilidad de rebase, en metros

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.

Trazo de nuestra curva circular:

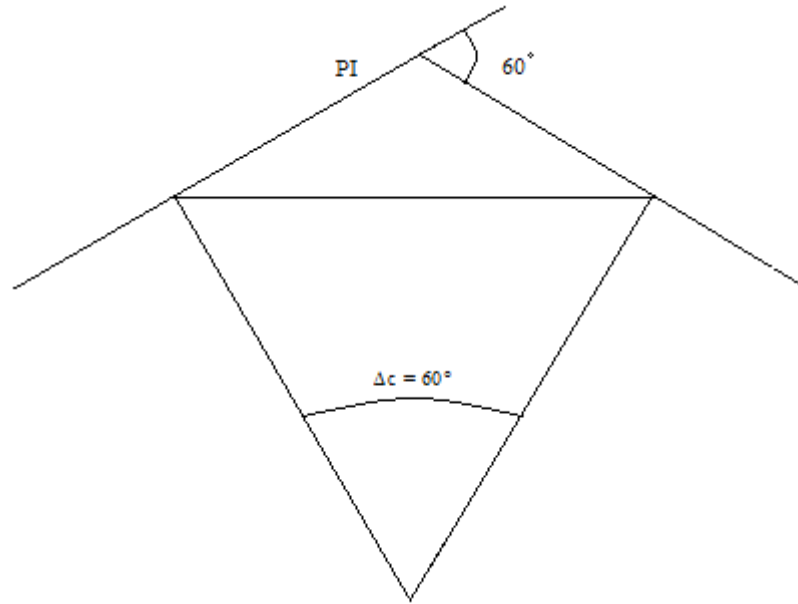
A continuación se procede al cálculo de la curva circular de acuerdo a las características de nuestro proyecto y nuestro trazo definitivo, en este caso se calcula una curva circular simple debido a que nuestra sobreelevación es menor a 7%:



Para calcular la curva horizontal se trazan las tangentes a la curva para posteriormente determinar el ángulo de deflexión de la tangente (D), que en este caso es de 60° , es necesario también el valor del grado de curvatura de la curva circular (G_c), que en este caso es propuesto de 3.25° , 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.

$$R_c = 1146 / G_c = 1146 / 3.25 = 352.61 \text{ m}$$

Una vez obtenido nuestro radio de curva circular, se prosigue a sacar a la obtención del ángulo central de la curva, para esto es necesario trazar 2 líneas perpendiculares a nuestras tangentes, prolongándolas hasta que se intercepten en un punto, a partir de ese punto se obtiene el ángulo central Δc que en este caso resulto de 60° .



Ya con estos datos obtenidos se procede a obtener los datos restantes de nuestra curva mediante la sustitución y resolución de las ecuaciones restantes mostradas en la figura de los elementos de la curva circular expuesta al principio de este tema.

$$ST = R_c \tan(\Delta c/2) = 352.61 \text{ m} \tan(60^\circ / 2) = 203.57 \text{ m}$$

$$E = R_c \left(\sec \frac{\Delta c - 1}{2} \right) = 352.61 \text{ m} \left(\sec \frac{60 - 1}{2} \right) = (352.61) \left(\frac{1}{\cos 15} \right) - 1 = 12.43 \text{ m}$$

$$M = R_c \left(1 - \cos \frac{\Delta c}{2} \right) = 352.61 \text{ m} \left(1 - \cos 15 \right) = 12.01 \text{ m}$$

$$CL = 2 R_c \sin \frac{\Delta c}{2} = 2 (352.61 \text{ m}) (\sin 15) = 182.52 \text{ m}$$

$$E = R_c \left(\sec \frac{\Delta c - 1}{2} \right) = 352.61 \text{m} \left(\sec \frac{60 - 1}{2} \right) = (352.61) \left(\frac{1}{\cos 15} \right) - 1 = 12.43 \text{ m}$$

$$M = R_c \left(1 - \cos \frac{\Delta c}{2} \right) = 352.61 \text{m} \left(1 - \cos 15 \right) = 12.01 \text{ m}$$

$$CL = 2 R_c \sin \frac{\Delta c}{2} = 2 (352.61 \text{m}) (\sin 15) = 182.52 \text{ m}$$

$$L_c = \frac{(20)(\Delta c)}{Gc} = \frac{(20)(60)}{3.15} = 380.95 \text{ m}$$

$$P_c = PI - ST = 457.89 - 203.57 = 254.32 \text{ m}$$

$$PT = P_c + L_c = 254.32 \text{m} + 380.95 \text{m} = 635.27 \text{m}$$

$$PC = 0 + 254.32$$

$$PT = 0 + 635.27$$

$$\text{Deflexion / metro} = \frac{Gc/2 (60)}{20} = \frac{1.62 (60)}{20} = \frac{97.5}{20} = 4.8' = 4'48''$$

Cadenamiento	Metros de curva	Def/metro	Deflexiones
0+254.32			
0+260	5.68	4'48"	4'48"
0+280	20	4'48"	1°40'48"
0+300	20	4'48"	3°16'48"
0+320	20	4'48"	4°52'48"
0+340	20	4'48"	6°28'48"
0+360	20	4'48"	8°4'48"
0+380	20	4'48"	9°40'48"
0+400	20	4'48"	11°16'48"
0+420	20	4'48"	12°52'48"
0+440	20	4'48"	14°28'48"
0+460	20	4'48"	16°4'48"
0+480	20	4'48"	17°40'48"
0+500	20	4'48"	19°16'48"
0+520	20	4'48"	20°52'48"
0+540	20	4'48"	22°28'48"
0+560	20	4'48"	24°4'48"
0+580	20	4'48"	25°40'48"
0+600	20	4'48"	27°16'48"
0+620	20	4'48"	28°52'48"
0+635.27	15.27	4'48"	30°6'5"

TABLA 4-D. Deflexiones obtenidas de acuerdo al ejercicio
Fuente: Elaboración propia

2. La topografía condiciona muy especialmente los radios de curvatura y velocidad de proyecto.
3. La distancia de visibilidad debe ser tomada en cuenta en todos los casos, por que con frecuencia la visibilidad requiere radios mayores que la velocidad en sí.
4. El alineamiento debe ser tan direccional como sea posible, sin dejar de ser consistente con la topografía. Una línea que se adapta al terreno natural es preferible a otra con tangentes largas pero con repetidos cortes y terraplenes.
5. El proyectista debe tender en lo general a usar curvas suaves dejando las de curvatura máxima para las condiciones más críticas.
6. Debe procurarse un alineamiento uniforme que no tenga quiebres bruscos en su desarrollo, por lo que deben evitarse curvas forzadas después de las tangentes largas o pasar repentinamente de tramos de curvas suaves a otros de curvas forzadas.
7. En terraplenes altos y largos solo son aceptables alineamientos o de muy suave curvatura, pues es muy difícil para un conductor percibir alguna curva forzada y ajustar su velocidad a las condiciones prevalecientes.
8. Para anular la apariencia de distorsión, el alineamiento horizontal debe estar coordinado con el vertical.

4.3. 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 desmerita 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 unirlas mediante curvas parabólicas.

4.3.1. 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.

4.4. Alineamiento vertical.

El alineamiento vertical es la proyección del desarrollo del centro de línea de una vía terrestre sobre un plano vertical; sus elementos son las tangentes verticales y las curvas verticales.

Las tangentes verticales están definidas por su longitud y su pendiente (la longitud de cualquier tramo del proyecto geométrico es la distancia horizontal entre sus extremos).

La prolongación hacia delante de una tangente y la prolongación hacia atrás de la tangente siguiente se cortan en un punto de inflexión vertical (PIV), cuyos elementos son el cadenamiento y la elevación.

Para el proyecto del alineamiento vertical se definen 3 tipos de pendientes de las tangentes verticales: mínima, gobernadora y máxima.

Pendiente mínima: se requiere para asegurar el drenaje de la corona del camino. En los terraplenes puede ser nula; en los cortes se recomienda del 0.5% mínimo, para garantizar el buen funcionamiento de las cunetas.

Pendiente gobernadora: es la pendiente media que teóricamente puede darse a la línea subrasante para dominar un desnivel determinado, en función de de las características del tránsito y la configuración del terreno; La mejor pendiente gobernadora para cada caso será aquella, que al conjugar esos conceptos, permita obtener el menor costo de construcción, conservación y construcción.

Pendiente máxima: es la mayor que se puede usar en un proyecto, dicha pendiente máxima, se empleara cuando convenga desde el punto de vista económico para salvar ciertos obstáculos locales tales como fallas y zonas inestables, siempre que no se rebase la longitud critica.

La longitud crítica de una tangente del alineamiento vertical es la longitud máxima en la que un camión cargado puede ascender sin reducir su velocidad mas allá de un límite previamente establecido.

Las pendientes mayores que la gobernadora, incluyendo por supuesto a la máxima, solo se pueden usar en las longitudes críticas, tanto la pendiente gobernadora como la máxima se especifican en función del tipo de camino y de la topografía de la zona. De hecho, el proyecto de alineamiento vertical estará constituido por una combinación de pendientes verticales que dentro de las alternativas estudiadas, hará que el tiempo recorrido sea el menor.

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

TABLA 4-E. Valor de las pendientes gobernadora y máxima de acuerdo al tipo de carretera y tipo de terreno.

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras S.O.P.

El paso de una tangente vertical a otra se realiza por medio de las curvas verticales, cuya característica principal es que la componente horizontal de la velocidad (de proyecto) de los vehículos es constante a través de ella. La curva que cumple con esta peculiaridad es la parábola, hay dos tipos de curvas: en cresta y en columpio.

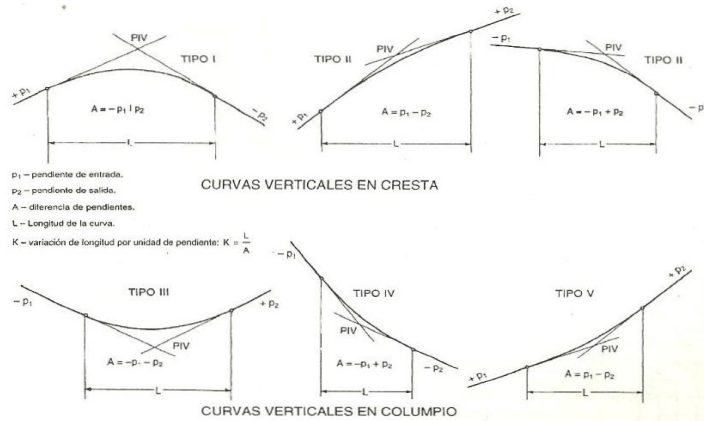
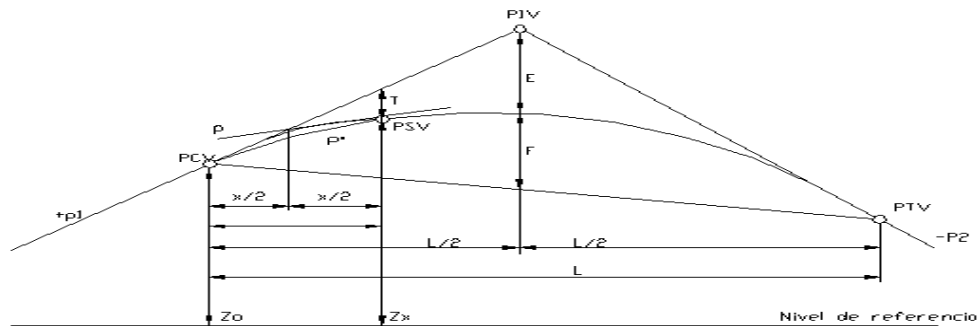


FIGURA 4-B. Tipos de curva vertical.

Fuente: Libro Vías de comunicación, Editorial Crespo



- 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
 p_1 = Pendiente de la tangente de entrada, en m/m
 p_2 = 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
 Z_0 = Elevación del PCV, en metros
 Z_x = Elevación de un PSV, en metros

FIGURA 4-C. Elementos de la curva vertical.
 Fuente: Libro Vías de comunicación, Editorial Crespo

La longitud de las curvas verticales debe garantizar el drenaje, tener buena apariencia y proporcionar comodidad al usuario.

Es conveniente que la longitud de las curvas verticales tenga un número par de estaciones de 20m y que el PCV (principio de curva vertical) coincida exactamente en una estación, pero en ocasiones esta condición no se cumple y es necesario emplear formulas que se ajusten a las condiciones para

poder calcular las elevaciones. Las fórmulas para calcular las elevaciones de acuerdo al número de estaciones de 20m son las siguientes

$$Z_n = Z_{n-1} + (P1/5) - (A(2n+1)/10N) \rightarrow \text{numero par de estaciones}$$

$$Z_n = Z_0 + \left(\frac{P1}{5} - \frac{A \cdot n}{10N} \right) \rightarrow \text{números nones y pares de estaciones}$$

En la que:

Z_0 = Elevación del PCV

Z_n = Elevación de un punto

Z_{n-1} = Elevación del punto anterior

$P1$ = Pendiente de entrada

A = Diferencia algebraica de pendientes

N = Numero de estaciones en la longitud total de la curva.

N = Numero de estaciones del PCV al punto considerado.

Las formulas anteriores pueden programarse en calculadora o computadora para obtener, solo los datos iniciales, las elevaciones de las estaciones intermedias y del PTV (principio de tangente vertical); dicha fórmula debe coincidir con la información que se calcule en función de la mitad de la longitud de la curva, la pendiente de la tangente de salida y la elevación del PIV (punto en inflexión vertical).

4.4.1. 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 del ojo del conductor sobre la calzada (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:

La distancia de visibilidad de parada deberá calcularse con la siguiente fórmula:

$$DVP = 0.278 VT + \frac{v^2}{254(f + P)}$$

En donde:

V = Velocidad de marcha

T = tiempo de reacción

P = Pendiente

f = coeficiente de fricción longitudinal

CONCEPTO		UNIDAD	TIPO DE CARRETERA															
			E		D		C		B		A							
Velocidad de proyecto		Km/hr	30	40	50	60	70	80	90	100	30	40	50	60	70	80	90	100
CURVAS VERTICALES	K	Cresta	m / %	4	7	12	23	36	51	72	4	7	12	23	36	51	72	100
		Colmpio	m / %	4	7	10	15	20	27	37	50	4	7	10	15	20	27	37
	Longitud mínima	m	20	30	30	40	40	50	60	70	20	30	30	40	40	50	60	70

TABLA 4-F. Sección de la tabla de la SCT donde se muestra el parámetro K y longitud mínima de las aceptable de las curvas verticales y horizontales.

Fuente: SCT

La distancia de visibilidad de rebase solo se proporcionara cuando así lo indiquen las especificaciones de proyecto y/o lo ordene la secretaria, la distancia de visibilidad de rebase de acuerdo a las velocidades de proyecto y tipos de carretera son:

CONCEPTO		UNIDAD	TIPO DE CARRETERA															
			E		D		C		B		A							
Velocidad de proyecto		Km/hr	30	40	50	60	70	80	90	100	30	40	50	60	70	80	90	100
Distancia de visibilidad de rebase		m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

TABLA 4-G. Sección de tabla de la SCT donde se muestra las velocidades de proyecto y distancia de visibilidad de rebase para cada tipo de carretera respectivamente.

4.4.2. Cálculo de curvas verticales.

Para el cálculo y trazo de las curvas verticales es necesario tener en claro ciertos datos antes de comenzar con el cálculo, como son contar con un perfil del terreno, 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.

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

$$K = \frac{(P_o - P_i)}{(10)(L)}$$

P_o = pendiente de entrada

P_i = pendiente de salida

L = número total de estaciones

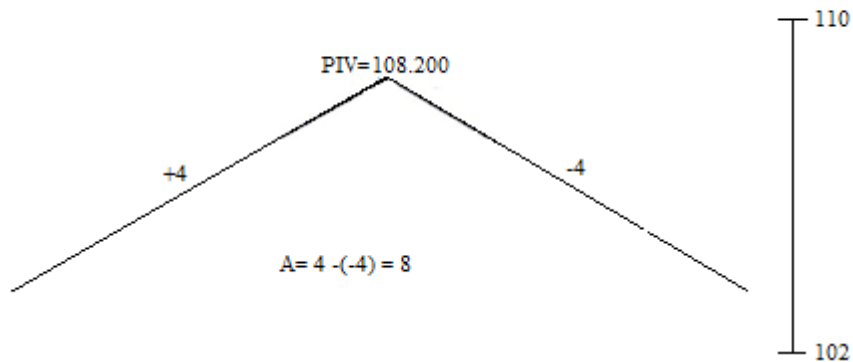
Es importante mencionar que únicamente se proyectara curva vertical cuando la diferencia entre 2 pendientes sea mayor al 0.5%, ya que en los casos donde la diferencia de pendientes sea igual o menor, es tan pequeño que en el terreno se pierde durante la construcción.

4.4.3. Ejemplo de cálculo de curva vertical.

Como se demostró anteriormente en nuestra línea definitiva, la diferencia de pendiente es del 0.51% aquí como se pasa por solo 0.01% a la regla de aplicación de curva vertical, la diferencia sigue siendo mínima por lo cual no es necesario hacer un cálculo de curva vertical.

Por tanto para ejemplificar el cálculo de la curva vertical se propondrá un perfil en la cual su diferencia de pendientes será mayor al 0.5% para así poder efectuar el cálculo.

A continuación procederemos al cálculo de la curva vertical de acuerdo a un perfil de terreno propuesto para que si cumple con la regla de la diferencia de pendientes. Como se observara en la figura siguiente tenemos una pendiente del 4% en ambas tangentes, una es positiva y la otra negativa, con estos datos obtendremos nuestra diferencia de pendientes con la formula $A = P1 - P2$.



Se tendrán los siguientes datos también:

- Velocidad de proyecto = 100 km/hr
- Velocidad de marcha = 60 km/hr (transito alto)
- Coeficiente de fricción long. (f) = 0.300
- Tiempo de reacción = 3 seg.

Ya con los datos anteriormente mencionados se prosigue ahora al cálculo de la distancia de visibilidad de parada.

$$DVP = 0.278 V T + \frac{v^2}{254(T + P)}$$

$$DVP = (0.278)(60)(3.00) + \frac{60^2}{254(0.3 - 0.04)}$$

$$DVP = 104.55 \text{ m}$$

Ahora con el dato obtenido de la distancia de visibilidad de parada, procedemos al cálculo de la longitud mínima de la curva en cresta con la siguiente fórmula:

$$L = \frac{A D^2}{425}$$

$$L = \frac{(8) (104.55)^2}{425} = 205.75 \text{ m}$$

Una condición que se tiene que cumplir con el cálculo de la longitud mínima es que debe ser mayor que la distancia de visibilidad de parada $L > D$, por lo tanto si nuestra distancia de visibilidad de parada es de 104.55m, quiere decir que esta condición si se cumple.

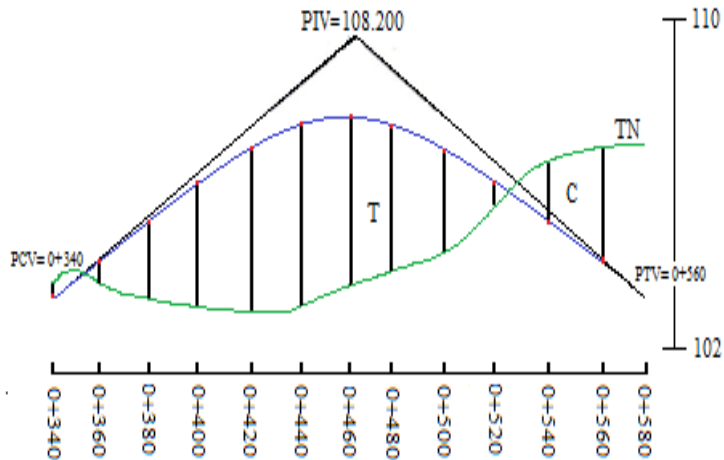
Para fines prácticos se puede ampliar la longitud de la curva a 220m, ya que como se explico anteriormente para facilitar este cálculo es conveniente que se trate de que el inicio y final de la curva vertical terminen en un punto donde se encuentre una estación. Ahora de acuerdo a nuestro ejemplo propuesto, nuestro PCV se va a localizar en el cadenamamiento 0+340 y finalizar en el

cadernamiento 0+560. Ahora se comienza a hacer el cálculo de las elevaciones en cada estación como se muestra en la tabla a continuación:

EST	Zo	P1/5	A/(10N)	n	(A/(10N))*n	$\frac{((P1/5)-((A/(10N))^*n))^*n}{2}$	Zn
0+340	103.8	0.8	0.073	0	0	0	103.8
0+360	103.8	0.8	0.073	1	0.073	0.727	104.527
0+380	103.8	0.8	0.073	2	0.145	1.309	105.109
0+400	103.8	0.8	0.073	3	0.218	1.745	105.545
0+420	103.8	0.8	0.073	4	0.291	2.036	105.836
0+440	103.8	0.8	0.073	5	0.364	2.182	105.982
0+460	103.8	0.8	0.073	6	0.436	2.182	105.982
0+480	103.8	0.8	0.073	7	0.509	2.036	105.836
0+500	103.8	0.8	0.073	8	0.582	1.745	105.545
0+520	103.8	0.8	0.073	9	0.655	1.309	105.109
0+540	103.8	0.8	0.073	10	0.727	0.727	104.527
0+560	103.8	0.8	0.073	11	0.8	0	103.8

TABLA 4-H. Operaciones del cálculo de elevaciones de la curva vertical.
Fuente: Elaboración propia

Por lo que de acuerdo a lo calculado nuestra curva vertical quedara de la siguiente manera:



4.5. Normas generales para el alineamiento vertical.

En el perfil longitudinal de una carretera, la subrasante de una carretera es la línea de referencia que define el alineamiento vertical. La posición de la subrasante depende principalmente de la topografía de la zona atravesada, pero existen otros factores que deben considerarse también:

1. La condición topográfica del terreno influye en diversas formas al definir la subrasante. Así, en terrenos planos, la altura de la subrasante sobre el terreno es regulada, generalmente, por el drenaje. En terrenos en lomerío se adoptan subrasantes onduladas, las cuales convienen tanto en razón de la operación de los vehículos como por la economía del costo. En terrenos montañosos la subrasante es controlada estrechamente por las restricciones y condiciones de la topografía.
2. Una subrasante suave con cambios graduales es consistente con el tipo de camino y el carácter del terreno; a esta clase de terreno debe dársele preferencia, en lugar de uno con numerosos quiebres y pendientes en longitudes cortas. Los valores de diseño son la pendiente máxima y la longitud crítica, pero la manera en que estos se aplican y adaptan al terreno formando una línea continua, determina la adaptabilidad y la apariencia del producto terminado.
3. Deben evitarse vados formados por curvas verticales muy cortas, pues el perfil resultante se presta a que las condiciones de seguridad y estética sean muy pobres.
4. Dos curvas verticales sucesivas y en la misma dirección, separadas por una tangente vertical corta, deben ser evitadas, particularmente en columpios donde la vista completa de ambas curvas verticales no es agradable. Este efecto es muy notable en caminos divididos con aberturas espaciadas en la faja separadora central.

4.6. Empleo simultaneo de las curvas verticales y horizontales.

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

- a. En alineamientos verticales que originen terraplenes altos y largos son deseables Alineamientos horizontales rectos o de muy suave curvatura.
- b. 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.
- c. Cuando el alineamiento horizontal esta 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.
- d. Conviene evitar la coincidencia de la cima de una curva vertical en cresta con el inicio o terminación de una curva horizontal.
- e. Debe evitarse proyectar la cima de una curva vertical en columpio en o cerca de una curva horizontal.
- f. 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.
- g. Los alineamientos deben combinarse para lograr el mayor número de tramos con distancias de visibilidad de rebase.

- h. En donde este previsto el proyecto de un entronque, los alineamientos deben de ser lo más suave posible.

4.7. Secciones de construcción.

4.7.1. 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, como se muestra en las siguientes figuras, "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 continuación se muestra.

Tipo de carretera	Anchos de					
	Corona (m)	Calzada (m)	Acotamientos (m)		Faja separadora central (m)	
E	4	4	--		--	
D	6	6	--		--	
C	7	6	0.5		--	
B	9	7	1		--	
A	(A2)	12	7	2.5		--
	(A4)	22.00 mínimo	2 x 7.00	EXT	INT	1.00 mínimo
				3	0.5	
(A4S)	2 x 11.00	2 x 7.00	3	1	8.00 mínimo	

TABLA 4-I. Anchos de corona, calzada, acotamientos y faja separadora central para cada tipo de carretera.

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras S.O.P.

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:

- a. En tangente del alineamiento horizontal, el especificado en la tabla anterior "Anchos de corona, de calzada, de acotamientos y de la faja separadora central"
- b. 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"
- c. En curvas espirales de transición y en transiciones mixtas.

El ancho en tangente mas 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:

$$A = \frac{L}{Le} Ac$$

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 de desea determinar, en metros

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

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

En tangentes y curvas horizontales para carretera tipo E.

1. El ancho de la calzada en carreteras tipo "E", no requerirá ampliación por curvatura horizontal.
2. 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 libradero será el correspondiente al de la carretera tipo "D".
3. La longitud de los libraderos será de veinte metros más dos transiciones de cinco metros cada una.

4. Los libraderos se espaciaron 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:

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

4.8. Determinación de las secciones de carretera.

Definición de sección transversal de un camino y elementos que la integran:

Es un punto cualquiera de este, es un corte vertical normal al alineamiento horizontal. Permite definir la disposición y dimensiones de los elementos que forman el camino en el punto correspondiente a cada sección y su relación con el terreno natural los elementos que integran y definen la sección transversal son: la corona, la sub-corona, las cunetas y contra cunetas, los taludes y las partes complementarias.

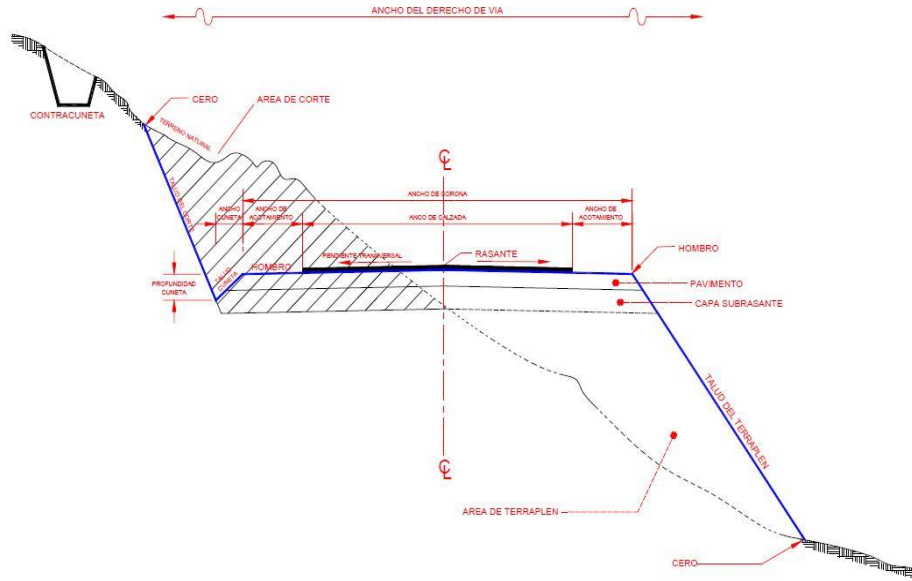


FIGURA 4-D. Sección Transversal Tipo

Fuente: buscador imágenes google

A continuación se ilustra la determinación de las secciones de carretera de un tramo cualquiera de doscientos metros para la obtención de las secciones de construcción explicadas más adelante.

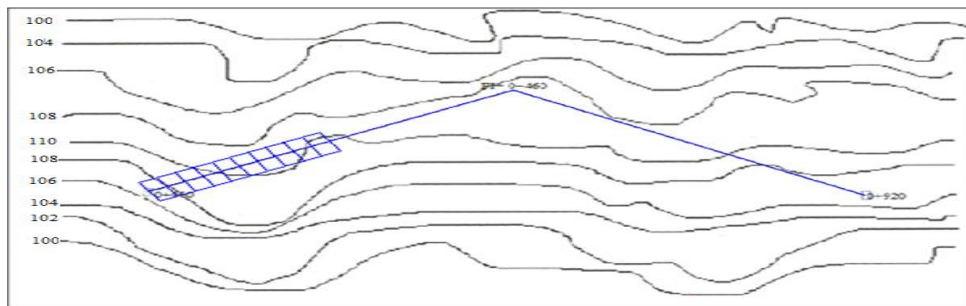


FIGURA 4-E. Ruta en carta topográfica

Fuente: Elaboración Propia

4.8.1. Selección de ruta.

Se entiende por selección de ruta, la franja de terreno de ancho variable entre dos puntos obligados, dentro de la cual es factible hacer la localización de un camino. Mientras más detallados y precisos sean los estudios para determinar la ruta, el ancho de la franja será más reducido.

Los puntos obligados son aquellos sitios por los que es necesariamente deberá pasar el camino, por razones técnicas, económicas y sociales, tales como: poblaciones, sitios o áreas productivas.

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 como derecho de vía.

4.8.2. Obtencion de Perfil del terreno natural y rasante de proyecto.

Ya que se tiene determinada ruta de proyecto, con los datos que nos proporciona las curvas de nivel del terreno obtendremos el perfil del mismo, y propondremos la rasante de proyecto con sus respectivas pendientes y distancias esto como se muestra en la siguiente figura:

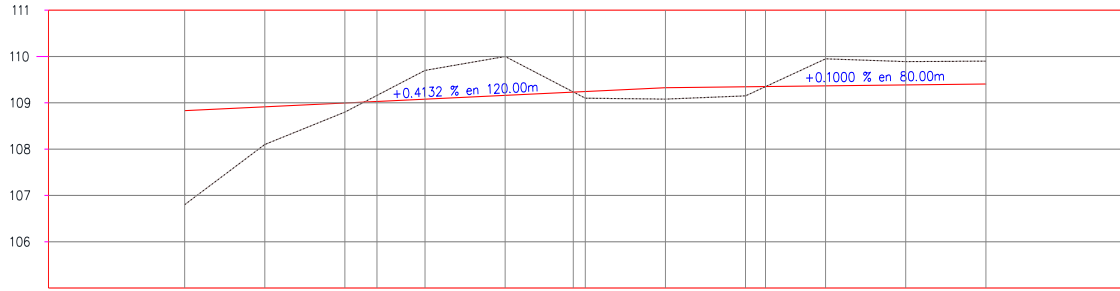


FIGURA 4-F. Perfil de terreno.
Fuente: Elaboración propia

TIPO DE MATERIAL		A													
FACTOR DE ABUNDAMIENTO		1.000													
FACTOR DE COMPACTACION		1.000													
ORDENADAS DE LA CURVA MASA		10.000	9.703	9.596	9.586	9.612	9.724	9.774	9.769	9.718	9.659	9.650	9.672	9.748	9.820
VOLUMEN	TERRAPLEN	0.00	297.48	107.02	11.00	1.81	1.16	11.89	5.13	52.04	59.36	10.31	10.26	1.18	1.19
	CORTE	0.00	0.00	0.00	1.93	27.30	112.82	0.35	0.90	0.48	0.65	32.66	77.33	73.01	
ESPESOR	TERRAPLEN	2.03	0.81	0.20	0.13	0.62	0.84	0.14	0.25	0.20	0.00	0.58	0.50	0.49	
	CORTE														
ELEVACION	SUBRASANTE	108.83	108.91	109.00	109.03	109.08	109.16	109.23	109.24	109.33	109.35	109.37	109.39	109.41	
	TERRENO	106.80	108.10	108.80	108.16	109.70	110.00	109.24	109.10	109.08	109.15	109.35	109.89	109.90	
		0+000.00	0+020.00	0+040.00	0+048.00	0+060.00	0+080.00	0+097.00	0+100.00	0+120.00	0+140.00	0+145.00	0+160.00	0+180.00	0+200.00

PERFIL
 ESCALA HORIZONTAL 1 : 1000
 ESCALA VERTICAL 1 : 100
 TOTAL VOLUMEN CORTE = 390.00m3
 TOTAL VOLUMEN TERRAPLEN = -569.82m3
 TOTAL VOLUMEN DESPALME EN CORTE = 243.95m3
 TOTAL VOLUMEN DESPALME EN TERRAPLEN = -151.89m3

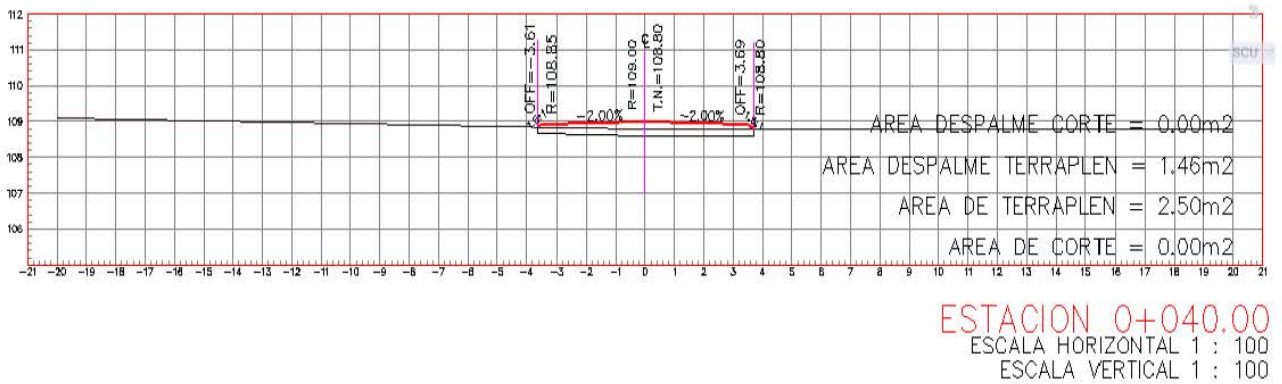
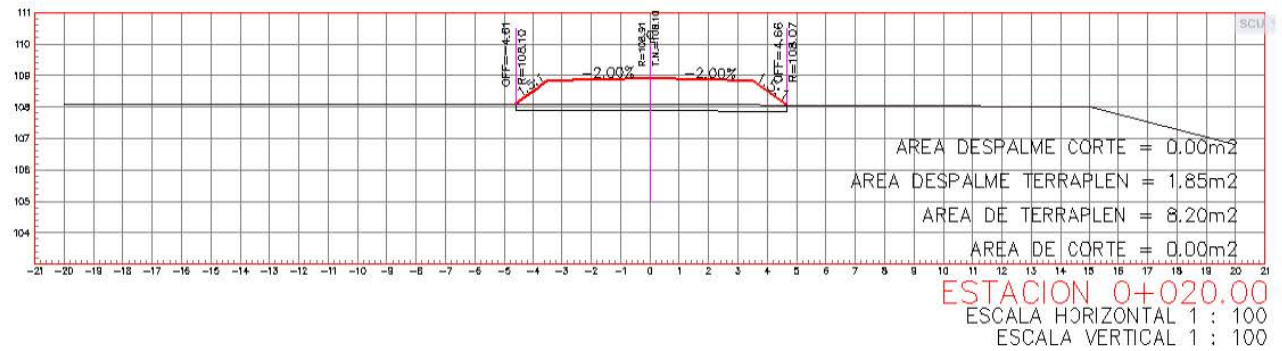
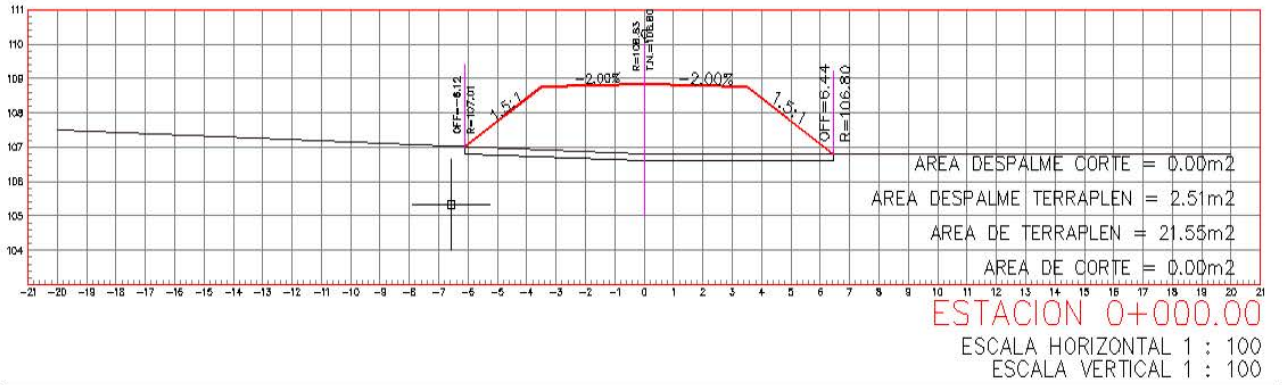
FIGURA 4-F. Perfil de terreno.
Fuente: Elaboración propia

4.8.3. Obtención de secciones transversales.

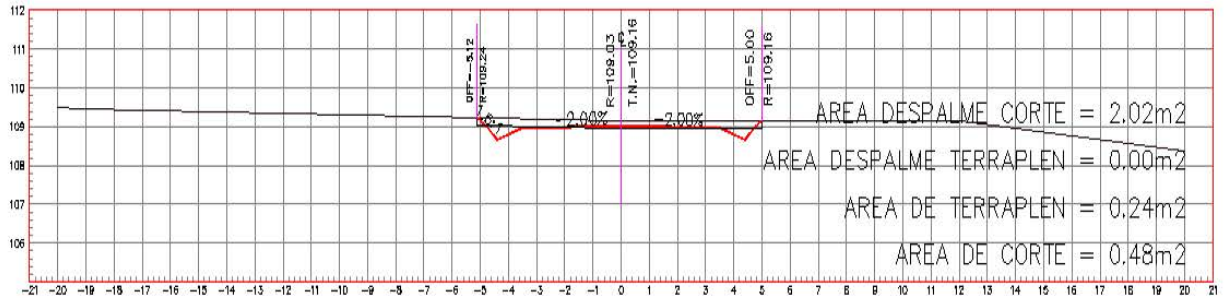
Con base en los alineamientos horizontal y vertical, las secciones de construcción del camino se proyectan sobre el dibujo de las secciones transversales del terreno, marcando para cada estación la colocación de la subrasante en el centro de línea, que quedara hacia arriba si se trata de terraplén o hacia abajo si es corte. A partir de este punto de la subrasante se proyecta la corona con el ancho correspondiente, los bombeos, las sobreelevaciones y las ampliaciones, además de la cuneta y la contracuneta, los taludes de corte o terraplén, etc.; es decir, todos los elementos que correspondan a la sección.

Para cada sección se miden o se calculan las áreas de corte y terraplén y se registran en el dibujo.

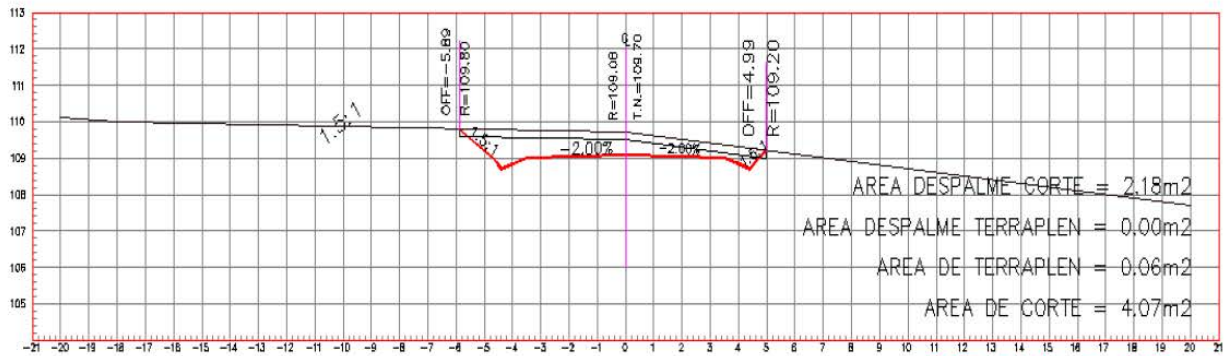
Secciones de Construcción



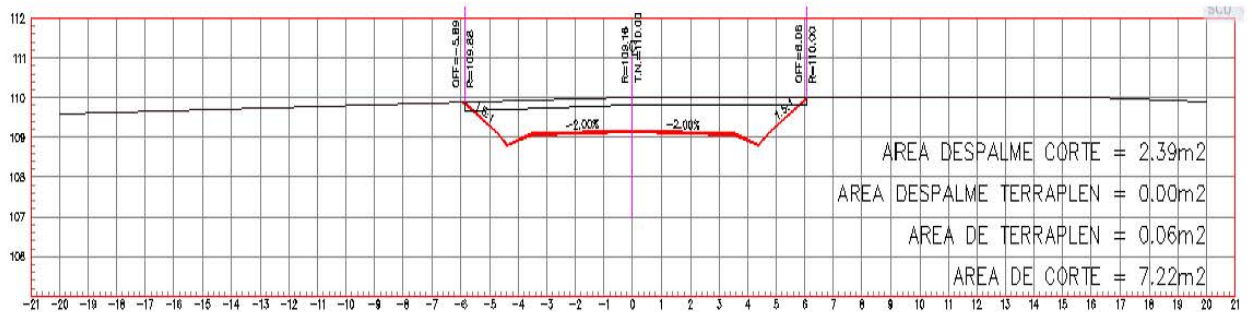
Secciones de Construcción



ESTACION 0+048.00
 ESCALA HORIZONTAL 1 : 100
 ESCALA VERTICAL 1 : 100

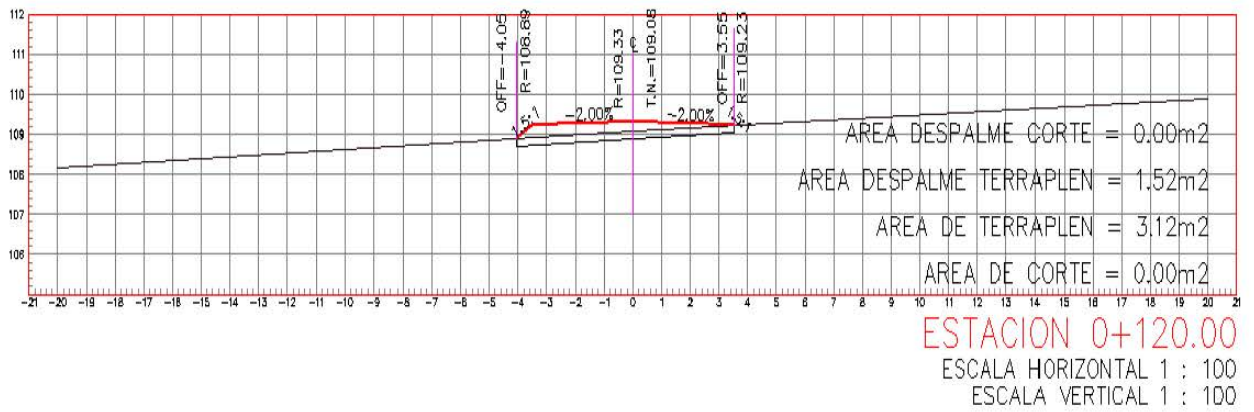
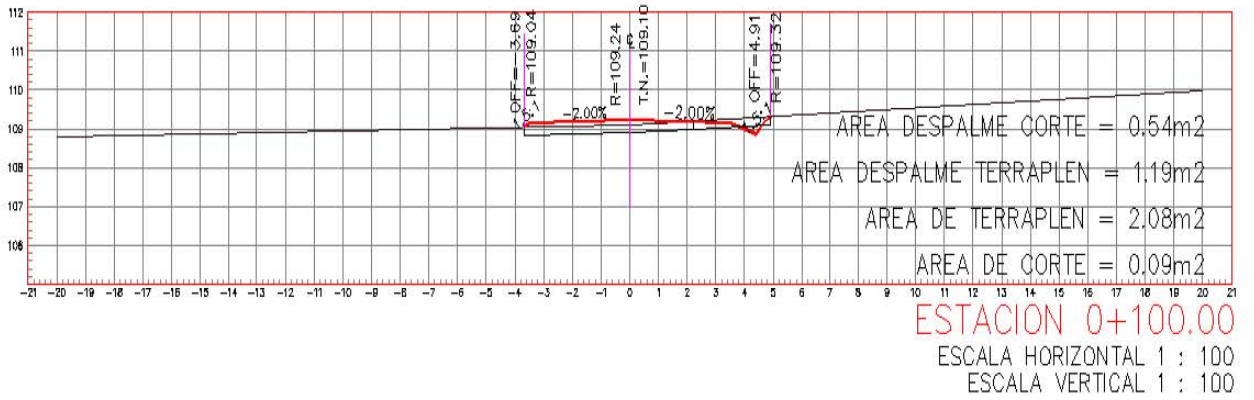
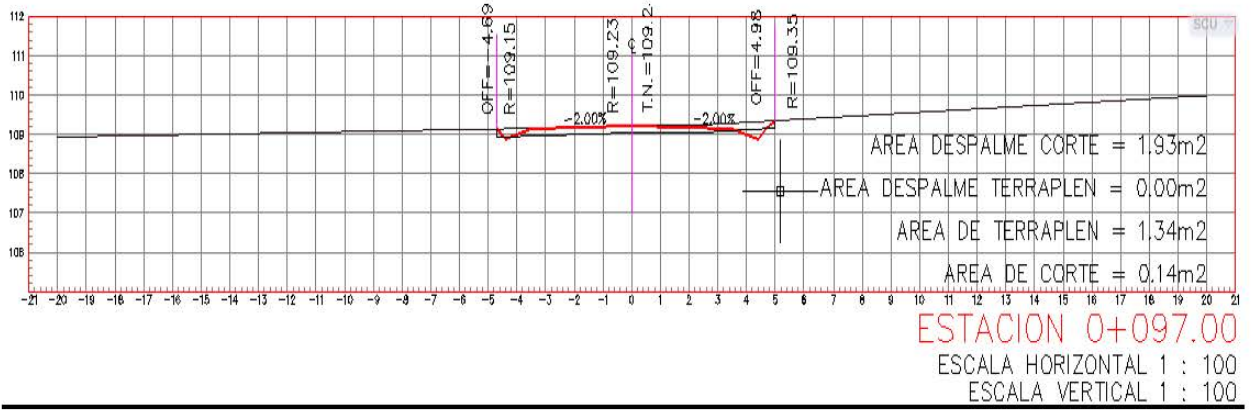


ESTACION 0+060.00
 ESCALA HORIZONTAL 1 : 100
 ESCALA VERTICAL 1 : 100

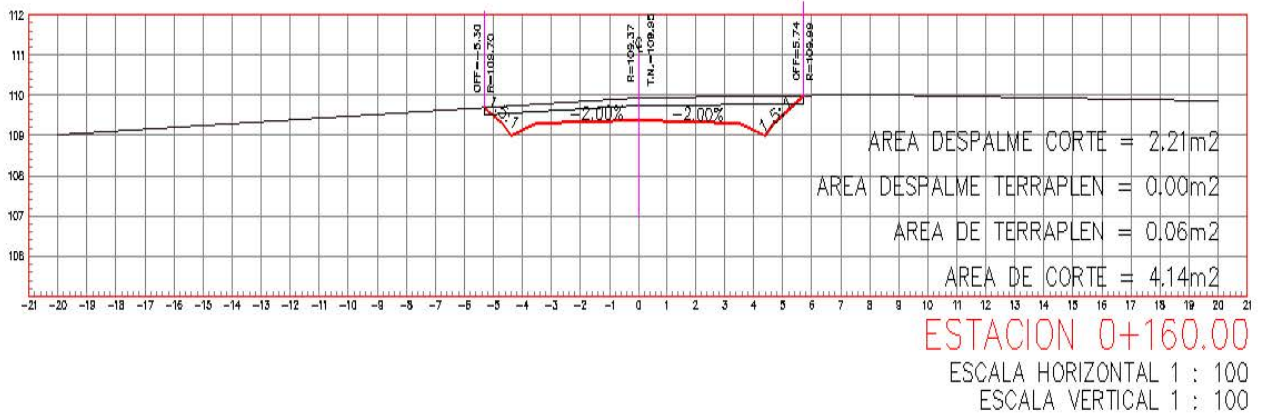
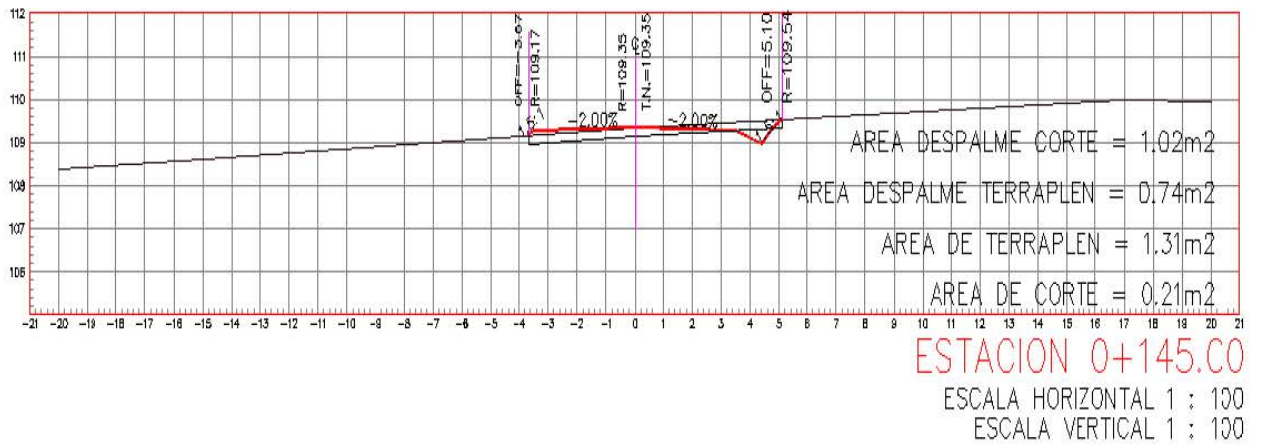


ESTACION 0+080.00
 ESCALA HORIZONTAL 1 : 100
 ESCALA VERTICAL 1 : 100

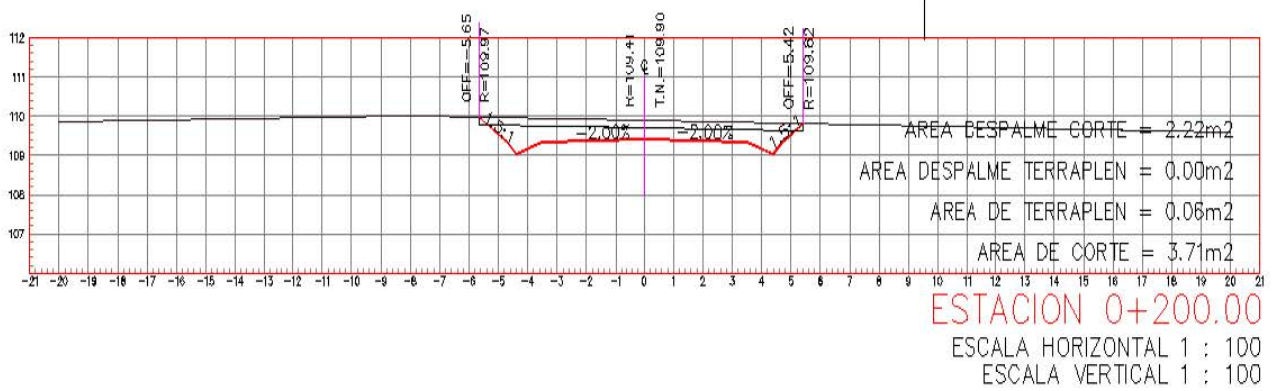
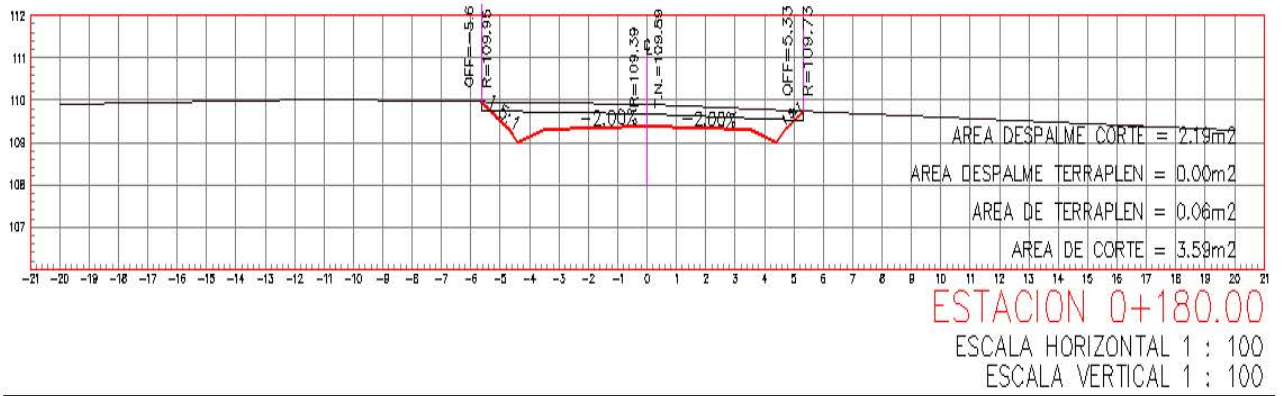
Secciones de Construcción



Secciones de Construcción



Secciones de Construcción



4.8.4. Cálculo 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 de las secciones; los volúmenes de corte se consideran positivos y los de terraplén negativos.

Como los materiales de corte no tienen el mismo peso volumétrico que tendrán en los terraplenes, no pueden compararse con validez y por eso los ingenieros en geotecnia calculan un factor de variación volumétrica para los diferentes materiales. Este factor consiste en la relación del peso volumétrico de un mismo material en el corte y en el terraplén.

Los volúmenes de corte ya calculados se multiplican por el factor de variación volumétrica, con lo que adquieren características volumétricas semejantes y entonces ya es posible realizar operaciones de suma o resta entre ellos.

Material	Factor de abundamiento
Tierra suelta (Tipo A)	1.00 a 1.25
Roca suelta (Tipo B)	1.30 a 1.40
Roca fija (Tipo C)	1.40 a 1.65

Material	Factor de reducción
Tierra suelta (Tipo A)	0.98 a 1.00
Roca suelta (Tipo B)	0.70 a 0.75
Roca fija (Tipo C)	0.60 a 0.70

TABLA 4-K. Factores de reducción abundamiento.
Fuente: Manual de Diseño de Carreteras S.O.P.

En seguida, se obtienen las coordenadas de curva masa que para cada sección, es la suma algebraica de los volúmenes de corte y terraplén desde un punto, tomado como origen hasta la sección considerada. Para realizar estos cálculos es factible utilizar el formato como el que se muestra en la figura siguiente o parecida.

4.8.5. Obtención de ordenada de curva masa.

Las ordenadas se obtienen de la suma y resta de cortes y terraplenes respectivamente a partir de una cota arbitraria, siempre y cuando esta sea mayor al volumen de terracería manejado para que al momento de la suma y resta algebraica estos valores de las ordenadas no sean negativos.

4.8.6. Cuadro de datos de construcción.

Este cuadro de construcción es el siguiente paso para la determinación de nuestros volúmenes de obra.

Ya dibujadas las secciones transversales se obtienen las áreas de las capas de terracerías y se obtienen los datos de construcción contenidos en el cuadro mostrado a continuación.

ESTACIÓN	ELEVACIONES		ESPEORES		LATERALES CORTE		LATERALES TERRAPLEN		ÁREAS				VOLÚMENES					
					IZQ.	DER.	IZQ.	DER.	DESPALME		C	I	SEMI-DISTANCIA	DESPALME		C	I	
	TN	SUBRASANTE	C	T					DC	DT				DC	DT			
0+000.000	106.800	108.830		2.03			6.12	6.44		2.51		21.55						
0+020.000	108.100	108.913		0.81			4.61	4.66		1.85		8.20	10.00		43.67			297.48
0+040.000	108.800	108.995		0.20			3.61	3.69		1.46		2.50	10.00		33.14			107.02
0+048.000	109.160	109.028	0.13		5.12	5.00			2.02		0.48	0.24	4.00	8.10	5.84	1.93		11.00
0+060.000	109.700	109.078	0.62		5.89	4.99			2.18		4.07	0.06	6.00	25.23			27.30	1.81
0+080.000	110.000	109.161	0.84		5.89	6.06			2.39		7.22	0.06	10.00	45.71			112.82	1.16
0+097.000	109.235	109.231	0.00		4.69	4.98			1.93		0.14	1.34	8.50	36.77			62.57	11.89
0+100.000	109.100	109.243		0.14		4.91	3.69		0.54	1.19	0.09	2.08	1.50	3.71	1.78	0.35		5.13
0+120.000	109.080	109.326		0.25			4.05	3.55		1.52		3.12	10.00	5.36	27.06	0.90		52.04
0+140.000	109.150	109.346		0.20		4.82	3.99		0.34	1.43	0.05	2.81	10.00	3.37	29.46	0.48		59.36
0+145.000	109.350	109.351		0.00		5.10	3.67		1.02	0.74	0.21	1.31	2.50	3.39	5.41	0.65		10.31
0+160.000	109.950	109.366	0.58		5.30	5.74			2.21		4.14	0.06	7.50	24.19	5.53	32.66		10.26
0+180.000	109.890	109.386	0.50		5.65	5.33			2.19		3.59	0.06	10.00	44.04			77.33	1.18
0+200.000	109.900	109.406	0.49		5.65	5.42			2.22		3.71	0.06	10.00	44.10			73.01	1.19

SIMBOLOGIA	
DC	DESPALME EN CORTE
DT	DESPALME EN TERRAPLEN
C	CORTE
I	TERRAPLEN

TABLA 4-L. Cuadro de datos de construcción.
Fuente: elaboración propia

4.9. 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 sentido horizontal utilizando el mismo dibujo de 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 mas los volúmenes cuando la misma línea compensadora corta más veces la curva, pero algunas veces el querer compensar demasiado los volúmenes, provoca acarrees muy largos que resultan más costosos que otras alternativas.

Ya explicado el procedimiento para dibujar la curva masa a continuación procederemos a dibujar nuestra curva masa de acuerdo a nuestro perfil de obra y queda como se muestra a continuación.

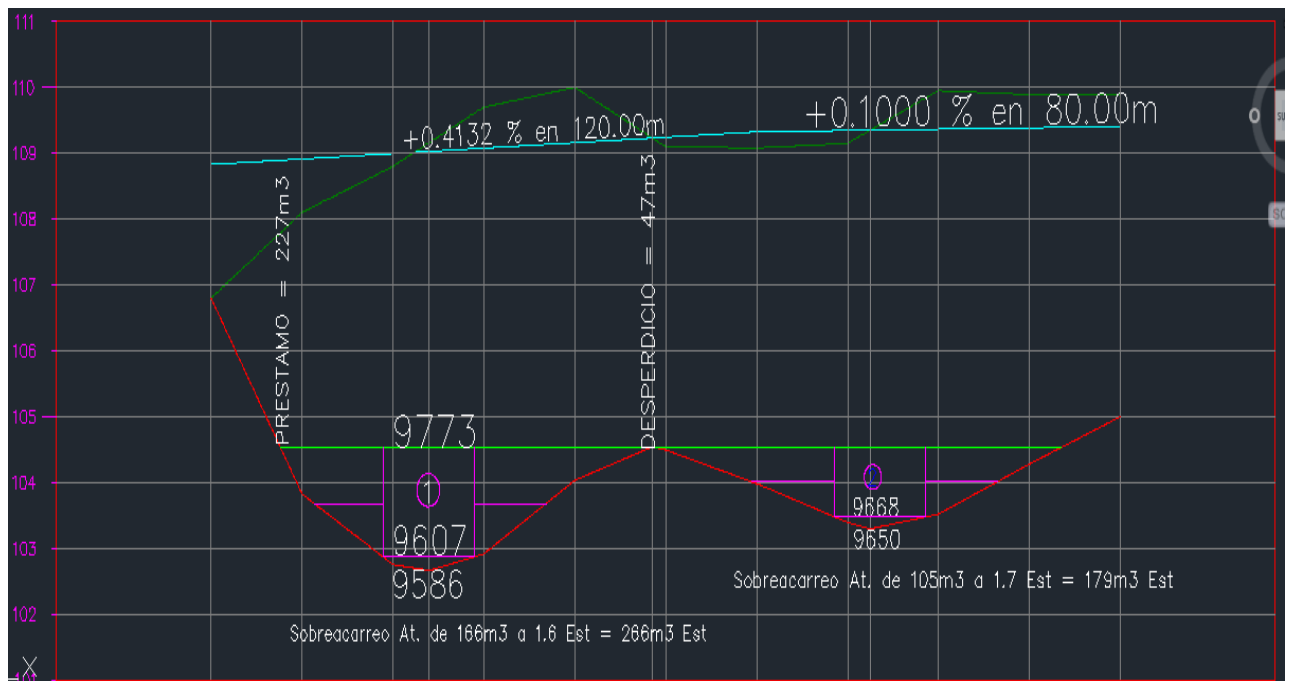


FIGURA 4-G. Curva Masa
Fuente: elaboración propia

4.10. Terracerías.

Las terracerías pueden definirse como los volúmenes de materiales que se extraen o que sirven de relleno en la construcción de una vía terrestre. La extracción puede hacerse a lo largo de la línea de la obra y si este volumen de material se utiliza en la construcción de los terraplenes o rellenos, las terracerías son compensadas y el volumen de corte que no se usa se denomina desperdicio. Si el volumen que se extrae en la línea no es suficiente para construir los terraplenes o los rellenos, se necesitara extraer material fuera de ella, o sea, en zonas de préstamos. Si estas zonas se ubican cerca de la obra, de 10 a 100 m a partir del centro de la línea, se llama zonas de préstamos laterales; si se encuentran a más de 100 m, son de préstamos de banco de material.

Las terracerías en terraplén se dividen en el cuerpo del terraplén, que es la parte inferior, y la capa subrasante, que se coloca sobre la anterior con un espesor mínimo de 30 cm. A su vez, cuando el tránsito que habrá de operar sobre el camino es mayor es mayor que 5000 vehículos diarios, se construyen en el cuerpo del terraplén los últimos 50 cm con material compactable y esta capa se denomina subyacente.

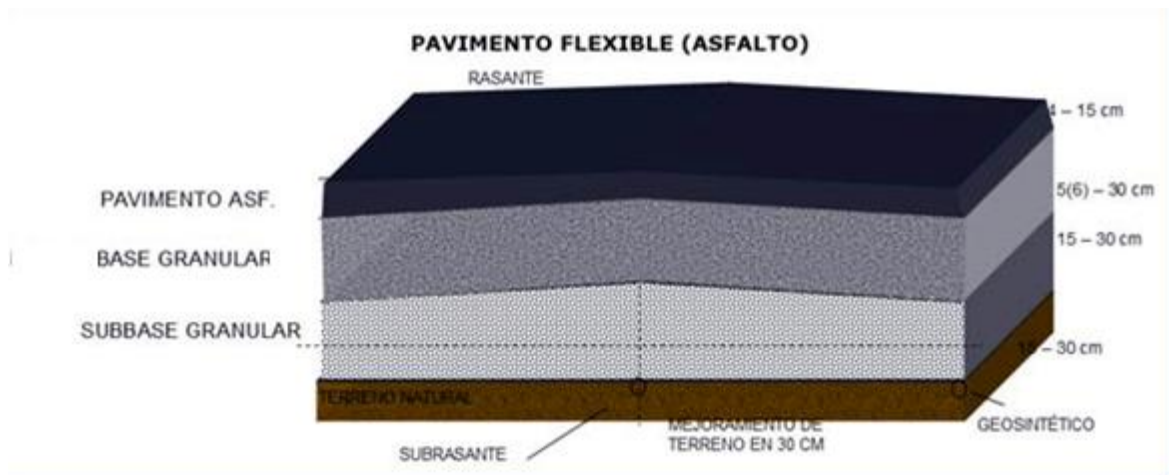


FIGURA 4-H. Sección tipo
Fuente: elaboración propia

Las características y funciones de los materiales utilizados en estas capas de las terracerías son las que se mencionan a continuación.

- **Cuerpo del terraplén:** es parte de la estructura de una vía terrestre y sus funciones son las siguientes: alcanzar la altura necesaria para satisfacer principalmente las especificaciones geométricas, resistir las cargas de tránsito transmitidas por las capas superiores y distribuir los esfuerzos a través de su espesor para transportarlos en forma adecuada al terreno natural, de acuerdo a su resistencia.

Los materiales empleados en el cuerpo del terraplén se dividen en compactables y no compactables, aunque esta denominación no es correcta, pues todos los materiales son susceptibles de compactarse. Sin embargo, se clasifican con base en la facilidad que tienen para compactarse con los métodos usuales y para medir el grado de compactación alcanzado.

4.10.1. Construcción.

El acomodo de los materiales puede realizarse de 3 maneras diferentes:

1. Cuando los materiales son compactables se tiende el material con una motoconformadora y se nivela, posteriormente se utiliza un vibro-compactador o bien se puede tender el material con un tracto-compactador (pata de cabra) que al mismo tiempo que va tendiendo, va compactando, posteriormente se nivela con una motoconformadora y se concluye con un vibrocompactador hasta alcanzar la compactación de proyecto. En general, el grado de compactación de los materiales en el cuerpo del terraplén es del 90% y el espesor de las capas responde al equipo de construcción.



IMAGEN 4-A. Tendido de material mediante motoconformadora.
Fuente: Foto tomada en obra



IMAGEN 4-B. Vibro-compactador utilizado para alcanzar la compactación del proyecto.
Fuente: Foto tomada en obra

2. Si los materiales no son compactables, se forma una capa con un espesor casi igual al de los fragmentos de roca, no menor que 15cm. Un tractor de orugas se pasa 3 veces por cada punto de la superficie de esta capa, con movimientos en zig-zag. Para mejorar el acomodo, es necesario incorporar agua que funciona como lubricante entre las partículas para lograr un mejor acomodo. Estos materiales en general se utilizan para desplante de grandes

terraplenes en zonas en las que abunda la piedra o bien como capas rompedoras de capilaridad en suelos inestables con presencia de agua.



IMAGEN 4-C. Tractor de orugas desplantando terraplén compuesto de material rocoso.
Fuente: Foto tomada en obra

3. Si se necesitan efectuar rellenos en barrancas angostas y profundas, en donde es difícil el acceso del equipo de acomodo o compactación, se permite colocar el material a volteo hasta una altura en que el equipo ya pueda operar.

4.11. Movimiento de tierras.

Está 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.

- a. **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.

De acuerdo con la distancia entre centros de gravedad, los acarreos se calculan en m³-estacion, hasta distancias de 80m; en m³-hectometro hasta distancias de 480m, o en m³-kilometro para distancias mayores a esta última.

Ya sea que la curvamasa se encuentre arriba o debajo de las compensadoras, los acarreos se ejecutaran hacia adelante o hacia atrás respectivamente. En general, se dice que la posición de las compensadoras es la más económica cuando la suma de los acarreos hacia atrás es igual a la suma de los acarreos hacia adelante. En el manual de proyecto geométrico de la SCT se presentan las formulas para hacer los cálculos exactos y encontrar la posición más económica de las compensadoras. Sin embargo, en la actualidad la mayoría de los estudios de movimientos de tierras para vías terrestres se hace por computadora, y muchos se realizan por medio de fotogrametricoelectrónicos.

4.11.1. 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.

4.11.2. 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 acarros largos por lo regular resultan muy costosos.

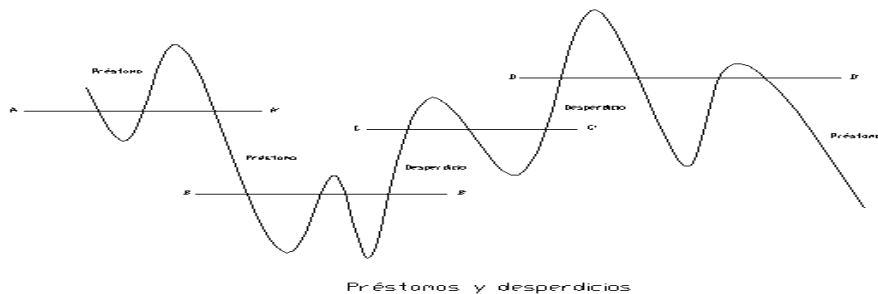


Figura 4-I. Préstamos y desperdicios
Fuente: Manual de Diseño de Carreteras S.O.P.

4.12.3. Determinación del sobre acarreo.

De acuerdo a nuestro perfil de terreno y curva masa obtenida, se muestra a continuación la tabla de los sobre acarreos obtenidos de los datos anteriores.

CAMINO:							
TRAMO:				ESTACION:			
SUB-TRAMO:				ORIGEN:			
	Dist. acarreo libre(m):	20					
Movimiento número	Área contorno cerrado (m3m)	Diferencia de ordenadas (m3)	Coef. variación volumétrica	Dist. media de sobre acarreo (m)	Distancia de pago	Sobre acarreo	Sentido
1	8,468	166	1.00	31	1.6 Est.	266 m ³ Est.	Atrás
2	5,702	105	1.00	34	1.7 Est.	179 m ³ Est.	Atrás

Total préstamos(m3)= 227

Total desperdicios(m3)= 47

TABLA 4-M. Cuadro de datos de Sobre acarreos.
Fuente: elaboración propia

4.13. 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:

- Dar salida al agua que se llegue a acumular en el camino.
- Reducir o eliminar la cantidad de agua que se dirija hacia el camino.
- 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.

4.13.1. 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 a ambos lados del camino, con el propósito de recibir y conducir el agua pluvial de la mitad del camino (o de todo el camino en las curvas), el agua que escurre por los cortes y a veces la que escurre de pequeñas adyacentes. Cuando las cunetas pasan del corte al terraplén, se prolongan a lo largo del pie del terraplén dejando una berma convencional entre dicho pie y el borde de la cuneta para evitar que se remoje el terraplén lo cual es causa de asentamientos.

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:

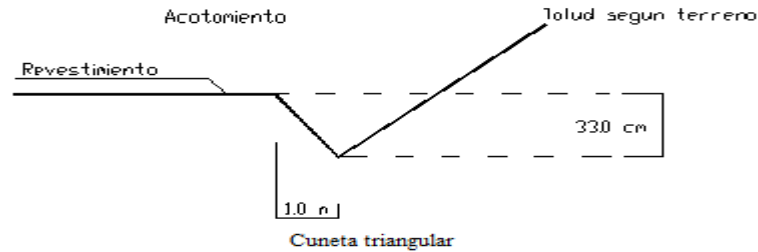


Figura 4-J. Cuneta triangular.
Fuente: Libro Vías de comunicación, Editorial Crespo

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 en lugares convenientes con el fin de evitar que llegue a las cunetas más agua que aquella para la cual están proyectadas.

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 de camino.- Se denomina bombeo de un camino a la forma de la sección transversal del mismo y que tiene como fin principal el drenar hacia los lados el agua que cae en el camino mismo. El bombeo que debe emplearse depende de la clase de superficie, facilidad de circulación de los vehículos y aspecto del camino. En nuestro país se acostumbra emplear un bombeo de 2% para los caminos asfaltados y de 1.5% para los de concreto hidráulico.

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.- El desfogue de una corriente de agua puede hacerse con un lavadero, el cual no es más que una cubierta o delantal de mampostería de concreto o de piedra acomodada simplemente, por donde se encauza el agua de los taludes o terraplenes, o en terreno muy erosionable, hasta llevarla a lugares donde la erosión continuada no pueda llegar a afectar el camino en forma alguna.

Cuando se construyan en terrenos inclinados, es necesario anclarlos con dentellones para evitar que resbalen. Las dimensiones y forma de los lavaderos quedan enteramente a criterio del ingeniero drenajista.



IMAGEN 4-D. Lavadero de concreto.
Fuente: <http://tonoregueram.wordpress.com>

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 construidos 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.

Un vado bien hecho debe llenar las siguientes condiciones:

1. La superficie de rodamiento no debe erosionar al pasar el agua.
2. Debe evitarse la socavación y erosión aguas arriba y aguas abajo.
3. Debe facilitar el escurrimiento para evitar regímenes turbulentos.
4. Debe tener señales visibles que indiquen cuando no debe pasarse por que el tirante de agua es demasiado alto y peligroso.

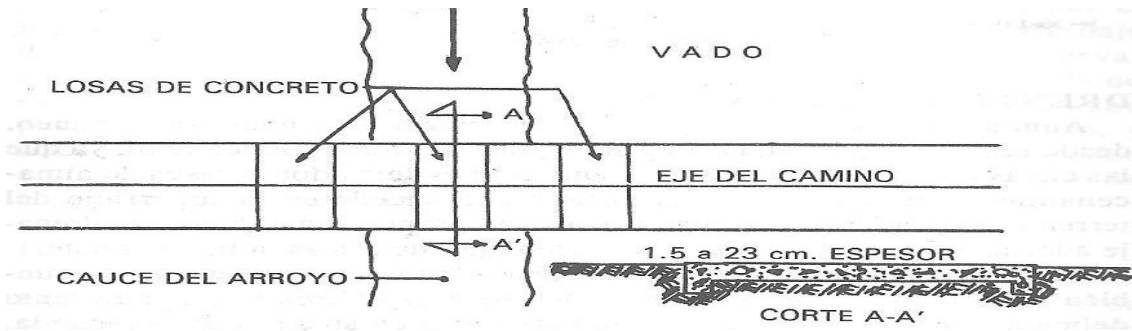


Figura 4-K. Vado.

Fuente: Libro Vías de comunicación, Editorial Crespo

El puente – vado.- es una estructura en forma de puente que se utiliza para dar paso al gasto de las aguas máximas ordinarias y que durante el periodo de aguas máximas extraordinarias permite que el agua sobrepase por encima de ella. Este tipo de estructura es muy recomendable para caminos vecinales y debe llenar los requisitos siguientes:

1. Altura y longitud tal que permita el paso del gasto de las avenidas ordinarias.
2. Superestructura de dimensiones mínimas con el fin de que sea menor la obstrucción al paso del agua.

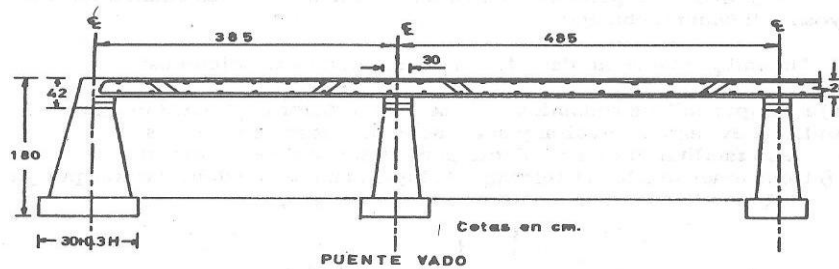


Figura 4-L. Puente Vado.

Fuente: Libro Vías de comunicación, Editorial Crespo

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 distinguen de las alcantarillas por el colchón que estas llevan 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.

4.13.2. 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.

4.13.3 Drenaje subterráneo.

Aunque comúnmente se piense lo contrario, el drenaje subterráneo desde muchos aspectos, es muy semejante al drenaje superficial, ya que las capas impermeables forman canales bien definidos o vasos de almacenamiento de agua subterránea tal como sucede en la superficie del terreno; el drenaje subterráneo consiste en proporcionar ductos de drenaje adecuados para controlar el escurrimiento de esa agua rápidamente.

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 5. CARPETA ASFALTICA.

Un pavimento flexible es una estructura que mantiene un contacto intimo con las cargas y las distribuye a la subrasante; su estabilidad depende de del entrelazamiento de los agregados, de la fricción de las partículas y de la cohesión. De este modo, el pavimento clásico flexible comprende a aquellos pavimentos que están compuestos por una serie de capas granulares rematadas por una capa de rodamiento asfáltica de alta calidad relativamente delgada.

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 estudios en laboratorio a fin de que en el campo se de un peso volumétrico seco adecuado.

Es de gran importancia estos estudios de suelo para así poder 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.

CAPITULO 6. CONCLUSIONES.

Siempre que se vaya a diseñar alguna vialidad lo primero que se debe tener en cuenta es el tránsito y los usuarios. Teniendo siempre en cuenta estos 2 puntos básicos es cuando podemos lograr un diseño perfecto en el que el tránsito circule cómodamente por estas vialidades sin ser molestado por factores externos y así evitar en su mayoría los accidentes.

En este trabajo aprendimos las bases para realizar el diseño de una carretera, los cuales son:

- planimetría - esta se divide en trazado de la poligonal, curvas horizontales.
- altimetría - esta se divide en perfil longitudinal, curvas verticales, trazo de subrasante, perfil y sección transversal, cálculo de área y volumen.

El diseño geométrico es aplicable tanto a carreteras como a vías férreas e incluso a canales de navegación.

El objetivo de este trabajo fue conjugar todos los elementos en que se divide el diseño (planta, perfil y sección transversal) para concebir una carretera completa y funcional en base a las normas de la SCT.

BIBLIOGRAFÍA.

- CRESPO, C. (2002) Vías de comunicación. Editorial Limusa, S.A. de C.V. México

- OLIVERA, F. (2009) Estructuración de vías terrestres. Grupo Editorial Patria. México

- S.O.P. (1971) Manual de diseño geométrico de carreteras.

- WRIGHT. (1993) Ingeniería de carreteras. Editorial Limusa, S.A. de C.V. México

- <http://www.documentos.arq.com.mx>