

Nº 19
2EJ.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"APUNTES PARA LA MATERIA DE
VIAS TERRESTRES (CARRETERAS)"

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A:
JORGE CAPISTRAN FLORES

DIRECTOR DE TESIS,
M. I. Fernando Olivera Bustamante

México, D. F.

1992



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está 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.

INDICE

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.	1
CAPITULO II. PLANIFICACIÓN DE CARRETERAS.	
2.1 Introducción.	5
2.2 Clasificación de caminos en México.	8
2.2.1 Caminos desde el punto de vista administrativo.	8
2.2.2 Caminos desde el punto de vista socio-económico.	9
2.2.3 Caminos desde el punto de vista técnico.	10
2.3 Recomendaciones de la S.C.T. para la planificación.	11
CAPITULO III. ALINEAMIENTO HORIZONTAL.	
3.1 Definición.	13
3.2 Elementos que lo integran.	13
3.2.1 Tangentes.	13
3.2.2 Curvas circulares.	13
3.2.3 Curvas de transición.	19
3.3 Curvatura máxima para una deflexión y velocidades dadas.	33
3.4 Distancia de visibilidad en curvas del alineamiento horizontal.	33
3.4.1 Distancia de visibilidad de parada.	33
3.4.2 Distancia de visibilidad de rebase.	36
3.4.3 Distancia de visibilidad de encuentro.	36
CAPITULO IV. ALINEAMIENTO VERTICAL.	
4.1 Definición.	37
4.2 Elementos que lo integran.	37
4.2.1 Tangentes.	37
4.2.2 Curvas verticales.	40
CAPITULO V. SECCIONES TRANSVERSALES.	
5.1 Definición.	52
5.2 Elementos que lo integran.	52
5.2.1 Corona.	52
5.2.2 Subcorona.	64
5.2.3 Cunetas y contracunetas.	70
5.2.4 Taludes.	72
5.2.5 Partes complementarias.	77
5.2.6 Derecho de vía.	79

5.3	Recomendaciones de la S.C.T. para el proyecto geométrico de carreteras.	79
-----	---	----

CAPITULO VI. METODOLOGÍA DEL PROYECTO.

6.1	Generalidades.	84
6.2	Selección de ruta.	84
6.2.1	Acopio de datos.	85
6.2.2	Planeación y realización del primer reconocimiento con sus resultados.	85
6.2.3	Fotointerpretación.	90
6.2.4	Planeación y realización del segundo reconocimiento con sus resultados, apoyo terrestre, estudio de rutas en Balplex, antepresupuesto.	97
6.3	Anteproyecto.	99
6.3.1	Métodos empleados para la realización del anteproyecto y proyecto definitivo, elementos de elección.	99
6.3.2	Anteproyecto utilizando el método convencional.	101
6.3.2.1	Personal de una brigada de preliminar.	102
6.3.2.2	Labor de la brigada de preliminar.	103
6.3.3	Anteproyecto utilizando el método fotogramétrico-electrónico.	104
6.4	Proyecto definitivo.	107
6.4.1	Proyecto definitivo utilizando el método convencional.	107
6.4.1.1	Implantación ó trazo de la línea definitiva en el campo.	107
6.4.1.2	Nivelación.	109
6.4.1.3	Movimiento de terracerías.	110
6.4.2	Proyecto definitivo utilizando el método fotogramétrico-electrónico.	126
6.4.2.1	Datos previos para el proyecto definitivo.	126
6.4.2.2	Matematización.	126
6.4.2.3	Seccionamiento.	131
6.4.2.4	Curva masa.	131
6.4.2.5	Estacamiento del trazo definitivo.	134
6.4.2.6	Planos definitivos.	139
6.5	El drenaje en el camino.	140
6.5.1	Clasificación del drenaje.	140
6.5.1.1	Drenaje superficial.	141
6.5.1.2	Drenaje longitudinal.	141
6.5.1.3	Drenaje transversal.	143
6.5.2	Drenaje subterráneo.	144
6.5.2.1	Drenes longitudinales.	145
6.5.2.2	Drenes transversales.	145
6.5.3	Funcionamiento del drenaje.	145
6.6	El pavimento.	146

CAPITULO VII. ELABORACIÓN DEL PROYECTO DE UN CAMINO EN CLASE.

7.1	Generalidades.	150
7.2	Normas de proyecto geométrico para carreteras.	150
7.3	Características geométricas del camino (carretera) por proyectar.	153
7.4	Obtención de la línea a pelo de tierra.	153
7.5	Obtención de las tangentes.	156
7.6	Perfil deducido.	158
7.7	Enderizado con el uso de cerchas de curvas circulares, primer cadenamiento de la línea, y perfil deducido del trazo con curvas circulares.	160
7.8	Cálculo y dibujo final de las curvas horizontales.	161
7.9	Perfil deducido final.	176
7.10	Proyecto de la subrasante.	176
7.10.1	Elementos que definen el proyecto de la subrasante.	176
7.11	Cálculo y dibujo de las curvas verticales.	180
7.12	Proyecto de las secciones de construcción.	199
7.13	Medición de áreas de las secciones de construcción.	199
7.14	Cálculo de los volúmenes de terracerías entre estaciones.	218
7.14.1	Cálculo de los volúmenes de terracerías en tangente.	218
7.14.2	Cálculo de los volúmenes de terracerías en curva.	221
7.15	Obtención del diagrama de curva masa.	224
7.16	Obtención de la compensadora económica (compensadora general) y de las compensadoras auxiliares.	231
7.17	Cálculo de los volúmenes de sobreacarreo.	231

CAPITULO VIII. CONCLUSIONES.

234

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

BREVE HISTORIA DE LAS VÍAS TERRESTRES.

Primeras veredas para peatones y carreteras

Por necesidad, los primeros caminos fueron de tipo peatonal (veredas) que las tribus nómadas formaban al deambular por las regiones que les proporcionaban sus alimentos, posteriormente, al tornarse en sedentarias, estos caminos peatonales tuvieron finalidades religiosas, comerciales y de conquista; en América y México en particular, se tuvieron ejemplos de estos caminos en las civilizaciones maya y azteca en forma respectiva.

Con la invención de la rueda, apareció la carreta jalada, ya fuera por humanos o por bestias, para lo cual fue necesario acondicionar los caminos para que el tránsito se desarrollara lo más "rápido" y "cómodo" que fuera posible; así, los espartanos y fenicios construyeron los primeros caminos de que se tiene noticia, los romanos construyeron caminos, tanto en la Península Itálica, como en varios puntos de Europa, de África y Asia para poder extender sus dominios.

Aparición del automóvil

A fines del siglo XIX, se inventó el automóvil que ha tenido un rápido desarrollo y para su tránsito, en primer lugar se acondicionaron los antiguos caminos de carretas, para posteriormente sufrir grandes transformaciones en su geometría y en su estructuración, pues tanto en número como en peso, los vehículos se han multiplicado.

Las vías terrestres en México

En lo que actualmente es la República Mexicana, en la época precortesiana existían, como ya se dijo, numerosos caminos peatonales; los españoles introdujeron las carretas y Fray Sebastián de Aparicio (monje franciscano), construyó las primeras brechas o veredas, dejándonos una tradición caminera muy acendrada; hubo comunicación con el Puerto de Veracruz pasando por Puebla, a Acapulco y a las principales ciudades del país.

A partir de la segunda mitad del siglo XIX, se inició la construcción de vías férreas, que tuvo su mayor auge durante el gobierno de Porfirio Díaz y en la actualidad están en decadencia, por desconocimiento gubernamental de la utilidad de este medio de transporte cuando se administra en forma correcta. La actual longitud de vías férreas es muy inferior a la que necesita el desarrollo del país, llegando a ser inclusive factor de retroceso por los altos costos que reportan.

En los primeros años de este siglo, se introdujeron al país los primeros automóviles que principalmente utilizaron los caminos de carretas o reales, y es a partir de 1925 que se empieza la construcción de caminos con técnicas avanzadas, siendo de los primeros, los caminos de la Ciudad de México a Veracruz, a Laredo y a Guadalajara; los caminos fueron proyectados y construidos por firmas de EUA, pero a partir de 1940, los ingenieros mexicanos se han encargado de estos trabajos, teniéndose ahora una red de caminos pavimentados de 75 000 km y de 120 000 km de caminos secundarios, con superficie de rodamiento revestida, de tal manera, que aseguren el tránsito de los vehículos durante todo el tiempo (Fig. 1.1).

Caminos y carreteras

Algunos acostumbran denominar CAMINOS a las vías rurales, mientras que el nombre de CARRETERAS se le aplica a los caminos de características modernas destinadas al movimiento de un gran número de vehículos. En la presente tesis se utilizaran, indistintamente, los dos términos para indicar lo mismo según la definición que sigue.

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

COMENTARIOS DE LA PRESENTACIÓN DE LA TESIS.

Las obras de ingeniería principalmente las que corresponden a la infraestructura, o sea, aquellas que en general están a cargo de los gobiernos y sirven para provocar el desarrollo de los países, deben ser eficaces y económicas; es decir, deben satisfacer las metas para las cuales fueron concebidas y tener el menor costo de construcción, mantenimiento y operación, aunque en estas obras de infraestructura también deben tomarse en cuenta los beneficios sociales y la velocidad del progreso que no son fácilmente cuantificables. En México, se han desarrollado dentro de la ingeniería civil, tecnologías que han dado lugar a obras con ese sello; la aplicación de la mecánica de suelos a las condiciones que presentan los suelos de la ciudad de México, el uso de la fotogrametría en el proyecto geométrico de vías terrestres y, dentro de las más antiguas, aparte quizá de aquellas de las aplicaciones hidráulicas, el proyecto de las estructuras de las vías terrestres son ejemplos de prácticas nacionales que se han ido desarrollando a través del tiempo, adecuando técnicas que se han utilizado en otros países, a nuestras condiciones.

La presente obra esta elaborada en cuatro etapas fundamentales:

La primera etapa se abarca principalmente a los datos generales de planeación.

En la segunda etapa se da una descripción detallada de los elementos de proyecto para carreteras como son:

- a) El Alineamiento Horizontal.
- b) El Alineamiento Vertical y
- c) El Proyecto de las Secciones Transversales.

En la tercera etapa se explican los métodos que se emplean para el proyecto de caminos (utilizando las normas de proyecto de la S.C.T.).

En la cuarta etapa se explica detalladamente la forma de como se puede elaborar el proyecto de un camino durante el transcurso del semestre; no es conveniente que el proyecto se elabore en forma precipitada, para esto se le recomienda al profesor y al alumno que empiecen a trabajar a partir de la 2a. semana después de iniciado el curso.

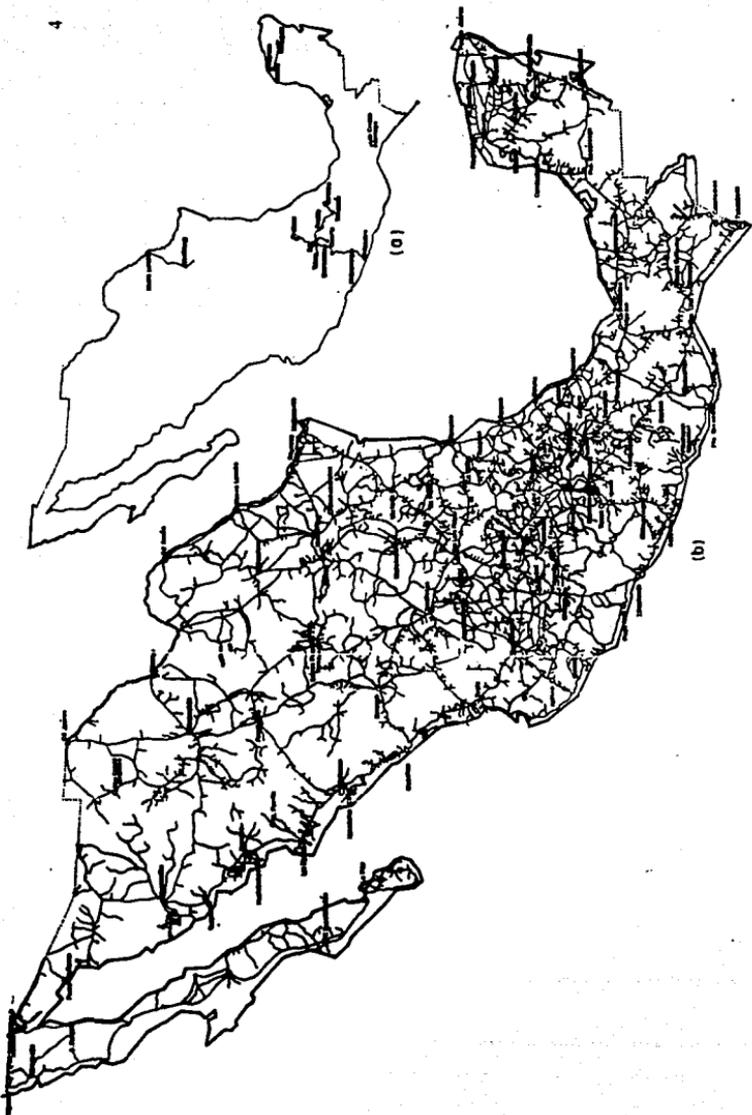


FIG. 1.1 RED DE CARRETERAS EN LA REPÚBLICA MEXICANA: (a) HASTA 1930; (b) HASTA 1980.

CAPITULO II

PLANIFICACIÓN DE CARRETERAS

2.1 INTRODUCCIÓN.

La palabra **planificación**, se ha venido usando en lugar de la palabra **planeación**, que a su vez procede de la palabra latina **planus**, que quiere decir **planes**. Podemos decir que la **planificación** es la palabra que indica la acción de hacer planes .

La **planificación** puede aplicarse a diversas actividades: **humana, política, económica, educativa, de energía y de transporte** y llamaremos **planificación integral** a la que estudiando las diversas actividades mencionadas nos conduce a un aprovechamiento correcto en su medida de todos aquellos recursos naturales de que disponemos.

En toda **planificación** el espíritu que debe animar a los ingenieros que intervengan en ella, ha de ser el de crear obras que sirvan no sólo a la generación actual, si no a las futuras, para no legarles obras inútiles que sólo sirvieron para resolver problemas inmediatos, y también deberán ser económicas, atendiendo no solo a la inversión inicial si no a través del tiempo.

Para realizar una **planificación completa** debe contarse con una serie muy correcta de datos: **económicos, sociales, agrícolas, políticos** y de recursos naturales de la zona, datos que han de tener toda veracidad, y muchos de estos necesitan ser representados en forma objetiva, ya sea en forma de gráficas o en cartas.

El primer paso que se sigue para el estudio de un camino, es la **planificación vial**, el cual es un estudio **socioeconómico** de una determinada región; con los resultados de este podemos obtener la red de comunicaciones necesarias a través del tiempo, que clases de vías de comunicación se necesitan, sus características, relación entre las diversas vías, cuando es necesario construirlas, en que etapas y por donde se deben de empezar a construir.

Para llegar a los resultados anteriores se necesita efectuar un estudio, que empezando por los datos **geográficos-físicos, económico-sociales, y políticos** que caracterizan a una determinada región, y terminando con la inter-relación de los mismos, nos lleve de una manera precisa al conocimiento de las necesidades viales su evaluación y su programación.

Para poder realizar una **planificación vial** será necesario consultar las fuentes gubernamentales, paraestatales, y de particulares, estas fuentes cuentan con varias instituciones en las cuales podemos conseguir: Mapas de la República Mexicana, Mapas estatales y Mapas municipales.

En la actualidad las instituciones oficiales más importantes son:

-El INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática).

En esta institución se pueden conseguir planos y fotografías a escala 1:50,000 del 80% del territorio nacional.

-El DETENAL (Dirección General de Estudios del Territorio Nacional).

-La S.C.T. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes).

-La S.D.N. (Secretaría de la Defensa Nacional).

-La SARH. (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos).

-E.T.C.

NOTA:

Para estudios en zonas reducidas o donde convenga detalle, como en el caso de los lugares densamente poblados es muy recomendable trabajar con los planos elaborados por la S.D.N o los del INEGI.

Para trabajos en donde se estudian amplias zonas es recomendable utilizar los Mapas de Navegación Aérea.

Los datos que son convenientes tener a mano, a parte de los ya citados son:

A) De estudios geográficos.

los que en términos generales se refieren a datos de :

- 1.-Climatología.
- 2.-Orografía.
- 3.-Hidrografía.
- 4.-Demografía.

Estos se obtienen de los censos nacionales y los que de inmediato nos interesan son:

- a) Población total por municipio, distrito, estado (hombres y mujeres).
- b) Población económicamente activa.
- c) Población urbana y rural.
- d) Clasificación de la fuerza de trabajo.
- e) Clasificación de poblaciones por número de habitantes, mortalidad, enfermedades endémicas, alfabetismo, razas e ingreso de la población.

5.- Comunicaciones y Transportes.

Estado actual, número de vehículos, líneas establecidas, posibilidades y perspectivas. Posible tránsito inducido y generado.

B) De estudios económicos.

Estos comprenden los factores principales de la población, la distribución y el consumo a saber:

1.- Datos agrícolas .

Valor total de la producción anual por municipio, tonelaje total de la producción anual por municipio; principales productores agrícolas en tonelaje anual por cada uno de ellos.

2.- Datos ganaderos.

Se refieren a cabezas de ganado vacuno para ordeñar, para matanza, ganado porcino, caprino, bovino, lanar, caballar; aves de corral e.t.c.

3.- Datos forestales.

Estos registran su producción en metros cúbicos y también por piezas; valor de la madera de construcción, de la leña, del carbón, del desperdicio industrializable y resinas.

4.- Datos mineros .

Se necesita conocer el valor total de la producción y la cantidad de minerales explotados por municipio.

5.- Datos industriales.

Es necesario conocer: Valor anual de la producción y su tonelaje anual; kilowatts producidos en las plantas termoelectricas e hidroelectricas y valor de todas las industrias. El valor de las instalaciones nos puede dar idea del tiempo de la estabilidad de la industria.

6.- Datos comerciales.

Se debe conocer: El monto anual de la recaudación de impuestos y monto anual de créditos bancarios que se otorgan y posibilidad de incremento de esos créditos.

7.- Datos turísticos.

C) De estudios políticos.

En estos es necesario conocer ciertas jerarquías, procedimientos y jurisdicciones que forzosamente influyen al intentar una planeación sistemática, y que pueden ser:

- | | | |
|--------------|---|-----------------------------|
| 1.- Internos | } | Federales
y
Estatales |
| 2.- Externos | } | Tratados |

El objetivo de lo anterior es el de conocer claramente la variedad de problemas y deficiencias de toda índole, las zonas de mayor actividad humana actual y aquellas económicamente potenciales, para dar por último como resultante, un estudio previo de las comunicaciones como instrumento eficaz para ajustar, equilibrar, coordinar y promover el adelanto más completo de la zona considerada, tanto en sí misma cuanto en sus inter-fluencias regionales nacionales y continentales. La conclusión da a conocer los grandes lineamientos de un plan vial o de una obra en particular por ejecutar, todo con fundamento en la demanda de caminos deducida de las condiciones socio-económico-políticas prevaecientes.

2.2 CLASIFICACIÓN DE CAMINOS EN MÉXICO.

La clasificación de caminos en México, la podemos dividir en tres grandes grupos, de acuerdo al punto de vista que se les quiera dar; así tenemos :

2.2.1 Caminos desde el punto de vista administrativo.

Nos marca la dependencia que se encarga de la construcción y conservación de los caminos. Esta clasificación es la siguiente:

a) Camino Federal.

El costo de la construcción y conservación del camino, está directamente a cargo del gobierno federal.

b) Camino Estatal.

El costo de construcción se realiza por el estado, o en forma bipartita, es decir, mitad el gobierno federal y mitad el estado; y la conservación queda a cargo únicamente por el estado.

c) Camino Vecinal.

El costo de construcción se realiza por los municipios o en forma tripartita, entre el gobierno federal, los estados, y la cooperación de los particulares beneficiados; la conservación queda a cargo del estado o de los municipios.

d) Caminos de Cuota.

El costo de la construcción y conservación está a cargo de una paraestatal: Caminos y Puentes Federales de Ingreso y Servicios Conexos, actualmente también están concesionadas a particulares, la inversión del camino es recuperable a través de las cuotas de peaje, es decir, el usuario del camino, paga cierta cantidad para tener derecho a usar las vías de tránsito; dicha cantidad es una contribución para el mantenimiento de las mismas.

2.2.2 Caminos desde el punto de vista socio-económico.

Están clasificados en función de la utilidad que puedan dar al país, así tenemos:

a) Caminos de Función Social.

Son aquellos que se hace necesario construir con el fin de incorporar al desarrollo nacional a los núcleos sociales que han permanecido marginados por falta de comunicación. La evaluación de este tipo de caminos se realiza por el "Método de Índice de Servicio", el cual consiste en hacer un análisis del costo de la obra por habitante servido que se calcule, dividiendo el costo total de la obra entre el número de personas beneficiadas en la zona de influencia del camino. Así tenemos:

$$\text{Índice de Servicio} = \frac{\text{Costo total de la obra}}{\text{Número de personas beneficiadas}}$$

El cociente menor nos dirá, cual es la obra que tiene prioridad sobre los demás; por lo tanto, ordenando los cocientes progresivamente, conoceremos cuales son las obras que deben realizarse primero.

b) Caminos para el desarrollo.

Son aquellos que se construyen para provocar el desarrollo de las zonas con riqueza potencial, es decir, propician el auge agrícola, ganadero, pesquero, comercial, industrial y turístico de la zona de influencia. La evaluación de este tipo de caminos se realiza por el "Método de Índice de Productividad", que consiste en estimar valores de los costos de la producción de la zona de influencia durante un período de tiempo, generalmente 5 años, y dividirlo entre el monto de la inversión en el camino, obteniéndose de esta manera un índice que sirve como comparación para las distintas obras entre sí. Así tenemos:

$$\text{Índice de Productividad} = \frac{\text{Valor de costo de Producción de 5 Años}}{\text{Monto de La Inversión en el camino}}$$

c) Caminos en zonas desarrolladas.

Se construyen para comunicar de una manera directa, los puntos que han alcanzado mayor desarrollo y en los que ya se cuenta con caminos, pero con un alto tránsito que lo hace inoperante, estos caminos ocasionan un ahorro en las distancias de recorrido y costos de operación. El nivel de servicio debe ser mayor que el del resto de los caminos, por lo que la operación del vehículo es más segura y cómoda.

En el país, estos caminos están constituidos por las llamadas autopistas, que en general son caminos de cuota. La evaluación de este tipo de caminos se realiza por el "Método de Índice de Rentabilidad", que consiste en determinar los ahorros (beneficios) que se tendrán al utilizarse la nueva obra y dividirlos entre el costo total de la misma; los ahorros pueden ser de gasolina, lubricantes, llantas, horas-hombre en la distancia de recorrido, e.t.c., y otras menos tangibles como la comodidad y la seguridad que si bien no se pueden cuantificar de una manera directa, si podemos darnos una idea de la reducción de accidentes y por ende del ahorro que esto implica en los bienes materiales, así como las reducciones de los muertos y heridos. Así tenemos:

$$\text{Índice de rentabilidad} = \frac{\text{Beneficios Totales (Ahorros)}}{\text{Costo Total de la Obra}}$$

El índice de rentabilidad nos dice si debe construirse o no el camino, si el resultado del cociente es mayor que la unidad, nos indica que el camino, sí debe construirse, pero si es menor, indica que la inversión no es rentable, aquellas cuyo índice es mayor tendrán una mayor prioridad y los de menor se construirán después.

2.2.3 Caminos desde el punto de vista técnico.

Son aquellos que están en función del número y tipo de vehículos que lo van a operar en el horizonte de proyecto. Dependiendo de estos parámetros encontramos las normas de proyecto a estos caminos, así tenemos:

a) Camino tipo "A".

- 1) Tipo "A₁", para un Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) de 3,000 a 5,000 vehículos.
- 2) Tipo "A₂", para un TDPA de 5,000 a 20,000 vehículos.

b) Camino Tipo "B".

Para un TDPA de 1,500 a 3,000 vehículos.

c) Camino Tipo "C".

Para un TDPA de 500 a 1,500 vehículos.

d) Camino Tipo "D".

Para un TDPA de 100 a 500 vehículos.

e) Camino Tipo "E".

Para un TDPA de hasta 100 vehículos.

2.3 RECOMENDACIONES DE LA S.C.T. PARA LA PLANIFICACIÓN.

Las normas de la S.C.T. recomiendan para la planificación (planeación), lo siguiente:

1.- Para la selección del tipo de carretera con fines de proyecto, se deberá tomar en cuenta lo siguiente:

- a) Con base en el TDPA para el horizonte de proyecto, el cual no será mayor de 20 años, se adoptará uno de los tipos de carreteras establecidos en el inciso 2.2.3 de este capítulo.
- b) Cuando el TDPA estimado para el horizonte de proyecto, sea similar o coincida con alguno de los límites establecidos para clasificar los diferentes tipos de carreteras y se presente en consecuencia un caso de frontera. Se deberá seleccionar el tipo de carretera de rango inferior.
- c) En algunos casos de frontera y cuando las condiciones particulares lo ameriten, para decidir el tipo de carretera, es recomendable efectuar evaluaciones operacionales y económicas que contemplen tanto los costos de construcción de la obra, como los correspondientes a la operación y conservación de la misma. Eventualmente se podrán considerar estrategias de construcción de tipo evolutivo, contemplando la posibilidad de pasar de un tipo de carretera a otro de rango superior.

2.- Para la determinación de las características de la carretera, dentro de los tipos definidos en el inciso 2.2.3 de este capítulo se observará lo siguiente:

- a) En lo que se refiere a la configuración del terreno, conviene clasificarlo como sigue:
 - a.1) **TERRENO TIPO PLANO.** Aquel cuyo perfil acusa pendientes longitudinales uniformes y generalmente de corta magnitud, con pendiente transversal escasa o nula.
 - a.2) **TERRENO TIPO LOMERIO.** Aquel cuyo perfil longitudinal presenta en sucesión climas y depresiones de cierta magnitud, con pendiente transversal no mayor de 45%.

- a.3) **TERRENO TIPO MONTAÑOSO.** Aquel que tiene pendientes transversales mayores de 45%, caracterizado por accidentes topográficos notables.
- b) La clasificación del terreno, se definirá no solamente por la configuración topográfica general, sino por las características que el terreno impone a la carretera, tanto por lo que se refiere a su geometría, como a la magnitud de sus movimientos de tierra, como puede ser el caso de una carretera localizada en un paricaguas de zona montañosa en donde el terreno pudiera clasificarse como plano o lomerío.
- c) La velocidad de proyecto, se seleccionará de acuerdo a la severidad de las condiciones topográficas y a la función de la carretera.

Quando la magnitud de los volúmenes de tránsito lo ameriten, se requiere hacer análisis económicos para determinar la velocidad de proyecto óptima.

3.- Como mínimo las carreteras deberán proyectarse con la distancia de visibilidad de parada, o de encuentro para carretera tipo "E". Sin embargo, para carreteras de dos carriles, se procurará proyectar tramos con distancias de visibilidad de rebase.

CAPITULO III

ALINEAMIENTO HORIZONTAL

3.1 DEFINICIÓN.

El alineamiento horizontal es la proyección sobre un plano horizontal del eje de la subcorona de un camino.

3.2 ELEMENTOS QUE LO INTEGRAN.

Los elementos que integran el alineamiento horizontal son: las tangentes, las curvas circulares y las curvas de transición.

3.2.1 Tangentes.

Las tangentes son la proyección sobre un plano horizontal de las rectas que unen las curvas. Al punto de intersección de la prolongación de dos tangentes consecutivas se le denomina punto de inflexión y se le representa como **PI**, y al ángulo de deflexión formado por la prolongación de una tangente y la siguiente se le representa por Δ , y en relación al sentido del cadenamamiento pueden ser hacia la derecha o izquierda. Como las tangentes van unidas entre sí por curvas, la longitud de una tangente es la distancia comprendida entre el fin de la curva anterior y el principio de la siguiente. A cualquier punto preciso del alineamiento horizontal localizado en el terreno sobre una tangente se le denomina: punto sobre tangente y se le representa por **PST**.

La longitud máxima de una tangente está condicionada por la seguridad. Las tangentes largas son causa potencial de accidentes, debido a la somnolencia que produce al conductor mantener concentrada su atención en puntos fijos del camino durante mucho tiempo, o bien, por que favorecen a los deslumbramientos durante la noche; por tal razón, conviene limitar la longitud de las tangentes, proyectando en su lugar alineamientos ondulados con curvas de gran radio, la longitud más conveniente es de 15 km.

La longitud mínima de tangente entre dos curvas consecutivas está definida por la longitud necesaria para dar la transición de la sobreelevación a bombeo o viceversa.

3.2.2 Curvas circulares.

Las curvas circulares son los arcos de círculo que forman la proyección horizontal de las curvas empleadas para unir dos tangentes consecutivas; las curvas circulares pueden ser simples o compuestas, según se trate de un solo arco de círculo o de dos o más sucesivos, de diferente radio.

A) Curvas circulares simples.

Cuando dos tangentes están unidas entre sí por una sola curva circular, está se denomina curva simple. En el sentido del cadenamamiento, las curvas simples pueden ser hacia la izquierda o hacia la derecha.

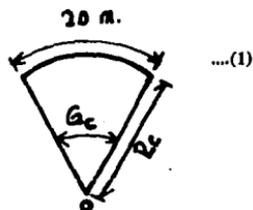
Las curvas circulares simples tienen como elementos característicos los mostrados en la Fig. (3.1), y se calculan como sigue:

1. Grado de curvatura.

Es el ángulo subtendido por un arco de 20 m. y se le representa con la letra G_c :

$$\frac{G_c}{20} = \frac{360^\circ}{2 \pi R_c}$$

$$G_c = \frac{1145.92}{R_c}$$



....(1)

El grado máximo de curvatura que puede tener una curva, es el que permite a un vehículo recorrer con seguridad la curva con la sobreelevación máxima a la velocidad de proyecto.

2. Radio de la curva.

Es el radio de la curva circular. Se simboliza como R_c de la ecuación (1) se tiene:

$$R_c = \frac{1145.92}{G_c}$$

....(2)

3. Angulo central.

Es el ángulo subtendido por la curva circular. Se simboliza como Δ_c . En curvas circulares simples es igual a la deflexión de las tangentes.

4. Longitud de la curva.

Es la longitud del arco entre el PC y el PT. Se le representa como l_c .

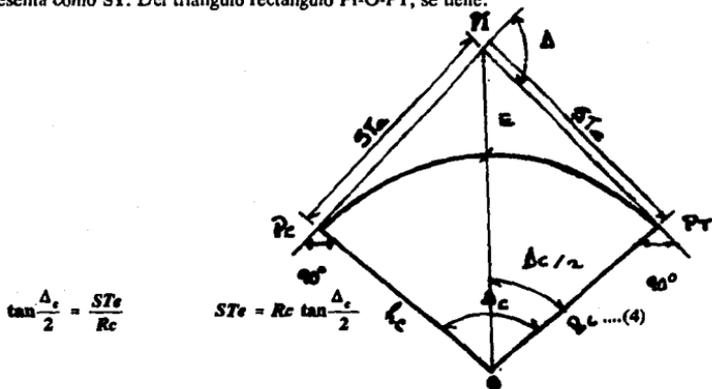
$$\frac{l_c}{2 \pi R_c} = \frac{\Delta_c}{360^\circ} \quad l_c = \frac{\pi \Delta_c R_c}{180^\circ}$$

Pero teniendo en cuenta la expresión (2) se tendrá:

$$I_s = 20 \frac{\Delta_s}{Gc} \quad \dots(3)$$

5. Subtangente.

Es la distancia entre el PI y el PC o PT, medida sobre la prolongación de las tangentes. Se representa como ST. Del triángulo rectángulo PI-O-PT, se tiene:



$$\tan \frac{\Delta_c}{2} = \frac{STc}{Rc}$$

$$STc = Rc \tan \frac{\Delta_c}{2}$$

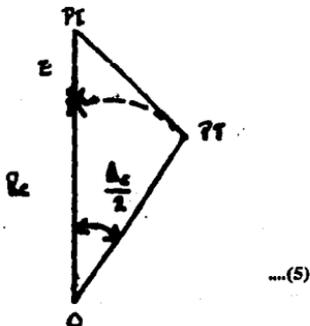
6. Externa.

Es la distancia mínima entre el PI y la curva. Se representa con la letra E. En el triángulo PI-O-PT se tiene:

$$\sec \frac{\Delta_c}{2} = \frac{Rc + E}{Rc}$$

$$E = Rc \sec \frac{\Delta_c}{2} - Rc$$

$$E = Rc \left(\sec \frac{\Delta_c}{2} - 1 \right)$$



... (5)

Debiéndose recordar que:

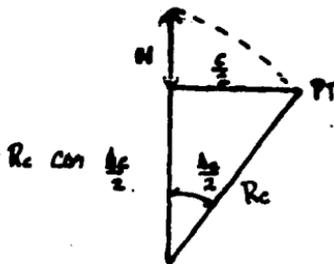
$$\sec \frac{\Delta c}{2} = \frac{1}{\cos \frac{\Delta c}{2}}$$

7. Ordenada media.

Es la longitud de la flecha en el punto medio de la curva. Se simboliza con la letra M. Del triángulo rectángulo PI-O-PT se tiene:

$$\cos \frac{\Delta c}{2} = \frac{\text{Cateto adyacente}}{Rc}$$

$$\text{Cateto adyacente} = Rc \cos \frac{\Delta c}{2}$$



$$M = Rc - Rc \cos \frac{\Delta c}{2} = Rc (1 - \cos \frac{\Delta c}{2}) = Rc \text{ Sen Ver } \frac{\Delta c}{2} \quad \dots(6)$$

8. Deflexión a un punto cualquiera de la curva.

Es el ángulo entre la prolongación de la tangente en PC y la tangente en el punto considerado. Se le representa como θ . Se puede establecer:

$$\frac{\theta}{l} = \frac{Gc}{2b} \quad \theta = \frac{Gc l}{2b} \quad \dots(7)$$

9. Cuerda.

Es la recta comprendida entre dos puntos de la curva. Se le denomina con la letra C. Si esos puntos son el PC y el PT, a la cuerda resultante se le denomina cuerda larga. En el triángulo PC-O-PSC.

$$C = 2 Rc \text{ Sen } \frac{\theta}{2} \quad \dots(8)$$

Para la cuerda larga:

$$CL = 2 R_c \operatorname{Sen} \frac{\Delta c}{2} \quad \dots (8')$$

10. Angulo de la cuerda.

Es el ángulo comprendido entre la prolongación de la tangente y la cuerda considerada. Se representa como ϕ . En el triángulo PC-O-PSC de la Figura (3.1).

$$\phi = \frac{\theta}{2}$$

y teniendo en cuenta la expresión (7).

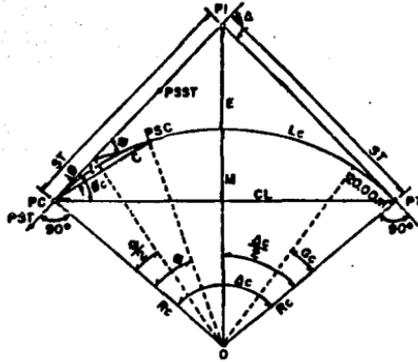
$$\phi = \frac{Gc l}{40} \quad \dots (9)$$

Para la cuerda larga:

$$\phi_c = \frac{Gc l_c}{40}$$

Para fines de trazo se considera que la cuerda C, tiene la misma longitud que el arco l. Para minimizar el error cometido al hacer esta consideración se toman:

- Cuerdas de 20 Mts. para $G \leq 8^\circ$
- Cuerdas de 10 Mts. para $8^\circ < G \leq 22^\circ$
- Cuerdas de 5 Mts. para $22^\circ < G \leq 62^\circ$



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

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

$$ST = Rc \operatorname{Tang.} \frac{\Delta c}{2}$$

$$E = Rc (\operatorname{Secante} \frac{\Delta c}{2} - 1)$$

$$M = Rc \operatorname{Sen} \operatorname{Ver} \frac{\Delta c}{2}$$

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

$$CL = 2 Rc \operatorname{Sen} \frac{\Delta c}{2}$$

$$l = \frac{300}{Gc}$$

$$Lc = \frac{5730 \Delta c}{Gc}$$

FIG. 3.1 ELEMENTOS DE LA CURVA CIRCULAR SIMPLE

B) Curvas circulares compuestas.

Son aquellas que están formadas por dos o más curvas circulares simples del mismo sentido y de diferente radio, o de diferente sentido y cualquier radio, pero siempre con un punto de tangencia común entre dos consecutivas. Cuando son del mismo sentido se llaman compuestas directas y cuando son de sentido contrario, compuestas inversas.

En caminos abiertos debe evitarse este tipo de curvas, porque introducen cambios de curvatura peligrosos; sin embargo, en intersecciones pueden emplearse siempre y cuando la relación entre dos radios consecutivos no sobre pase la cantidad de 2.00 y se resuelva satisfactoriamente la transición de la sobreelevación.

3.2.3 Curvas de transición.

Cuando un vehículo pasa de un tramo en tangente a otro en curva circular, requiere hacerlo en forma gradual, tanto por lo que se refiere al cambio de dirección como a la sobreelevación y a la ampliación necesarias. Para lograr este cambio gradual se usan las curvas de transición.

Se definirá aquí como curva de transición a la que liga una tangente con una curva circular (en el alineamiento horizontal), teniendo como característica principal, que en su longitud se efectúa, de manera continua, el cambio en el valor del radio de curvatura, desde infinito para la tangente hasta el que corresponde para la curva circular.

La aceleración centrífuga de un vehículo que se mueve a velocidad uniforme V , vale:

$$\frac{V^2}{R}$$

Para este caso, la aceleración varía de manera continua desde cero para la tangente hasta:

$$\frac{V^2}{Rc}$$

para la curva circular de radio Rc . La curva de transición debe proyectarse de manera que la variación de la curvatura y, por lo tanto, la variación de la aceleración centrífuga, sean constantes a lo largo de ella. Si la longitud de la curva de transición es l , la variación de la aceleración centrífuga por unidad de longitud vale:

$$\frac{V^2}{Rc \cdot l}$$

en un punto cualquiera de la curva, situado a una distancia l del origen de la transición, la aceleración centrífuga valdrá:

$$\frac{v^2 l}{Rc l_e}$$

por otra parte, si la curvatura en el punto considerado es $1/R$, la aceleración centrífuga en ese mismo punto valdrá:

$$\frac{v^2}{R}$$

lo cual:

$$\frac{v^2 l}{Rc l_e} = \frac{v^2}{R}$$

y simplificando:

$$Rl = Rc l_e$$

pero:

$$Rc l_e = K^2$$

en donde K es una magnitud constante, ya que Rc y l_e también lo son.

Entonces:

$$Rl = K^2 \quad \dots(10)$$

La expresión anterior es la ecuación de la curva conocida como clotoide o espiral de Euler, que cumple con la condición de que el producto del radio y la longitud a un punto cualquiera es constante. Tiene la propiedad de que cuando aumenta o reduce su parámetro K , todas las medidas lineales cambian en la misma proporción, permaneciendo los elementos que determinan su forma sin cambio alguno; lo que significa que todas las clotoides tienen la misma forma, pero difieren entre sí por su longitud.

Como la clotoide de curvatura $1/R$ es proporcional a su longitud, se tiene en ella a la curva más apropiada para efectuar transiciones.

A) Ecuaciones de la clotoide o espiral de transición.

Por definición la clotoide es una curva tal que los radios de curvatura de cada uno de sus puntos están en razón inversa a los desarrollos de sus respectivos arcos, siendo K^2 la constante de proporcionalidad. Esto es:

$$R = \frac{K^2}{l}$$

de la Figura (3.2) se observa que:

$$R \, d\theta = dl$$

se sigue que:

$$d\theta = \frac{dl}{R}$$

sustituyendo el valor de R e integrando:

$$\int_0^{\theta} d\theta = \int_0^l \frac{dl}{\frac{K^2}{l}} \quad \theta = \frac{l^2}{2K^2} \quad \dots(11)$$

y teniendo en cuenta la expresión (10):

$$\theta = \frac{l^2}{2 R_c l_c} \quad \dots(11')$$

En la expresión anterior el valor de θ está expresado en radianes; si lo expresamos en grados y tomamos en cuenta la igualdad (2) se tendrá:

$$\theta = \frac{l^2}{2 R_c l_c} \cdot \frac{180}{\pi} = \frac{l^2}{2 \left(\frac{1145.92}{Gc} \right) l_c} \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$\theta = \frac{Gc \, l^2}{40 \, l_c} \quad \dots(11'')$$

Por otra parte:

$$\begin{aligned} dx &= dl \cos \theta \\ dy &= dl \sin \theta \end{aligned}$$

Desarrollando en serie $\sin \theta$ y $\cos \theta$ y sustituyendo:

$$dx = dl \left(1 - \frac{\theta^2}{2!} + \frac{\theta^4}{4!} - \frac{\theta^6}{6!} + \dots \right)$$

$$dy = dl \left(\theta - \frac{\theta^3}{3!} + \frac{\theta^5}{5!} - \frac{\theta^7}{7!} + \dots \right)$$

Teniendo en cuenta que:

$$\theta = \frac{l^2}{2 R^2} = \frac{l^2}{C}$$

e integrando:

$$x = \int_0^l \left(1 - \frac{l^4}{C^2 2!} + \frac{l^8}{C^4 4!} - \frac{l^{12}}{C^6 6!} + \dots \right) dl$$

$$x = l \left(1 - \frac{l^4}{5 C^2 2!} + \frac{l^8}{9 C^4 4!} - \frac{l^{12}}{13 C^6 6!} + \dots \right)$$

$$y = \int_0^l \left(\frac{l^2}{C} - \frac{l^6}{C^3 3!} + \frac{l^{10}}{C^5 5!} - \frac{l^{14}}{C^7 7!} + \dots \right) dl$$

$$y = l \left(\frac{l^2}{3 C} - \frac{l^6}{7 C^3 3!} + \frac{l^{10}}{11 C^5 5!} - \frac{l^{14}}{15 C^7 7!} + \dots \right)$$

expresando los resultados anteriores en función de θ :

$$\theta = \frac{I^2}{C}$$

en el límite $C=1$

$$x = I \left(1 - \frac{\theta^2}{5 x 2!} + \frac{\theta^4}{9 x 4!} - \frac{\theta^6}{13 x 6!} + \dots \right)$$

$$y = I \left(\frac{\theta}{3} - \frac{\theta^3}{7 x 3!} - \frac{\theta^5}{11 x 5!} - \frac{\theta^7}{15 x 7!} + \dots \right) \quad \dots(12)$$

En las expresiones anteriores θ está en radianes; si lo expresamos en grados, entonces queda:

$$x = \frac{I}{100} [100 - 0.304617 \theta^2 (10)^{-2} + 0.429591 \theta^4 (10)^{-7} - 0.301987 \theta^6 (10)^{-12}]$$

$$y = \frac{I}{100} [0.581776 \theta - 0.126585 \theta^3 (10)^{-4} + 0.122691 \theta^5 (10)^{-9} - 0.652559 \theta^7 (10)^{-14}]$$

....(12')

De la Fig.(3.2), puede deducirse también que:

$$C = \sqrt{x^2 + y^2} = y \operatorname{Csc} \phi' = x \operatorname{Sec} \phi' \quad \dots(13)$$

$$T_1 = x - y \operatorname{Cot} \theta \quad \dots(14)$$

$$T_2 = y \operatorname{Csc} \theta \quad \dots(15)$$

También:

$$\phi' = \operatorname{ang} \operatorname{Tan} \frac{y}{x} \quad \dots(16)$$

En la practica se ha llegado a que:

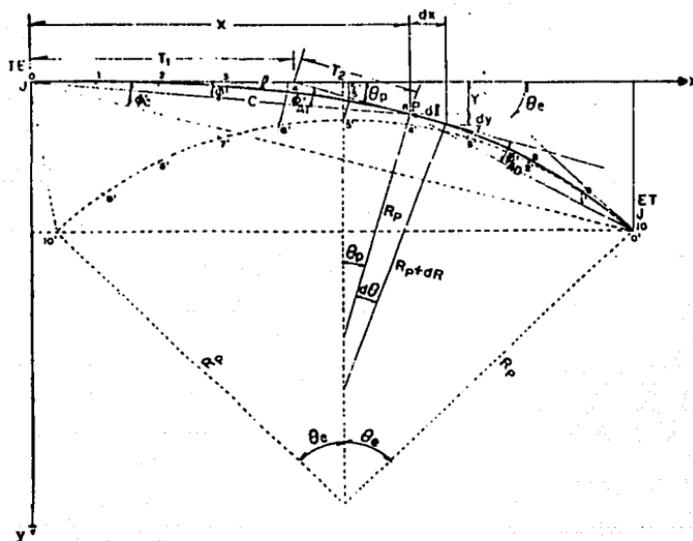
$$\phi' = \frac{\theta}{3} - z \quad \dots(16')$$

En donde ϕ' y θ están expresados en grados y Z es una corrección dada por la expresión:

$$Z = 3.1 \cdot 10^{-3} \theta^3 + 2.3 \cdot 10^{-8} \theta^4 \quad \dots(17)$$

En donde θ está expresada en grados y Z en segundos.

Para valores de θ menores de 16° el valor de Z es tan pequeño que suele despreciarse.



- P Punto cualquiera sobre una espiral
 o Punto en donde se inicia la espiral
 io Punto en donde termina la espiral
 θ_e Deflexión total de la espiral
 θ_p Deflexión de la espiral en un punto P
 ϕ_c Angulo de la cuerda larga de la espiral
 ϕ' Angulo de la cuerda a un punto P
 ϕ_{AT} Angulo respecto a la tangente en P, de una cuerda anterior que subtiende un arco de espiral JP, de longitud l_{JP}
 ϕ'_{AD} Angulo respecto a la tangente en P, de una cuerda posterior que subtiende un arco de espiral JP, de longitud l_{JP}
 l Longitud de la espiral del origen al punto P
 C Cuerda de la espiral desde el origen al punto P
 R_p Radio de curvatura de la espiral en el punto P
 X, Y Coordenadas del punto P
 T_1 Tangente larga al punto P
 T_2 Tangente corta al punto P

FIGURA 3.2 ELEMENTOS DE LA ESPIRAL O CLOTOIDE

B) Curva circular simple con espirales de transición.

Las curvas circulares con espirales de transición constan de una espiral de entrada, una curva circular simple y una espiral de salida. Cuando las espirales de entrada y salida tienen la misma longitud, la curva es simétrica, en caso contrario es asimétrica. En la Fig. (3.3), se muestran los elementos de una curva simétrica, los que se calculan como sigue:

1. Grado de curvatura de la curva circular.

Es el ángulo que subtende un arco de 20 Mts. en la curva circular.

$$G_c = \frac{1145.92}{R_c} \quad \dots(1)$$

En donde R_c es el radio de la curva circular.

2. Longitud de la espiral de transición.

Es la longitud medida sobre la curva entre el TE y el EC, o del CE al ET. Las transiciones tienen por objeto permitir un cambio continuo en la aceleración centrífuga de un vehículo, así, como de la sobreelevación y la ampliación. Este cambio será función de la longitud de la espiral, siendo más repentino conforme esta longitud sea más corta.

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

$$l_{e_{\min}} = 8 V S$$

En donde:

- l_{\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 (A-4), la longitud mínima de la espiral calculada con esta fórmula deberá multiplicarse por uno punto siete (1.7).

3. Parámetro de la espiral.

Es la magnitud que define las dimensiones de la espiral.

$$K = \sqrt{R_c l_e} \quad \dots(10)$$

4. Deflexión de la curva.

Es el ángulo comprendido entre las normales a las tangentes en TE y ET. Su valor es igual a la deflexión de las tangentes y se representa con Δ .

5. Deflexión a un punto cualquiera de la espiral.

Es el ángulo comprendido entre la tangente en TE o ET y la tangente en un punto cualquiera PSE.

$$\theta = \frac{l^2}{2 R^2} \quad \dots(11)$$

si $l = l_s$; $\theta = \theta_s$; y por lo tanto:

$$2 R^2 = \frac{l_s^2}{\theta_s}$$

y sustituyendo en (11):

$$\theta = \left(\frac{l}{l_s}\right)^2 \theta_s \quad \dots(18)$$

6. Deflexión de la espiral.

Es el ángulo comprendido entre las tangentes a la espiral en sus puntos extremos.

Nuevamente si $l = l_s$; $\theta = \theta_s$; y de la expresión (11):

$$\theta_s = \frac{l_s^2}{2 R_c l_s} = \frac{l_s}{2 R_c} \quad \dots(19)$$

Con la expresión anterior se obtiene θ_s en radianes; si la expresamos en grados y tomamos en cuenta que:

$$R_c = \frac{1145.92}{G_c}$$

se tendrá:

$$\theta_s = \frac{I_s}{2 \cdot \left(\frac{1145.92}{Gc}\right)} \cdot \frac{180}{\Pi}$$

$$\theta_s = \frac{Gc I_s}{40} \quad \dots(20)$$

7. Longitud total de la curva.

Es la suma de las longitudes de las dos espirales de transición y de la longitud de curva circular. Para curvas simétricas, se tiene:

$$L = 2 I_s + I_c$$

teniendo en cuenta las expresiones (3) y (20):

$$L = 2 \left(\frac{40 \theta_s}{Gc}\right) + \frac{20 \Delta_c}{Gc} = \frac{80 \theta_s + 20 \Delta_c}{Gc}$$

pero:

$$\Delta_c = \Delta - 2 \theta_s$$

$$L = \frac{80 \theta_s + 20 \Delta - 40 \theta_s}{Gc}$$

$$L = \frac{40 \theta_s + 20 \Delta}{Gc} \quad \dots(21)$$

y teniendo en cuenta la expresión (20):

$$L = I_s + \frac{20 \Delta}{G} \quad \dots(22)$$

Lo cual indica que al insertar una curva espiral, se incrementa la longitud total de la curva en I_s .

8. Coordenadas del EC de la curva.

De las ecuaciones (12):

$$X_c = l_c \left(1 - \frac{\theta_c^2}{10} \right)$$

$$Y_c = l_c \left[\frac{\theta_c}{3} + \frac{(\theta_c)^3}{42} \right] \quad \dots(23)$$

En donde θ_c está en radianes. Si expresamos a θ_c en grados, de la expresión (12') se tendrá:

$$X_c = \frac{l_c}{100} (100 - 0.00305 \theta_c^2)$$

$$Y_c = \frac{l_c}{100} (0.582 \theta_c - 0.0000126 \theta_c^3) \quad \dots(23')$$

9. Coordenadas del PC de la curva circular.

De la Fig.(3.3):

$$P = Y_c - R_c \text{ Sen } \theta_c,$$

$$K = X_c - R_c \text{ Sen } \theta_c, \quad \dots(24)$$

10. Subtangente.

Es la distancia entre el PI y el TE o ET de la curva, medida sobre la prolongación de la tangente, y se denomina STe. De la Fig. (3.3).

$$STe = K + (R_c + P) \text{ Tan } \frac{\Delta}{2} \quad \dots(25)$$

11. Externo.

Es la distancia entre el PI y la curva y se le denomina Ec. De la Fig.(3.3):

$$Ec = P + (Rc + P) \operatorname{Sec} \frac{\Delta}{2} - (Rc + P)$$

$$Ec = (Rc + P) \operatorname{Sec} \frac{\Delta}{2} - Rc \quad \dots(26)$$

12. Cuerda larga.

Es la recta que une el TE y EC o el ET y el CE y se llama CLc. De la ecuación (13):

$$CLc = \sqrt{X_c^2 + Y_c^2} \quad \dots(27)$$

13. Angulo de la cuerda larga.

Es el ángulo comprendido entre la tangente en TE y la cuerda larga y se simboliza como ϕ'_c , de las ecuaciones (16 y 17):

$$\phi'_c = \frac{\theta_c}{3} - Z \quad \dots(28)$$

En donde:

$$Z = 3.1 \cdot 10^{-3} \theta_c^3 + 2.3 \cdot 10^{-6} \theta_c^5$$

para valores de θ_c menores de 16° , el valor de Z es tan pequeño que suele despreciarse.

14. Tangente larga.

Es el tramo de subtangente comprendido entre el TE o el ET y la intersección con la tangente a EC o CE; se le llama TL. De (14):

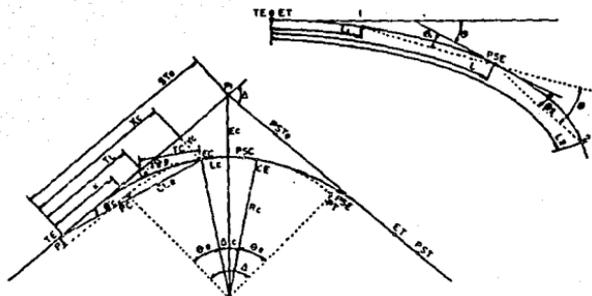
$$TL = X_c - Y_c \operatorname{Cot} \theta_c \quad \dots(29)$$

15. Tangente corta.

Es el tramo de la tangente a **CE** o **EC** comprendida entre uno de estos puntos y la intersección con la subtangente correspondiente; se representa como **TC**.

De la ecuación (15):

$$TC = Yc \operatorname{Cte} \theta, \quad \dots(30)$$



- PI Punto de intersección de las tangentes
 TE Punto donde termina la tangente y empieza la espiral
 EC Punto donde termina la espiral y empieza la curva circular
 CE Punto donde termina la curva circular y empieza la espiral
 ET Punto donde termina la espiral y empieza la tangente
 PSC Punto cualquiera sobre la curva circular
 PSE Punto cualquiera sobre la espiral
 PST Punto cualquiera sobre las tangentes
 PSTa Punto cualquiera sobre las subtangentes

- Δ Ángulo de deflexión de las tangentes
 Δ_c Ángulo central de la curva circular
 θ_a Deflexión de la espiral en el EC o CE
 ω Dirección de la espiral en un PSE
 θ'_c Ángulo de la cuerda larga
 θ_i Ángulo entre la tang. a un PSE y una cuerda atrás
 θ_b Ángulo entre la tang. a un PSE y una cuerda adelante
 θ Ángulo entre dos cuerdas de la espiral
 X_c Coordenadas del EC o del CE
 Y_c Coordenadas del PC o del PT (Desplazamiento)
 p Subtangente
 TL Tangente larga
 TC Tangente corta
 CLa Cuerda larga de la espiral
 Ec Esterno
 Rc Radio de la curva circular
 L Longitud de la espiral a un PSE
 Le Longitud de la espiral al EC o CE
 Lc Longitud de la curva circular
 LT Longitud total de la curva circular con espirales

$$\Delta_c = \Delta - 2\theta_a$$

$$\theta_a = \theta_c L_e / 40$$

$$\omega = \theta_c (L_e / L_c)^2 \theta_c$$

$$\omega'_c = \theta_c \omega / 2$$

$$\theta_i = \theta_c (L_c - L_e) / 2 + \theta_c (L_e / 3L_c)^2$$

$$\theta_b = \theta_c (L_c - L_e) / 2 + \theta_c (L_e / 3L_c)^2$$

$$\theta = \theta_c (L_c - L_e) / 2 + \theta_c (L_e / 3L_c)^2$$

$$X_c = (L_c / 100) (100 - 0.00309 \theta_c^2)$$

$$Y_c = (L_c / 100) (100.582 \theta_c^2 - 0.0000126 \theta_c^4)$$

$$p = X_c - R_c \cos \theta_c$$

$$STa = X_c - R_c \cos \theta_c$$

$$TL = X_c - Y_c \cot \theta_c$$

$$TC = Y_c \csc \theta_c$$

$$CLa = (X_c^2 + Y_c^2)^{1/2}$$

$$Ec = (R_c \sin \theta_c) \sec(\theta_c / 2) - R_c$$

$$Rc = 1145.92 / G_c$$

$$Le = BV5(\text{mínimo})$$

$$Lc = 20 \Delta_c / G_c$$

$$LT = Le + 20 \Delta_c / G_c$$

FIG. 3.3 ELEMENTOS DE LA CURVA CIRCULAR CON ESPIRALES.

3.3 CURVATURA MÁXIMA PARA UNA DEFLEXION Y VELOCIDADES DADAS.

Para determinados valores de la velocidad de proyecto, grado de curvatura y deflexión, ocurre que la suma de deflexiones de la espiral sobrepasa a la deflexión entre las tangentes traslapandose entonces las espirales. Como es inadmisibile que se traslapen las espirales de transición, habrá un valor de deflexión, abajo del cual no se podrán insertar espirales para una curva de grado dado, o inversamente habrá un valor del grado arriba del cual no se podrán insertar espirales cuando se tenga una cierta deflexión entre tangentes.

La condición necesaria y suficiente para que los espirales no se traslapen es:

$$\Delta_r \geq 2 \theta_r = \frac{G_e l_e}{20}$$

o sea :

$$\Delta_e \geq 0$$

3.4 DISTANCIA DE VISIBILIDAD EN CURVAS DEL ALINEAMIENTO HORIZONTAL.

Se puede definir como la longitud de camino que un conductor debe ver siempre delante de el, en condiciones atmosféricas y de tránsito favorable.

Tres son las distancias de visibilidad a considerar:

- De parada.
- De rebase.
- De encuentro.

3.4.1 Distancia de visibilidad de parada.

Se puede definir como:

La distancia mínima para que un conductor, circulando a la velocidad de proyecto, al ver un objeto de 15 cm., sobre el pavimento, pueda parar su vehículo antes de llegar a el.

La distancia de visibilidad de parada se obtiene con la expresión:

$$D_p = \frac{Vt}{3.6} + \frac{V^2}{254 f}$$

En donde:

- D_p = Distancia de visibilidad de parada, en metros.
 V = Velocidad de marcha, en km/h.
 t = Tiempo de reacción, en segundos.
 f = Coeficiente de fricción longitudinal.

En la tabla (3-A). Se indican los valores para proyecto de la distancia de visibilidad de parada que corresponden a velocidades de proyecto de 30 km/h. a 110 km/h.

VELOCIDAD DE PROYECTO km/h.	VELOCIDAD DE MARCHA km/h.	REACCIÓN		COEFICIENTE DE FRICCIÓN LONGITUDINAL	DISTANCIA DE FRENADO m.	DISTANCIA DE VISIBILIDAD	
		TIEMPO seg.	DISTANCIA m.			CALCULADA m.	PARA PROYECTO m.
30	28	2.5	19.44	0.400	7.72	27.16	30
40	37	2.5	25.00	0.380	14.18	39.87	40
50	46	2.5	31.94	0.360	23.14	55.08	55
60	55	2.5	38.19	0.340	35.03	73.22	75
70	63	2.5	43.75	0.325	48.08	91.87	95
80	71	2.5	49.30	0.310	64.02	113.32	115
90	79	2.5	54.86	0.305	80.58	135.42	135
100	86	2.5	59.72	0.300	97.06	156.78	155
110	92	2.5	63.89	0.295	112.96	178.85	175

TABLA 3-A DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA.

La distancia de visibilidad de parada es la más importante y es precisamente la que debe de respetarse a todo lo largo del camino, para una velocidad de proyecto y grado de curvatura dados. Para ello, cuando exista un obstáculo en el lado interior de la curva, la distancia "m" mínima que debe haber entre el y el eje del carril interior de la curva, estará dada por la expresión y la gráfica que aparecen en la Fig. (3.4).

3.4.2 Distancia de visibilidad de rebase.

La distancia de visibilidad de rebase. Es la distancia necesaria para que un vehículo rebase a otro sin que haya coalición con un vehículo que viene en sentido contrario.

Se determina con la expresión:

$$D_r = 4.5 V$$

En 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 (7-A), que se encuentra ubicada en la pág. 152.

3.4.3 Distancia de visibilidad de encuentro.

La distancia de visibilidad de encuentro se calcula con la expresión:

$$D_e = 2 D_p$$

En donde:

D_e = Distancia de visibilidad de encuentro, en metros.

D_p = Distancia de visibilidad de parada, en metros.

CAPITULO IV

ALINEAMIENTO VERTICAL

4.1 DEFINICIÓN.

El alineamiento vertical es la proyección sobre un plano vertical del desarrollo del eje de la subcorona. Al eje de la subcorona en el alineamiento vertical se le llama línea subrasante.

4.2 ELEMENTOS QUE LO INTEGRAN.

El alineamiento vertical se compone de tangentes y curvas verticales.

4.2.1 Tangentes.

Las tangentes se caracterizan por su longitud y su pendiente y están limitadas por dos curvas sucesivas. La longitud de una tangente es la distancia medida horizontalmente entre el fin de la curva anterior y el principio de la siguiente, se representa por T_v . La pendiente de la tangente es la relación entre el desnivel y la distancia horizontal entre dos puntos de la misma.

Al punto de intersección de dos tangentes consecutivas se le denomina punto de inflexión vertical y se le representa como **PIV**, y a la diferencia algebraica de pendientes en ese punto se le representa con la letra **A**.

A) Pendiente gobernadora.

Es la pendiente media que teóricamente puede darse a la línea subrasante para dominar un desnivel determinado, en función de las características del tránsito y la configuración del terreno; la mejor pendiente para cada caso, será aquella que al conjugar estos conceptos, permita obtener el menor costo de construcción, conservación y operación. Sirve de norma reguladora a la serie de pendientes que deban proyectar para ajustarse en lo posible al terreno.

B) Pendiente máxima.

Es la mayor pendiente que se permite en el proyecto. Queda determinada por el volumen y la composición del tránsito previsto y la configuración del terreno.

La pendiente máxima se empleara, cuando convenga desde el punto de vista económico, para salvar ciertos obstáculos locales tales como cantiles, fallas y zonas inestables, siempre que no se rebase la longitud crítica.

Los valores máximos determinados para la pendiente gobernadora y la pendiente máxima se indican en la tabla (4-A).

C) Pendiente mínima.

La pendiente mínima se fija para permitir el drenaje. En los terraplenes puede ser nula; en los cortes se recomienda 0.5% mínimo, para garantizar el buen funcionamiento de las cunetas; en ocasiones la longitud de los cortes y la precipitación pluvial en la zona podrá llevar a aumentar esa pendiente mínima.

D) Longitud crítica de una tangente del alineamiento vertical.

Es la longitud máxima en la que un camión cargado puede ascender sin reducir su velocidad más allá de un límite previamente establecido.

Los valores de la longitud crítica de las tangentes verticales con pendientes mayores que la gobernadora se obtendrán de la gráfica mostrada en la Figura. (4.1).

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

TABLA 4-A VALORES MÁXIMOS DE LAS PENDIENTES GOBERNADORA Y DE LAS PENDIENTES MÁXIMAS.

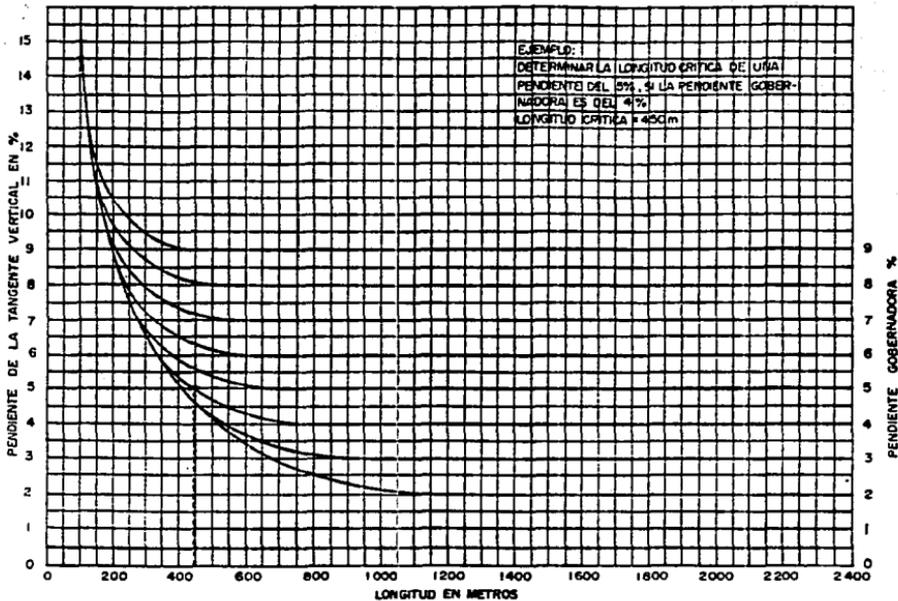


FIG. 4.1 LONGITUD CRITICA DE TANGENTES VERTICALES CON PENDIENTE MAYOR QUE LA GOBERNADORA.

4.2.2 Curvas verticales.

Las curvas verticales son las que enlazan dos tangentes consecutivas del alineamiento vertical, para que en su longitud se efectúe el paso gradual de la pendiente de la tangente de entrada a la de la tangente de salida. Deben dar por resultado un camino de operación segura y confortable, apariencia agradable y con características de drenaje adecuadas.

El punto común de una tangente y una curva vertical en el inicio de esta, se representa como PCV y como PTV, el punto común de la tangente y la curva al final de esta.

A) Forma de la curva.

La condición que se considera óptima para la conducción de un vehículo, que corresponde a un movimiento cuya componente horizontal de la velocidad sea constante. Esto es:

$$V_x = \frac{dx}{dt} = C_1$$

Por lo que la componente horizontal de la aceleración:

$$\partial_x = \frac{dV_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = 0$$

Si llamamos U a la velocidad del vehículo al entrar a la curva, se tendrá que para $t = 0$, $V_x = U_x$, por lo que:

$$U_x = \frac{dx}{dt}$$

Integrando: $X = U_x t + C_1$

Sí: $t = 0$, $X = 0$, y $C_1 = 0$; por lo que: $t = \frac{x}{U_x}$

Por otra parte:

$$\partial_y = \frac{dV_y}{dt} = -g$$

Despejando dV_y e integrando:

$$V_y = -gt + C_2$$

Si: $t = 0$, $V_y = U_y$ y $C_y = U_y$, por lo que:

$$V_y' = \frac{dV_y}{dt} = -gt + U_y$$

Integrando:

$$y = -\frac{g}{2}t^2 + U_y t$$

Como: $t = \frac{x}{U_x}$

$$y = -\frac{g}{2} \frac{x^2}{U_x^2} + \frac{U_y}{U_x} x$$

Pero: $\frac{U_y}{U_x} = P$

En donde **P** es la pendiente de la tangente de entrada y:

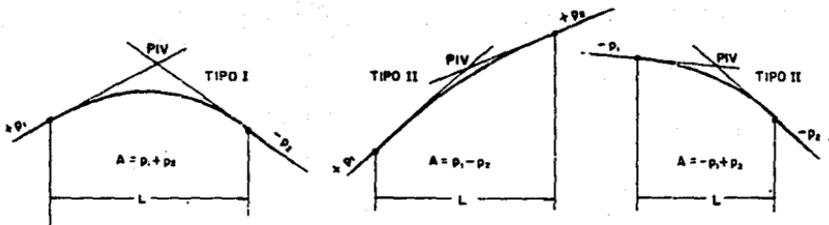
$$-\frac{g}{2} \frac{x^2}{U_x^2} = K$$

En donde **K** es una constante, por lo que:

$$y = K x^2 + Px$$

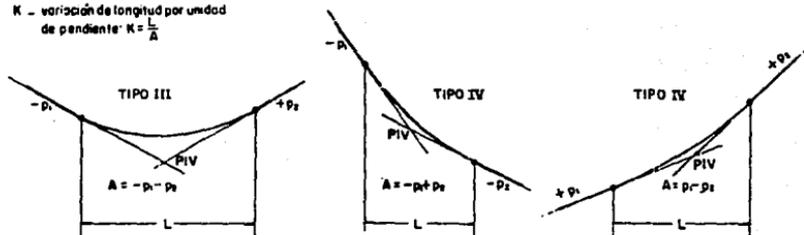
La expresión anterior corresponde a la ecuación de una parábola que es la recomendada para emplearse en las curvas verticales.

Las curvas verticales pueden tener concavidad hacia arriba o hacia abajo, recibiendo el nombre de curvas en columpio o en cresta respectivamente. En la Fig. (4.2), se ilustran los tipos representativos de curvas verticales en cresta y en columpio; en los tipos I y III las pendientes de las tangentes de entrada y de salida tienen signos contrarios, en los tipos II y IV tienen el mismo signo.



CURVAS VERTICALES EN CRESTA

- p_1 - pendiente de entrada
- p_2 - pendiente de salida
- A - diferencia de pendientes
- L - Longitud de la curva
- K - variación de longitud por unidad de pendiente: $K = \frac{L}{A}$



CURVAS VERTICALES EN COLUMPIO

FIGURA 4.2 TIPOS DE CURVAS VERTICALES.

B) Cálculo de los elementos de la curva parabólica.

Los elementos de una curva vertical son los mostrados en la Fig. (4.3), y se calculan como sigue:

1. Longitud.

Es la distancia medida horizontalmente entre el **PCV** y el **PTV**.

a) Longitud mínima.

La longitud mínima de las curvas verticales se calcula con la expresión:

$$L = K A$$

En donde:

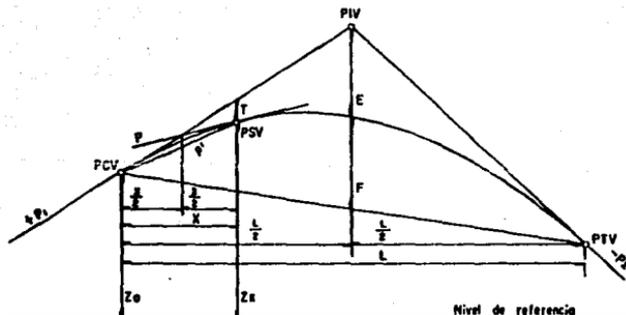
L = Longitud mínima de la curva vertical, en metros.

K = Parámetro de la curva cuyo valor mínimo se especifica en la tabla (4-B).

A = Diferencia algebraica de las pendientes de las tangentes verticales, en por ciento.

VELOCIDAD DE PROYECTO (km/h)	VALORES DEL PARÁMETRO K (m/%)			LONGITUD MÍNIMA ACEPTABLE (m)
	CURVAS EN CRESTA		CURVAS EN COLUMPIO	
	CARRETERA	TIPO	CARRETERA TIPO	
	E	D,C,B,A	E,D,C,B,A	
30	4	3	4	20
40	7	4	7	30
50	12	8	10	30
60	23	14	15	40
70	36	20	20	40
80	-	31	25	50
90	-	43	31	50
100	-	57	37	60
110	-	72	43	60

TABLA 4-B VALORES MÍNIMOS DEL PARÁMETRO K Y DE LA LONGITUD MÍNIMA ACEPTABLE DE LAS CURVAS VERTICALES.



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

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

L Longitud de la curva vertical, en metros

K Variación de longitud por unidad de pendiente (parámetro)

$$K = L/A$$

X Distancia del PCV a un PSV, en metros

P Pendiente en un PSV, en m/m

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

P' Pendiente de una cuerda, en m/m

$$P' = 1/2(P_1 + P_2)$$

E Externa, en metros

$$E = (AL)/8$$

F Flecha, en metros

$$F = E$$

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

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

Z_0 Elevación del PCV, en metros

Z_x Elevación de un PSV, en metros

$$Z_x = Z_0 + (P_1 - \frac{AX}{2L})X$$

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

$$Z_x = Z_0 + (20P_1 - \frac{10AX}{L})X$$

$$Z_x = Z_0 + 1 + 20P_1 - \frac{10A}{L}(2X-1)$$

FIGURA. 4.3 ELEMENTOS DE LA CURVA VERTICAL.

La longitud mínima de las curvas verticales en ningún caso deberá ser menor a lo indicado en la tabla (4-B), y a las mostradas en la figuras (4.4) y (4.5).

La longitud obtenida en las gráficas conviene redondearla a un número par inmediato superior de estaciones de 20 Mts.

b) Longitud máxima.

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

c) Visibilidad.

c.1) 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:

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

En donde:

- D** = Distancia de visibilidad, en metros.
- H** = Altura del ojo del conductor (1.14 m).
- h** = Altura del objeto (0.15 m).

c.2) Curvas verticales en columpio.

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

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

En donde:

- D** = Distancia de visibilidad, en metros.
- T** = Pendiente del haz luminoso de los faros (0.0175).
- H** = Altura de los faros (0.61 m).

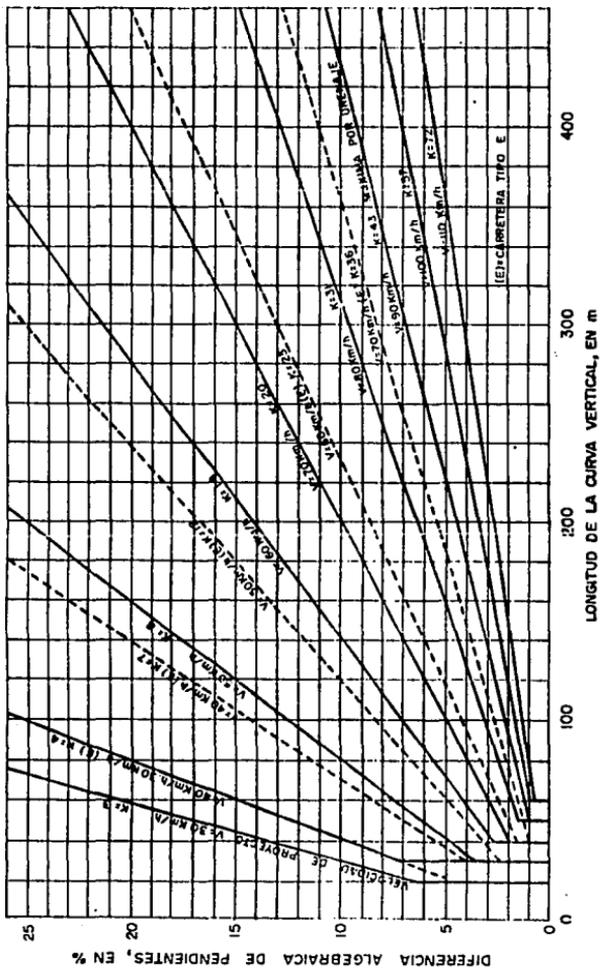


FIGURA. 4.4 LONGITUD MÍNIMA DE LAS CURVAS VERTICALES EN CRESTA.

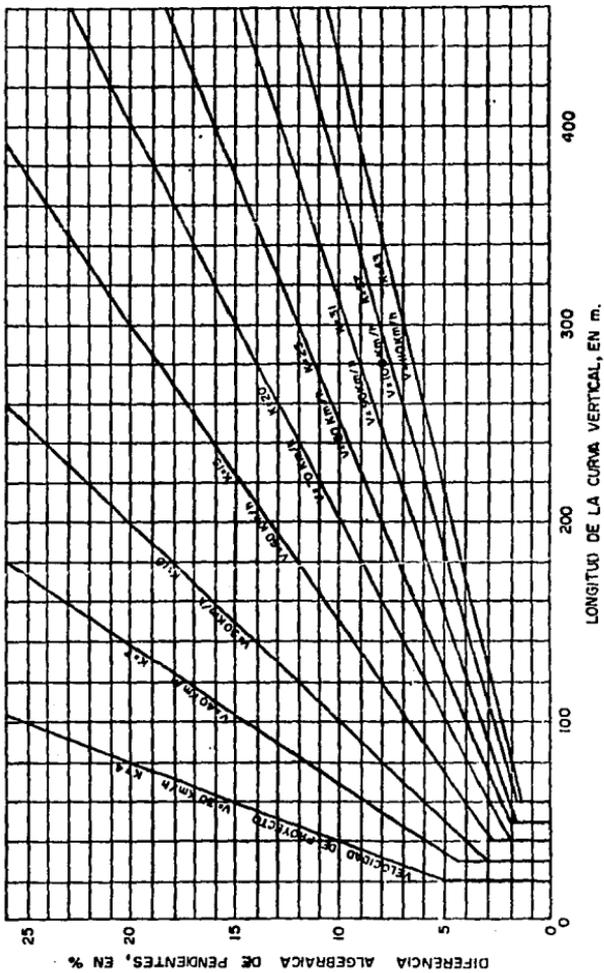


FIGURA 4.5 LONGITUD MÍNIMA DE LAS CURVAS VERTICALES EN COLOMBIA.

c.3) Requisitos de la visibilidad.

I) La distancia de visibilidad de parada deberá proporcionarse en todas las curvas verticales, este requisito esta tomando en cuenta en el valor del parámetro K especificado en la tabla (4-B).

II) La distancia de visibilidad de encuentro deberá proporcionarse en las curvas verticales en cresta de las carreteras tipo "E", tal como se especifica en la tabla (4-B).

III) La distancia de visibilidad de rebase solo se proporcionara cuando así lo indiquen las especificaciones de proyecto, y/o lo ordene la secretaría. Los valores del parámetro K, para satisfacer este requisito son:

VELOCIDAD DE PROYECTO EN km/h.	30	40	50	60	70	80	90	100	110
PARÁMETRO K PARA REBASE EN m/%.	18	32	50	73	99	130	164	203	245

2. Pendiente en un punto cualquiera de la curva.

Para determinar esta pendiente P , se parte de la propiedad de la parábola, de que la variación de la pendiente a lo largo de ella respecto a su longitud, es uniforme. Puede establecerse la siguiente proporción:

$$\frac{P_1 - P_2}{L} = \frac{P_1 - P}{l} \quad \frac{A}{L} = \frac{P_1 - P}{l}$$

$$P = P_1 - \frac{Al}{L}$$

En donde:

P , P_1 , P_2 y A están expresados en por ciento y l y L en metros.

3. Pendiente de la cuerda en un punto cualquiera.

Para determinar esta pendiente simbolizada como P' , se hace uso de la propiedad de la parábola de que la pendiente de una cuerda es el promedio de las pendientes de las tangentes a la parábola en los puntos extremos de la cuerda.

Esto es:

$$P' = \frac{P_1 + P}{2}$$

y teniendo en cuenta que:

$$P = P_1 - \frac{A l}{L}$$

$$P' = \frac{P_1}{2} + \frac{1}{2} \left(P_1 - \frac{A l}{L} \right)$$

De donde:

$$P' = P_1 - \frac{A l}{2L}$$

4. Desviación respecto a la tangente y la curva, llamada t .

aprovecha la propiedad de la parábola que establece:

$$t = a l^2$$

Pero en el PTV:

$$t' = a L^2$$

y:

$$t' = \frac{P_1 L}{200} + \frac{P_1 L}{200} = \frac{L}{200} (P_1 + P_1) = \frac{A L}{200}$$

$$\frac{A L}{200} = a L^2 \quad \text{de donde : } a = \frac{A}{200 L}$$

y finalmente:

$$t = \frac{A}{200 L} l^2$$

5. Externa.

Es la distancia entre el PIV y la curva, medida verticalmente; se le representa como E.

De la ecuación anterior:

$$E = \frac{A}{200} L \left[\frac{L}{2} \right]^2 \quad ; \quad E = \frac{A L}{800}$$

6. Flecha.

Es la distancia entre la curva y la cuerda PCV - PTV, medida verticalmente; se representa como f. De la Fig.(4.3).

$$f = \frac{P_2 L}{200} - E - C = \frac{P_2 L}{200} - \frac{A L}{800} - C$$

Siendo la distancia e la pendiente de la cuerda PTV - PCV multiplicada por L/2, o sea que aplicando la ecuación:

$$P' = P_1 - \frac{A I}{2 L}$$

Se tendrá:

$$e = - \left(\frac{P_1}{100} - \frac{A}{200} L \right) \frac{L}{2} = - \frac{P_1 L}{200} + \frac{A L}{400}$$

de donde:

$$f = \frac{P_2 L}{200} - \frac{A L}{800} + \frac{P_1 L}{200} - \frac{A L}{400} = \frac{P_1 + P_2}{200} L - \frac{3 A L}{800} = \left(\frac{1}{200} - \frac{3}{800} \right) A L$$

$$f = \frac{A L}{800}$$

Puede observarse que: $f = E$

7. Elevación de un punto cualquiera de la curva Z_n .

De la Figura (4.3).

$$Z_n = Z_0 + \frac{P_1 l}{100} - t$$

sustituyendo el valor de t y agrupando:

$$Z_n = Z_0 + \left(\frac{P_1}{100} - \frac{A l}{200 L} \right) l$$

y expresando a l y L en estaciones de 20 Mts., y llamando n y N a las longitudes l y L en estaciones, se tendrá:

$$Z_n = Z_0 + \left(\frac{P_1}{5} - \frac{A}{10 N} n \right) n$$

Esta expresión se emplea para calcular las elevaciones de la curva vertical. El cálculo con esta fórmula tiene la ventaja de simplicidad, pero la desventaja de que no es autocomprobante, puesto que un error en una elevación intermedia no se refleja en la elevación del punto final. Un artificio para hacer el cálculo comprobable es el siguiente:

Puede establecerse:

$$Z_{n-1} = Z_0 + \left[\frac{P_1}{5} - \frac{A}{10 N} (n-1) \right] (n-1)$$

restando esta ecuación de la ecuación para el punto n :

$$Z_n - Z_{n-1} = \left[\frac{P_1}{5} - \frac{A n}{10 N} \right] n - \left[\frac{P_1}{5} - \frac{A (n-1)}{10 N} \right] (n-1)$$

y efectuando operaciones y simplificando:

$$Z_n = Z_{n-1} + \frac{P_1}{5} - \frac{A}{10 N} (2n-1)$$

Expresión que permite hacer un cálculo autocomprobante, si bien algo más elaborado que con la expresión anterior.

CAPITULO V

SECCIONES TRANSVERSALES

5.1 DEFINICIÓN.

La sección transversal de un camino para un punto cualquiera del eje, 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.

5.2 ELEMENTOS QUE LO INTEGRAN.

Los elementos que integran y definen la sección transversal son:

- 1) La corona.
- 2) La subcorona.
- 3) Las cunetas y las contracunetas.
- 4) Los taludes y las partes complementarias.

Las secciones transversales típicas de una vía terrestre que pueden presentarse a lo largo del camino son tres: en terraplén (Fig. 5.1), en cajón (Fig. 5.2), y en balcón o mixta (Fig. 5.3).

5.2.1 Corona.

La corona es la superficie de camino terminado que queda comprendida entre los hombros del camino. En la sección transversal está representada por una línea. Los elementos que definen la corona son: la rasante, la pendiente transversal, la calzada y los acotamientos.

A) Rasante.

La rasante es la línea obtenida al proyectar sobre un plano vertical el desarrollo del eje de la corona del camino. En la sección transversal esta representada por un punto.

B) Pendiente transversal.

Es la pendiente que se le da a la corona normal a su eje. Según su relación con los elementos del alineamiento horizontal se representan tres casos.

- 1) Bombeo.
- 2) Sobreelevación.
- 3) Transición de bombeo a sobreelevación.

1.- Bombeo.

El bombeo es la pendiente que se le da a la corona en las tangentes del alineamiento horizontal hacia uno y otro lado de la rasante para evitar la acumulación del agua sobre el camino. Un bombeo apropiado será aquel que permita un drenaje correcto de la corona con la misma pendiente; a fin de que el conductor no tenga sensaciones de incomodidad o inseguridad. En la tabla (5-A), se dan valores guía para emplearse en el proyecto en función del tipo de superficie de rodamiento.

2.- Sobreelevación.

La sobreelevación es la pendiente que se da a la corona hacia el centro de la curva para contrarrestar parcialmente el efecto de la fuerza centrífuga de un vehículo en las curvas del alineamiento horizontal. La fricción entre la superficie de rodamiento y las llantas complementan esta acción. La sobreelevación también permite el drenaje de la corona.

La expresión para calcular la sobreelevación es:

$$S = 0.00785 \frac{V^2}{R} - \mu$$

En donde:

- S = Sobreelevación en valor absoluto.
- V = velocidad del vehículo, en km/h.
- R = Radio de la curva, en m.
- μ = Coeficiente de fricción lateral.

Con la expresión anterior puede calcularse la sobreelevación necesaria para que no deslice un vehículo que circule por la curva a una velocidad dada; sin embargo, algunos problemas relacionados con la construcción, operación y conservación de la carretera, han mostrado la necesidad de fijar una sobreelevación máxima, admitiéndose cuatro valores.

- $S_{\max} = 12\%$ Se usa en aquellos lugares en donde no existen heladas ni nevadas y el porcentaje de vehículos pesados en la corriente de tránsito es mínimo.
- $S_{\max} = 10\%$ Se usa en los lugares en donde sin haber nieve o hielo se tiene un gran porcentaje de vehículos pesados.
- $S_{\max} = 8\%$ Se usa en zonas en donde las heladas o nevadas son frecuentes.
- $S_{\max} = 6\%$ Se utiliza en las zonas urbanas.

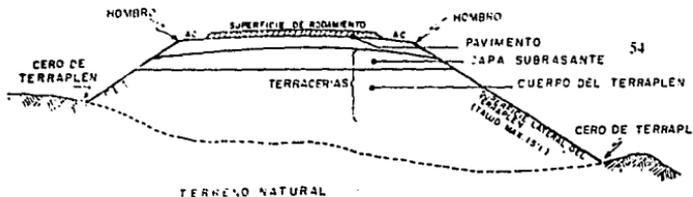


FIG. 51 SECCIÓN TRANSVERSAL TÍPICA EN TERRAPLEN, PARA CARRETERAS DE DOS CARRILES.

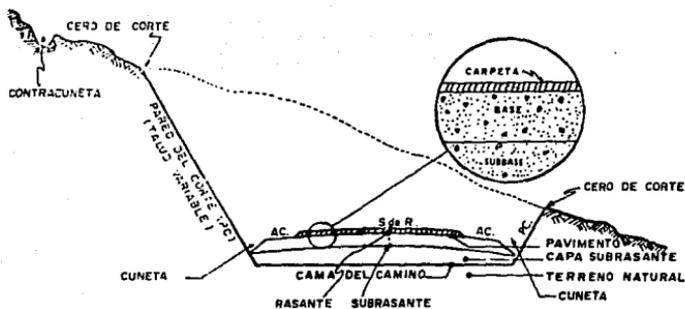


FIG. 52 SECCIÓN TRANSVERSAL TÍPICA EN CORTE, PARA CARRETERAS DE DOS CARRILES. SE MUESTRA UN DETALLE DE PAVIMENTO FLEXIBLE.

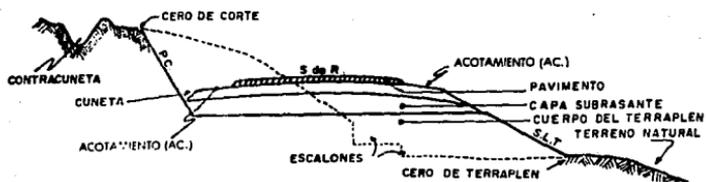


FIG. 53 SECCIÓN TRANSVERSAL TÍPICA MIXTA O EN BALCÓN, PARA CAMINOS DE DOS CARRILES.

TIPO DE SUPERFICIE DE RODAMIENTO		BOMBEO
MUY BUENA	Superficie de concreto hidráulico o asfáltico, tendido con extendedoras mecánicas.	0.010 a 0.020
BUENA	Superficie de mezcla asfáltica tendida con motoconformadoras. Carpeta de riego.	0.015 a 0.030
REGULAR A MALA	Superficie de tierra o grava.	0.020 a 0.040

TABLA 5-A BOMBEO DE LA CORONA.

En forma práctica se han obtenido los valores para el coeficiente de fricción (μ) en función de la velocidad como sigue:

V_{km}	30	40	50	60	70	80	90	100	110
μ	0.280	0.230	0.190	0.165	0.150	0.140	0.135	0.130	0.125

Una vez fijada la sobreelevación máxima, el grado máximo de curvatura queda definido para cada velocidad mediante la aplicación de la expresión anterior; de ella, expresando el radio en función del grado se tendrá:

$$G_{max} = \frac{146,000 (\mu + S_{max})}{V^2}$$

Donde:

- G_{max} = Grado máximo de curvatura.
- μ = Coeficiente de fricción lateral.
- S_{max} = Sobreelevación máxima de la curva, en m/m.
- V = Velocidad de proyecto, en km/h.

Sustituyendo en esta expresión los valores del coeficiente de fricción lateral (μ) dados anteriormente y con la sobreelevación máxima que se considere, pueden encontrarse los grados máximos de curvatura para cada velocidad de proyecto. En la tabla (5-B), se indican esos grados máximos.

VELOCIDAD DE PROYECTO	COEFICIENTE DE FRICCIÓN LATERAL	GRADO MÁXIMO CALCULADO PARA SOBREELEVACION DE				VALORES PARA PROYECTO							
		0.12	0.10	0.08	0.06	S = 0.12		S = 0.10		S = 0.08		S = 0.06	
						G	R	G	R	G	R	G	R
30	0.280	64.83	61.64	58.40	55.16	65	17.63	62	18.48	58	19.76	55	20.83
40	0.230	31.90	30.11	28.29	26.46	32	35.81	30	38.20	28	40.93	26	44.07
50	0.190	18.10	16.94	15.77	14.60	18	63.66	17	67.41	16	71.62	15	76.39
60	0.165	11.56	10.75	9.94	9.12	12	95.49	11	104.17	10	114.59	9	127.32
70	0.150	8.04	7.45	6.85	6.26	8	143.24	7.5	152.79	7	163.70	6.5	183.34
80	0.140	5.93	5.48	5.02	4.56	6	190.99	5.5	208.35	5	229.18	4.5	254.65
90	0.135	4.60	4.24	3.88	3.51	4.5	259.65	4.25	246.10	4	286.48	3.5	327.40
100	0.130	3.65	3.36	3.07	2.77	3.5	327.40	3.25	352.59	3	381.97	2.75	416.69
110	0.125	2.96	2.72	2.47	2.23	3.0	381.97	2.75	416.89	2.5	458.37	2.25	509.29

TABLA 5-B GRADOS MÁXIMOS DE CURVATURA.

A las curvas que tienen el grado de curvatura máximo, corresponderá la sobreelevación máxima. En las curvas con grado menor al máximo, se puede proporcionar la sobreelevación necesaria considerando el máximo coeficiente de fricción correspondiente a la velocidad de proyecto, lo que solo sería correcto para los vehículos que circulan a la velocidad de proyecto.

Para tener en cuenta las distintas combinaciones de grado y velocidad, se han planteado cuatro procedimientos para calcular la sobreelevación en curvas de grado menor al máximo, estos procedimientos son:

a) Calcular la sobreelevación proporcionalmente al grado de curvatura de manera que:

$$S = 0 \text{ para } G_c = 0 \text{ y } S = S_{\text{máx}} \text{ para } G_c = G_{c \text{ máx}}$$

o sea, que para un grado G cualquiera la sobreelevación valdrá:

$$S = \left(\frac{S_{\text{máx}}}{G_{\text{máx}}} \right) G_c$$

b) Calcular la sobreelevación de manera que un vehículo que circule a la velocidad de proyecto tenga toda la fuerza centrífuga contrarrestada por la sobreelevación; esto se hará hasta que se llegue a la sobreelevación máxima con un grado menor al máximo. Para curvas más agudas, o sea con un grado comprendido entre el acabado de citar y el máximo, se utilizará el coeficiente de fricción para que, junto con la sobreelevación máxima, contrarresten la fuerza centrífuga.

c) Calcular la sobreelevación en la misma forma que en el procedimiento anterior, pero considerando la velocidad de marcha en vez de la velocidad de proyecto.

d) Calcular la sobreelevación a través de una relación parabólica con valores comprendidos entre los obtenidos con el procedimiento a) y el procedimiento c).

3.- Transición del bombeo a la sobreelevación.

En el alineamiento horizontal, al pasar de una sección en tangente a otra en curva, se requiere cambiar la pendiente de la corona, desde el bombeo hasta la sobreelevación correspondiente a la curva; este cambio se hace gradualmente en toda la longitud de la espiral de transición, la longitud de la espiral debe ser tal, que permita hacer adecuadamente el cambio de pendientes transversales. Cuando la curva circular no tiene espirales de transición, la transición de la sobreelevación puede efectuarse sobre las tangentes contiguas a la curva; sin embargo, esta solución tiene el defecto de que al dar la sobreelevación en las tangentes, se obliga al conductor a mover el volante de su vehículo en sentido contrario al de la curva para no salirse del camino; esta maniobra puede ser molesta y peligrosa, por lo cual se recomienda para este caso, dar parte de la transición en las tangentes y parte sobre la curva circular. Se ha determinado empíricamente que las transiciones pueden introducirse dentro de la curva circular hasta en un cincuenta por ciento, siempre que por lo menos la tercera parte de la longitud de la curva quede con sobreelevación completa.

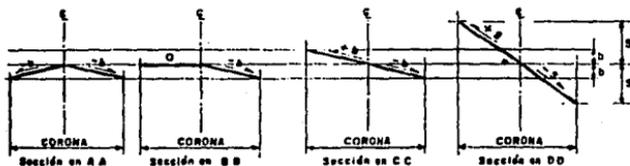
La consideración anterior limita la longitud mínima de la tangente entre dos curvas circulares consecutivas de sentido contrario que no tengan espirales de transición; esa longitud debe ser igual a la semisuma de las longitudes de transición de las dos curvas.

La longitud mínima de transición para dar la sobreelevación puede calcularse de la misma manera que una espiral de transición y numéricamente sus valores son iguales.

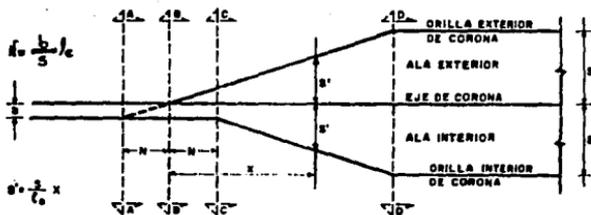
Para pasar del bombeo a la sobreelevación, se tienen tres procedimientos. El primero consiste en girar la sección sobre el eje de la corona; el segundo en girar la sección sobre la orilla interior de la corona y el tercero en girar la sección sobre la orilla exterior de la corona. El primer procedimiento es el más conveniente, ya que requiere menor longitud de transición y los desniveles relativos de los hombros son uniformes; los otros dos métodos tienen desventajas y sólo se emplean en casos especiales.

En la Figura (5.4-A), se ilustra el primer procedimiento, indicando la variación de la sobreelevación y las secciones transversales en la mitad de la curva; la otra mitad es simétrica. En la sección A, a una distancia N antes del punto donde comienza la transición, se tiene la sección normal en tangente; en esta sección se empieza a girar el ala exterior con centro en el eje de la corona, a fin de que en TE esté a nivel como se muestra en la sección B y el ala interior conserve su pendiente original de bombeo b ; a partir de ese punto se sigue girando el ala exterior hasta que se hace colineal con el ala interior, como se muestra en la sección C, a partir de la cual, se gira la sección completa hasta obtener la sobreelevación S de la curva en el EC. Se hace notar que cuando la curva no tiene espirales de transición y se introduce la transición de la sobreelevación dentro de la curva circular, la sobreelevación en el PC es menor que la requerida teóricamente; este aparente defecto se elimina al considerar que el vehículo no puede cambiar de radio de giro instantáneamente, por lo que en el PC tendrá necesariamente un radio de giro mayor y por lo tanto se requiere de una sobreelevación menor.

SECCIONES TRANSVERSALES



VARIACION DE LA SOBREELEVACION



LOCALIZACION RELATIVA DE LA CURVA CON ESPIRALES DE TRANSICION



LOCALIZACION RELATIVA DE LA CURVA CIRCULAR SIMPLE

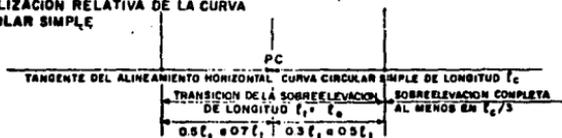


FIG. 5.4-A TRANSICIÓN DE LA SECCIÓN EN TANGENTE A LA SECCIÓN EN CURVA GIRANDO SOBRE EL EJE DE LA CORONA.

El segundo y tercer procedimiento se ilustran en la Figura (5.4-B); en ella se muestra la manera como se giran las alas del camino alrededor de una orilla de la corona.

En caminos divididos por una faja separadora central, el procedimiento para dar la sobreelevación depende de los anchos de la corona y de la faja; en general, pueden considerarse los siguientes procedimientos:

a) La sección total del camino se sobreleva girando sobre el eje de simetría, girando también la faja separadora central.

b) La faja separadora central se mantiene horizontal y cada ala se gira sobre la orilla contigua a la faja.

c) Las dos alas se giran independientemente, en torno al eje de cada una.

C) Calzada.

La calzada es la parte de la corona destinada al tránsito de vehículos y construida por uno o más carriles, entendiéndose por carril a la faja de ancho suficiente para la circulación de una fila de vehículos.

El ancho de calzada es variable a lo largo del camino y depende de la localización de la sección en el alineamiento horizontal y excepcionalmente en el vertical. Normalmente el ancho de calzada se refiere al ancho en tangente del alineamiento horizontal.

1.- Ancho de calzada en tangente.

Para determinar el ancho de calzada en tangente, debe establecerse el nivel de servicio deseado al final del plazo de previsión o en un determinado año de la vida del camino; con este dato y los estudios económicos correspondientes pueden determinarse el ancho y número de carriles, de manera que el volumen de tránsito en ese año no exceda el volumen correspondiente al nivel de servicio prefijado. Los anchos de carril usuales son: 2.75 m., 3.05 m., 3.35 m. y 3.65 m., normalmente se proyectan dos, cuatro o más carriles; sin embargo, cuando el volumen de tránsito es muy bajo, de 75 vehículos por día o menos, pueden proyectarse caminos de un carril para las dos direcciones de tránsito, con un ancho de 4.50 m.

En tangentes del alineamiento vertical con fuerte pendiente longitudinal, puede ser necesario ampliar la calzada mediante la adición de un carril para que por el transiten los vehículos lentos, mejorando así la capacidad y el nivel de servicio. El ancho y la longitud de ese carril se determina mediante un análisis de operación de los vehículos.

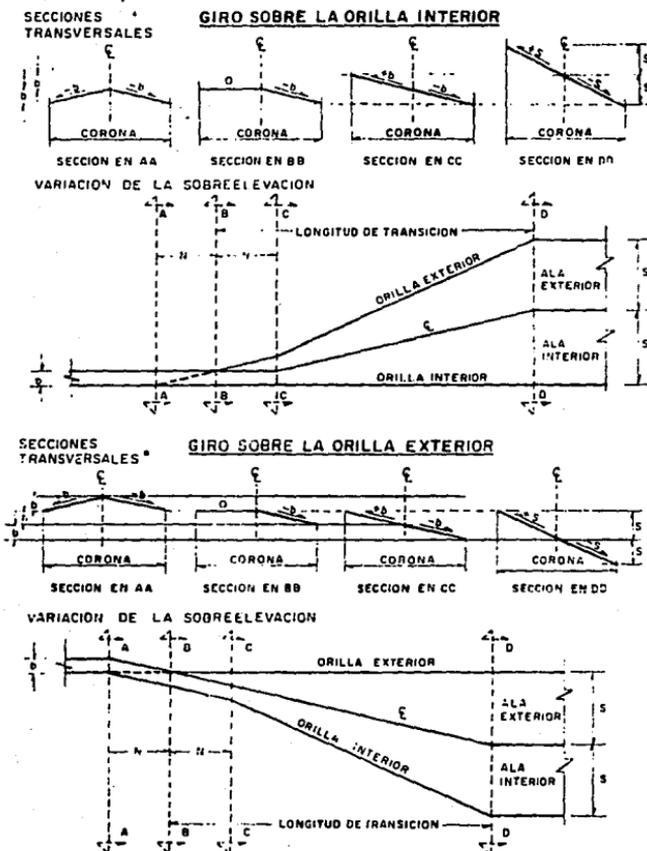


FIG. 5.4-B TRANSICIÓN DE LA SECCIÓN EN TANGENTE A LA SECCIÓN EN CURVA GIRANDO SOBRE UNA ORILLA DE LA CORONA.

2.- Ancho de calzada en curvas del alineamiento horizontal.

Cuando un vehículo circula por una curva del alineamiento horizontal, ocupa un ancho mayor que cuando circula sobre una tangente y el conductor experimenta cierta dificultad para mantener su vehículo en el centro del carril, por lo que se hace necesario dar un ancho adicional a la calzada respecto al ancho en tangente. A este sobreancho se le llama ampliación, la cual debe darse tanto a la calzada como ala corona.

Para caminos de dos carriles, el ancho de calzada, en curva se calcula, sumando el, ancho definido por la distancia entre huellas externas U de dos vehículos que circulan por la curva; la distancia libre lateral C entre los vehículos y entre éstos y la orilla de la calzada; el sobreancho F_a debida a la proyección del vuelo delantero del vehículo que circula por el lado interior de la curva; y un ancho adicional Z que toma en cuenta la dificultad de maniobra en la curva. En la Fig. (5.5), se ilustra la forma en que intervienen cada uno de los elementos mencionados en el cálculo de la ampliación para obtener el ancho de calzada en la curva.

Para caminos de cuatro carriles sin dividir, la ampliación en curva tendrá un valor doble que el calculado para caminos de dos carriles. Si están divididos, a cada calzada le corresponde la ampliación calculada.

Para fines de proyecto no se consideran las ampliaciones que resulten menores de 20 cm., si la ampliación resultase mayor deberá redondearse al decímetro próximo superior.

La ampliación de la calzada en las curvas, se da en el lado interior; la raya central se pinta posteriormente en el centro de la calzada ampliada. Para pasar del ancho de calzada en tangente al ancho de calzada en curva, se aprovecha la longitud de transición requerida para dar la sobreelevación, de manera que la orilla interior de la calzada forme una curva suave sin quiebres bruscos a lo largo de ella.

En curvas circulares con espirales de transición, la ampliación en la transición puede darse proporcionalmente a la longitud de la espiral, esto es:

$$A' = \frac{A}{l_e} l$$

En donde:

- A' = Ampliación del ancho de la calzada en un punto de la curva espiral o de la transición mixta, en metros.
- l = Distancia del origen de la transición al punto cuya ampliación se desea determinar en metros.
- l_e = Longitud de la curva espiral, en metros.
- A = Ampliación total del ancho de la calzada correspondiente a la curva circular, en metros.

SIMBOLOS :

- a - Ancho de calzada en tangente
 a_c - Ancho de calzada en curva
 A - Ampliación en curva
 V_f - Vuelo trasero
 V_d - Vuelo delantero
 DE - Distancia entre ejes
 EV - Entreje (en este caso igual al ancho total del vehículo)
 C - Distancia libre entre vehículos
 U - Distancia entre huellas externas
 F_s - Proyección del vuelo delantero
 Z - Sobreancho por dificultad de maniobra

NOTA: Todos los miedos en metros y normales al alineamiento horizontal.

EXPRESIONES PARA EL CALCULO:

$$A = a_c - a$$

$$a_c = 2U + 2C + F_s + Z$$

$$U = \frac{EV + R - \sqrt{R^2 - DE^2}}{2}$$

$$F_s = \sqrt{R^2 + V_d(2DE + V_d)} - R$$

$$Z = 0.1 \frac{V}{\sqrt{R}}$$

GRAFICAS PARA EL CALCULO:

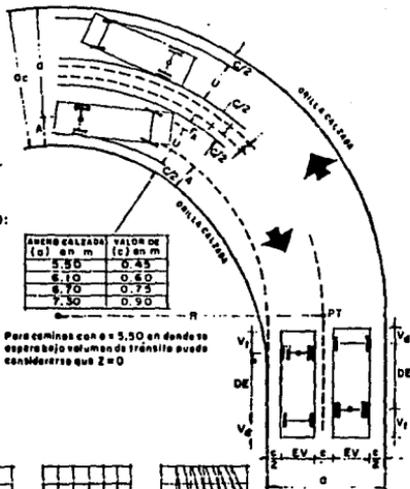
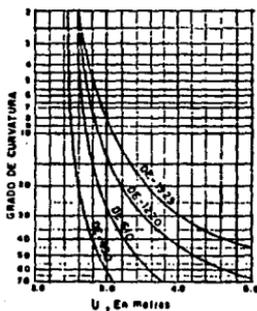


FIGURA 5.5 AMPLIACIONES EN CURVAS DEL ALINEAMIENTO HORIZONTAL.

Procediendo de esta manera se tendrá ampliación nula en el TE, ampliación total en el EC, y la orilla inferior de la calzada tendrá la forma de una espiral modificada.

En curvas circulares sin espirales puede seguirse el mismo criterio, pero resultaran quiebres que pueden eliminarse durante la construcción.

D) Acotamientos.

Los acotamientos son las fajas contiguas a la calzada, comprendidos entre sus orillas y las líneas definidas por los hombros del camino. Tienen como ventajas principales las siguientes:

1.- Dar seguridad al usuario del camino al proporcionarle un ancho adicional fuera de la calzada, en el que pueda eludir accidentes potenciales o reducir su severidad, pudiendo también estacionarse en ellos en caso obligado.

2.- Proteger contra la humedad y posibles erosiones a la calzada, así como dar confinamiento al pavimento.

3.- Mejorar la visibilidad en los tramos en curva, sobre todo cuando el camino va en corte.

4.- Facilitar los trabajos de conservación.

5.- Dar mejor apariencia la camino.

El ancho de los acotamientos depende principalmente de los volúmenes de tránsito y del nivel de servicio a que el camino vaya a funcionar.

El color, textura y espesor de los acotamientos dependerá de los objetivos que se quiera lograr con ellos y su pendiente transversal será la misma que la de la calzada.

5.2.2 Subcorona.

La subcorona es la superficie que limita a las terracerías y sobre la que se apoyan las capas del pavimento. En sección transversal es una línea.

Se entiende por terracerías, el volumen de material que hay que cortar o terraplenar para formar el camino hasta la subcorona. La diferencia de cotas entre el terreno natural y la subcorona define los espesores de corte o terraplén en cada punto de la sección. A los puntos intermedios en donde esa diferencia es nula, se les llama punto de paso y a las líneas que unen esos puntos en un tramo del camino, línea de paso. A los puntos extremos de la sección donde los taludes cortan al terreno natural, se les llama ceros y a las líneas que los unen a lo largo del camino, líneas de ceros.

Los elementos que definen la subcorona y que son básicos para el proyecto de las secciones de construcción del camino, son la subrasante, la pendiente transversal y el ancho.

A) Subrasante.

La subrasante es la proyección sobre un plano vertical del desarrollo del eje de la subcorona. En la sección transversal es un punto cuya diferencia de elevación con la rasante, está determinada por el espesor del pavimento y cuyo desnivel con respecto al terreno natural, sirve para determinar el espesor de corte o terraplén.

B) Pendiente transversal.

La pendiente transversal de la subcorona es la misma que la de la corona, logrando mantener uniforme el estado del pavimento. Puede ser bombeo o sobre elevación, según que la sección esté en tangente, en curva o en transición.

C) Ancho.

El ancho de la subcorona es la distancia horizontal comprendida entre los puntos de intersección de la subcorona con los taludes del terraplén, cuneta o corte. Este ancho está en función del ancho de corona y del ensanche.

La expresión general para calcular el ancho de la subcorona es la siguiente:

$$A_s = C + e_1 + e_2 + A$$

En donde:

A_s = Ancho de la subcorona, en metros.

C = Ancho de la corona en tangente, en metros.

e_1 y e_2 = Ensanche a cada lado del camino, en metros.

A = Ampliación de la calzada en la sección considerada, en metros.

El ensanche es el sobreancho que se da a cada lado de la subcorona para que, con los taludes del proyecto, pueda obtenerse el ancho de corona después de construir las capas de base y sub-base; es función del espesor de base y sub-base, de la pendiente transversal y de los taludes.

Cuando el camino va en corte y se proyecta cuneta provisional, el hombro de la subcorona queda en la misma vertical que el de la corona y el ensanche es nulo (ver Figura 5.7); Pero cuando el camino se va a pavimentar inmediatamente después de construídas las terracerías y no hay necesidad de construir la cuneta provisional, la cuneta definitiva quedará formada con el material de base y sub-base y por el talud de corte (Figura 5.6). En este caso el ensanche de la subcorona se calcula como sigue:

De la Figura (5.6-A).

$$A = B + C ; B = A - C$$

$$A = e \tan \alpha ; C = e \tan \theta$$

$$B = e (\tan \alpha - \tan \theta)$$

$$\tan \alpha = 1/t ; \tan \theta = -S$$

Como:

se tiene que :

por convención:

queda:

$$B = e \left[\frac{1}{t} - (-S) \right]$$

por lo cual:

$$e = \frac{B}{\left[\frac{1}{t} + S \right]}$$

En donde:

- e = Ensanche, en metros.
- B = Espesor de base y sub-base, en metros.
- t = Talud de la cuneta.
- S = Sobre elevación o pendiente transversal de la corona y la subcorona, con su signo.

La expresión anterior puede aplicarse también para el cálculo de ensanche en terraplenes, en cuyo caso, t es el talud del terraplén.

Cuando el espesor del pavimento y/o la pendiente transversal tienen valores altos, la subcorona corta primero al talud del corte que al talud de la cuneta, como se muestra en la Figura (5.6-B). En este caso, la aplicación de la expresión anterior daría como resultado la magnitud E, que es mayor que 1.00 m., lo que indica que el ensanche debe calcularse con otra expresión. Esta expresión se deduce como sigue:

$$(E-1) \tan \alpha = a+b+c = d \tan \gamma + d \tan \theta + (E-1) \tan \theta$$

como:

$$\tan \alpha = \frac{1}{t} \quad ; \quad \tan \gamma = \frac{1}{T} \quad ; \quad \tan \theta = -S$$

entonces:

$$\frac{E-1}{t} = d \left[\frac{1}{T} + (-S) \right] + [(E-1) (-S)]$$

$$d \left[\frac{1}{T} + (-S) \right] = \frac{E-1}{t} - [(E-1) (-S)] = (E-1) \left(\frac{1}{t} + S \right)$$

$$d = \frac{(E-1) \left(\frac{1}{t} + S\right)}{\left(\frac{1}{T} - S\right)}$$

por otra parte:

$$\begin{aligned} B &= E \tan \alpha - E \tan \theta \\ B &= E (\tan \alpha - \tan \theta) \end{aligned}$$

sustituyendo valores y despejando E se tiene:

$$E = \frac{B}{\frac{1}{t} + S}$$

sustituyendo el valor de E en el valor de d:

$$d = \frac{\left[\left(\frac{B}{\frac{1}{t} + S} - 1 \right) \right] \left(\frac{1}{t} + S \right)}{\left(\frac{1}{T} - S \right)} = \frac{B - \left(\frac{1}{t} + S \right)}{\left(\frac{1}{T} - S \right)}$$

y el ensanche vertical valdrá:

$$e = 1 - d$$

por lo cual:

$$e = 1 - \frac{B - \frac{1}{t} - S}{\frac{1}{T} - S} = \frac{\left(\frac{1}{T} - S \right) - \left(B - \frac{1}{t} - S \right)}{\frac{1}{T} - S}$$

$$e = \frac{\frac{1}{T} - S - B + \frac{1}{t} + S}{\frac{1}{T} - S}$$

$$e = \frac{\frac{1}{T} + \frac{1}{t} - B}{\frac{1}{T} - S}$$

En donde:

- e = Ensanche, en metros.
- B = Espesor de base y sub-base, en metros.
- T = Talud de corte.
- t = Talud de la cuneta.
- S = Sobreelevación o pendiente transversal de la corona y la subcorona, con su signo.

D) Ampliación y sobreelevación en transiciones.

Para calcular las ampliaciones y sobreelevaciones de la subcorona en las curvas y transiciones del alineamiento horizontal, se hace uso de los principios y recomendaciones establecidos en este capítulo.

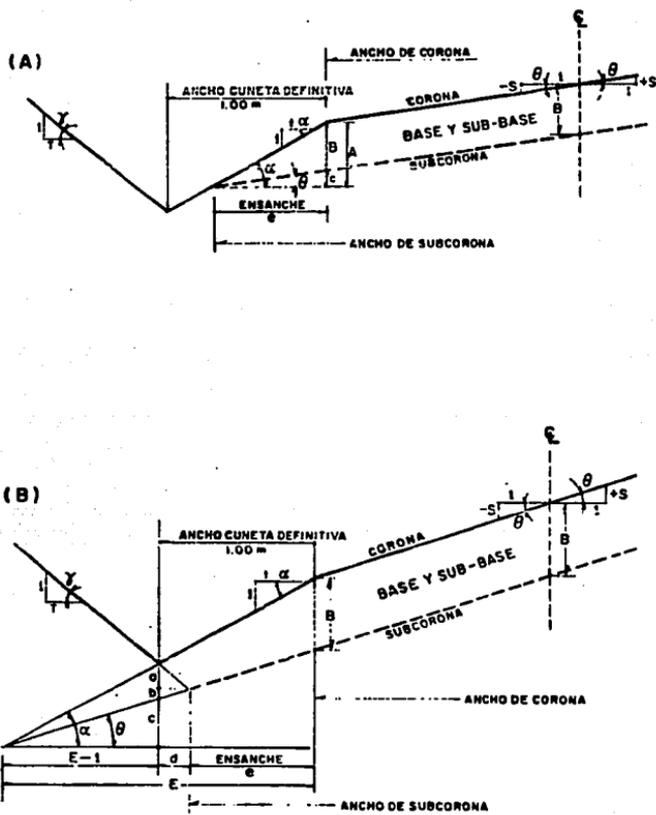


FIGURA 5.6 ENSANCHE DE LA SUBCORONA.

5.2.3 Cunetas y contracunetas.

Las cunetas y contracunetas son obras de drenaje que por su naturaleza quedan incluidas en la sección transversal.

A) Cunetas.

Las cunetas son zanjas que se construyen en los tramos en corte a uno o ambos lados de la corona, contiguas a los hombros, con el objeto de recibir en ellas el agua que escurre por la corona y los taludes del corte.

Normalmente la cuneta tiene sección triangular con un ancho de 1.00 m., medido horizontalmente del hombro de la corona al fondo de la cuneta; su talud es generalmente 3:1; del fondo de la cuneta parte el talud del corte, la capacidad hidráulica de esta sección puede calcularse de acuerdo con la precipitación pluvial de la zona y el área drenada.

Cuando los caminos no se pavimentan inmediatamente después de construídas las terracerías, es necesario proyectar una cuneta provisional para drenar la subcorona. El ancho de esta cuneta provisional debe diferir en una cantidad "d" al ancho de la cuneta definitiva, para que cuando se pavimente o se recubra el camino, la cuneta definitiva quede con su ancho de proyecto. En la Figura (5.7), se ilustra la forma y dimensiones de la cuneta provisional y su relación con la cuneta definitiva.

$$B = a + c = d \tan \gamma = d \tan \alpha$$

como:

$$\tan \gamma = \frac{1}{T} \quad \text{y} \quad \tan \alpha = \frac{1}{t}$$

se tiene:

$$B = d \left(\frac{1}{T} + \frac{1}{t} \right)$$

de donde:

$$d = \frac{B}{\left(\frac{1}{T} + \frac{1}{t} \right)}$$

En donde:

- B** = Espesor de la base y sub-base, en metros.
- T** = Talud de corte.
- t** = Talud de la cuneta.
- d** = Es la reducción que hay que hacer al ancho de la cuneta definitiva para tener el ancho de la cuneta provisional, en metros.

La pendiente longitudinal de las cunetas generalmente es la misma que la del camino, pero puede aumentarse si las condiciones del drenaje así lo requieren y la comparación con otra solución indica que es conveniente.

La longitud de una cuneta está limitada por su capacidad hidráulica, pues no debe permitirse que el agua rebase su sección y se extienda por el acotamiento, por lo que deberá limitarse esta longitud colocando alcantarillas de alivio o proyectando las canalizaciones correspondientes.

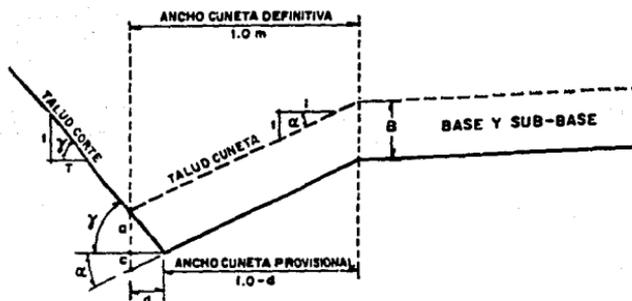


FIGURA 5.7 CUNETAS PROVISIONALES.

B) Contracunetas.

Generalmente son zanjas de sección trapezoidal, que se excavan arriba de la línea de ceros de un corte, para interceptar los escurrimientos superficiales del terreno natural. Se construyen perpendicularmente a la pendiente máxima del terreno con el fin de lograr una interceptación eficiente del escurrimiento laminar. Su proyecto en dimensiones y localización está determinado por el escurrimiento posible, por la configuración del terreno y por las características geotécnicas de los materiales que lo forman, pues a veces las contracunetas son perjudiciales si en su longitud ocurren filtraciones que redunden en la inestabilidad de los taludes del corte; en estos casos debe estudiarse la conveniencia de impermeabilizarlas, sustituir las por bordos, o buscar otra solución.

5.2.4 Taludes.

El talud es la inclinación del paramento de los cortes o de los terraplenes, expresado numéricamente por el recíproco de la pendiente.

Los taludes de los cortes y terraplenes se fijan de acuerdo con su altura y la naturaleza del material que los forman.

En terraplenes, dado el control que se tiene en la extracción y la colocación del material que forma el talud, el valor comúnmente empleado para este es de 1.5:1. En los cortes debido a la gran variedad en el tipo y disposición de los materiales, es indispensable un estudio, por somero que sea, para definir los taludes en cada caso. La tabla (5-C), resume la experiencia de la secretaría de obras públicas respecto a las recomendaciones de los taludes en cortes. Se tiene como norma para los cortes de más de 7.00 m. de altura, realizar estudios con el detalle suficiente, a fin de fijar de un modo racional, los taludes y los procedimientos de construcción; sin embargo se recomienda que los estudios de mecánica de suelos en relación a la estabilidad de taludes se realicen cuando los cortes o los terraplenes tengan más de 3.00 metros de altura y que no se haga un uso exhaustivo de las recomendaciones generales que a este respecto se tienen en la literatura.

TIPO DE MATERIAL	TALUD RECOMENDABLE		OBSERVACIONES
	Hasta Aprox. 8 m.	De Aprox. 8 m. a 16 m. Aprox.	
Granito sano y masivo	1/4:1	1/4:1	Descopetar a 3/4:1 la parte intemperizada si la hay.
Grano sano, en bloque	1/2:1	3/4:1	Amacizar taludes según la disposición de los bloques.
Grano sano, fracturado	1/2:1	1/2:1	No se considera recomendable la construcción de bermas en el cambio del talud. El talud recomendable variara de acuerdo con la disposición relativa de las diaclasas respecto al talud.
Granito fracturado y poco alterado.	1/2:1	1/2:1	Si el fracturamiento es uniforme y favorable.
	3/4:1	3/4:1	Si no es favorable.
	1/2:1	3/4:1	Si el fracturamiento es más intenso en la parte superior del corte.
Granito totalmente intemperizado	1/2:1	3/4:1	Si el producto de Intemperización del granito es arena gruesa bien cementada y compacta.
	3/4:1	1:1	Si el producto de Intemperización es arena limosa o arcillosa con poca cementación y compacidad.
Dioritas			Mismo comportamiento que los granitos.
Riolitas fracturadas en grandes bloques con sistemas de fracturamiento principal. Horizontal y verticalmente. (columnar)	1/4:1	1/2:1	No es adecuada la construcción de bermas.
Andesita fracturada en grandes bloques.	1/4:1	1/4:1	Si las fracturas no contienen arcillas.
	1/2:1	3/4:1	Si las fracturas contienen arcillas. Estas recomendaciones pueden variar notablemente dependiendo de la posición relativa de los planos de adiacasamiento respecto al talud.

TIPO DE MATERIAL	TALUD RECOMENDABLE		OBSERVACIONES
	Hasta Aprox. 6 m.	De Aprox. 6 m. a 16 m. Aprox.	
Andesita fracturada y poco alterada	1/4:1	1/2:1	
Andesita fracturada y muy intemperizada	1/2:1	3/4:1	
Diabasa sana, poco fracturada	1/8:1	1/4:1	
Basalto columnar	1/8:1	1/4:1	El que den las columnas, generalmente es vertical.
Basalto fracturado, sano	1/4:1	1/4:1	Si el sistema de fracturamiento es favorable al talud. Descopetar a 1/2:1 la parte superior del corte si el fracturamiento es muy intenso. Estas recomendaciones pueden variar notablemente dependiendo de la posición relativa de los planos de adiacasamiento respecto al talud.
Basalto fracturado en bloques de todos tamaños (mal país)	1/2:1	3/4:1	Si está empacado en arcillas.
	3/4:1	3/4:1	
Basalto muy fracturado y alterado	1/2:1	1/2:1	
Demases basálticos intercalados con piroclásticas y tezontles	3/4:1	1:1	Conviene la construcción de banquetas de 4 m. al pie del talud para recibir desprendimientos.
Tezontle suave bien cementado	1/4:1	1/2:1	
Tezontle sano fragmentario	3/4:1	1:1	
Tezontle intemperizado	3/4:1	3/4:1	
Tobas andesíticas, riolíticas o basálticas, sanas y fuertemente cementadas	1/4:1	1/4:1	Si presentan fracturamiento columnar, deberá darse la inclinación de dichas columnas. Deberá tenerse especial cuidado para no usar explosivos en exceso.
	1/4:1	3/4:1	Si están intemperizadas en la parte superior del corte.
Tobas brechoides medianamente cementada	1/4:1	1/4:1	Un solo talud para cortes menores de 16 m.

TIPO DE MATERIAL	TALUD RECOMENDABLE		OBSERVACIONES
	Hasta Aprox. 8 m.	De Aprox. 8 m. a 16 m. Aprox.	
Tobas debilmente cementadas	3/4:1	1:1	
Lutita dura y resistente, con echado casi horizontal, poco fracturada.	1/4:1	1/4:1	Construir contracunetas impermeables si se requieren. Estos taludes recomendados pueden variar notablemente de acuerdo con la posición relativa de planos de sedimentación respecto al plano del talud.
	1/4:1	1/2:1	Si la parte superior del corte se encuentra más fracturada.
Lutita suave muy fracturada	1/2:1	3/4:1	Construir contracunetas impermeables si se requieren. Estos taludes recomendados pueden variar notablemente de acuerdo con la posición relativa de los planos de sedimentación respecto al plano del talud.
Areniscas fuertemente cementadas	1/8:1	1/8:1	
Areniscas debilmente cementadas	1/2:1	3/4:1	
Conglomerado brechoide bien cementado con matriz silicosa	1/8:1	1/8:1	
Conglomerados cementados con matriz cálcica	1/4:1	1/4:1	
Conglomerado pobremente cementado o con matriz arcillosa	1/2:1	3/4:1	
Caliza fracturada con echados casi horizontales	1/8:1	1/8:1	Descopetar a 1/2:1 la parte superior del corte, si el fracturamiento es muy intenso. Estos taludes recomendados pueden variar notablemente de acuerdo con la posición relativa de los planos de sedimentación respecto al plano del talud.
Caliza muy fracturada, cavemosa y poco alterada	1/2:1	3/4:1	

TIPO DE MATERIAL	TALUD RECOMENDABLE		OBSERVACIONES
	Hasta Aprox. 8 m.	De Aprox. 8 m. a 16 m. Aprox.	
Pizarras con planos de apizarramiento de 5 a 10 cm., de separación, con echados casi horizontales	1/4:1	1/2:1	Se aconseja la construcción de contracunetas impermeables si éstas son necesarias.
Aglomerados medianamente compactos	3/4:1	3/4:1	
Arenas limosas pumíticas y vídrios volcánicos (jañes)	3/4:1	1:1	Protección de taludes inmediata, mediante "tepes" cunetas y contracunetas impermeabilizadas.
Limos arenosos muy compactos (tepetates)	1/4:1	1/2:1	
Arcillas poco arenosas firmes (homogéneas)	1/2:1	1/2:1 a 3/4:1	
Arcillas muy suaves expansivas y compresibles	1:1	1.5:1	Si existe nivel freático se requerirá buen subdrenaje.
Caolín, producto de alteración de dioritas	1:1		Cubrir con "tepes" el talud. Altura máxima de corte 8 m. Si existe nivel freático se requerirá buen subdrenaje.

TABLA 5-C TALUDES RECOMENDADOS EN CORTES.

5.2.5 Partes complementarias.

Bajo esta denominación se incluyen aquellos elementos de la sección transversal que concurren ocasionalmente y con lo cual se trata de mejorar la operación y conservación del camino. Tales elementos son las guarniciones, bordillos, banquetas y fajas separadoras. Las defensas y los dispositivos para el control del tránsito también pueden considerarse como parte de la sección transversal; su aplicación, diseño y construcción, están tratados en el Manual de Dispositivos Para el Control de Tránsito, editado por la Secretaria de Obras Públicas.

A) Guarniciones y bordillos.

Las guarniciones son elementos parcialmente enterrados, comúnmente de concreto hidráulico que se emplean principalmente para limitar las banquetas, camellones, isletas y delinear la orilla del pavimento. El tipo y la ubicación de las guarniciones influye en las reacciones del conductor y, por tanto, en la seguridad y utilidad del camino.

Los tipos usuales de guarnición son las verticales y achaflanadas, las primeras tienen su parte saliente de 0.20 m. como máximo y su cara exterior vertical, de manera que los vehículos no puedan sobrepasarlas; las segundas tienen la parte saliente achaflanada para que en caso de emergencia, los vehículos puedan pasar sobre ellas con relativa facilidad. La Figura (5.8) ilustra ambos tipos de guarniciones.

Las guarniciones achaflanadas se emplean principalmente en zonas rurales y las verticales en zonas urbanas. Las guarniciones deben ser visibles, para ello cuando sea necesario deben pintarse o señalarse con material reflejante en sus caras exteriores.

Los bordillos son elementos, generalmente de concreto asfáltico, que se construyen sobre los acotamientos junto a los hombros de los terraplenes, a fin de encauzar el agua que escurre por la corona y que de otro modo causaría erosiones en el talud del terraplén. Ver Figura (5.9).

El caudal recogido por el bordillo se descarga en lavaderos construidos sobre el talud del terraplén.

Antes de proyectar un bordillo habrá que estudiar la erosionabilidad del talud para la precipitación pluvial que se tenga en la zona.

Debe tenerse en cuenta que un bordillo puede ser una obra provisional. En algunas ocasiones, su función es reemplazada por las especies vegetales que crecen en los taludes del terraplén.

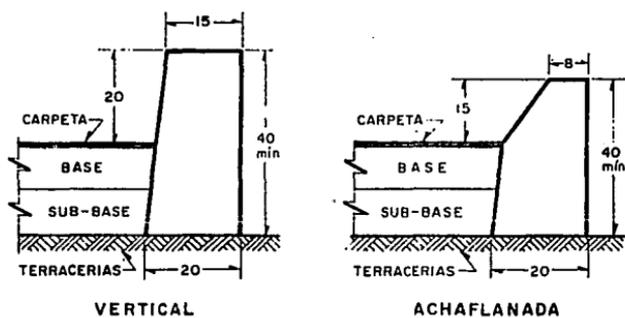


FIGURA 5.8 TIPOS DE GUARNICIONES.

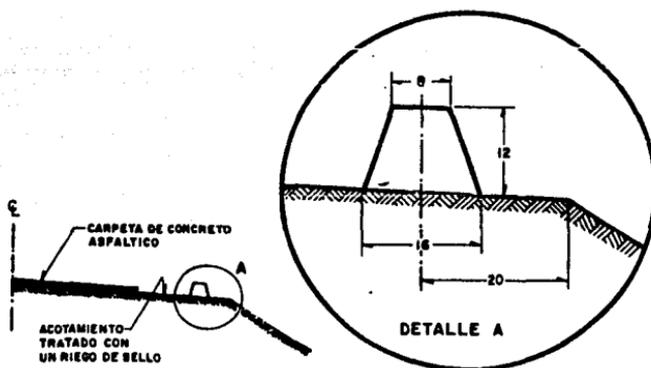


FIGURA 5.9 BORDILLO.

B) Banquetas.

Las banquetas son fajas destinadas a la circulación de peatones, ubicadas aun nivel superior al de la corona y a uno o ambos lados de ella. En zonas urbanas y suburbanas, la banqueta es parte integrante de la calle; en caminos rara vez son necesarias.

Cuando la circulación de peatones es eventual no es necesario construir banquetas.

C) Fajas separadoras y camellones.

Se llaman fajas separadoras a las zonas que se disponen para dividir unos carriles de tránsito de otros de sentido opuesto, o bien para dividir carriles del mismo sentido pero de diferente naturaleza. A las primeras se les llama fajas separadoras centrales y a las segundas fajas separadoras laterales. Cuando a estas fajas se les construyen guarniciones laterales y entre ellas se coloca material para obtener un nivel superior al de la calzada, toman el nombre de camellones, que igualmente pueden ser centrales o laterales; su anchura es variable dependiendo del costo de derecho de vía y de las necesidades de tránsito. El ancho mínimo es de 1.20 m.

Los camellones centrales, se usan en caminos de cuatro o más carriles; los laterales se proyectan en zonas urbanas y suburbanas para separar el tránsito directo del local en una calle o camino lateral.

5.2.6 Derecho de vía.

El derecho de vía de una carretera es la faja que se requiere para la construcción, conservación, reconstrucción, ampliación, protección y en general, para el uso adecuado de esa vía y de sus servicios auxiliares. Su ancho será el requerido para satisfacer esas necesidades.

5.3 RECOMENDACIONES DE LA S.C.T. PARA EL PROYECTO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS.

1.- Para el proyecto del alineamiento horizontal conviene observar las siguientes características geométricas.

a) Las tangentes muy largas pueden resultar peligrosas, sobre todo para las carreteras con altas velocidades de proyecto. Esta situación podrá evitarse sustituyendo dichas tangentes por otras de menor longitud unidas entre sí por curvas suaves.

b) El grado de las curvas circulares se debe elegir de manera que se ajusten lo mejor posible a la configuración del terreno. En general, el grado de curvatura será el menor posible para permitir la mayor fluidez del tránsito, pero sin perder de vista el costo de construcción.

c) Se evitarán cambios bruscos en el alineamiento horizontal. Así al pasar de una tangente larga a una curva, ésta debe ser de grado pequeño, bastante menor que el máximo especificado. Análogamente, si el proyecto comprende un tramo sinuoso entre dos de buen alineamiento se procurará que el grado de las curvas vaya aumentando paulatinamente hacia las curvas de mayor grado usadas en el tramo sinuoso.

d) El alineamiento debe ser tan direccional como sea posible, sin dejar de ser congruente con la topografía. Un alineamiento que se adapta al terreno es preferible a otro con tangentes largas pero con repetidos cortes y terraplenes.

e) Conviene evitar las curvas circulares compuestas y las curvas consecutivas en el mismo sentido. El efecto desfavorable que estas curvas ejercen sobre el conductor de un vehículo se reduce cuando:

e.1) La longitud en metros de la tangente que separa el PT del PC de dos curvas circulares con transiciones mixtas, es mayor o igual a 1.7 veces la velocidad de proyecto en km/h.

e.2) La longitud en metros de la tangente que separa el ET del TE de dos curvas circulares con espirales de transición es mayor o igual a 1.7 veces la velocidad de proyecto en km/h, menos la semisuma de las longitudes de las espirales.

e.3) La longitud en metros de la tangente que separa el PT del TE ó el ET del PC de dos curvas circulares, teniendo una de ellas espiral y la otra transición mixta, es mayor o igual a 1.7 veces la velocidad de proyecto en km/h, menos la longitud de la espiral.

f) Cuando la longitud de la tangente entre curvas consecutivas en el mismo sentido no cumpla con lo indicado en el párrafo anterior se podrán sustituir por:

f.1) Una sola curva que se ajuste, en lo posible, al trazo original.

f.2) Otras curvas de mayor grado, pero menores al máximo, para lograr la condición de tangente libre de 1.7 veces la velocidad de proyecto, expresada anteriormente.

g) Cuando en una curva horizontal con talud de corte en su lado interior, no se satisfaga la distancia de visibilidad de parada, se puede recurrir a cualquiera de las soluciones siguientes:

g.1) Recortar el talud interior de la curva.

g.2) Disminuir el grado de la curva.

h) Cuando los ángulos centrales de las curvas sean pequeños, se evitara longitudes de curva corta para quitar la apariencia de codo.

i) Se procurará que la longitud máxima de una curva horizontal con o sin espirales de transición no exceda la distancia recorrida por el vehículo en 20 segundos a la velocidad de proyecto.

2.- Con relación al alineamiento vertical, se procurará observar lo siguiente:

a) Se proyectarán alineamientos con cambios de pendientes suaves, en vez de tangentes verticales con variaciones bruscas de pendiente. Los controles para el proyectista son la pendiente gobernadora, la pendiente máxima y su longitud crítica, que siempre que sea posible se escogerán menores a los máximos especificados.

b) Cuando para salvar desniveles apreciables se disponga de tangentes verticales con pendientes escalonadas, se procurará poner las pendientes más fuertes al comenzar el ascenso.

c) Es preferible un perfil escalonado, en lugar de una pendiente sostenida. Para proyectar este tipo de alineamiento deben tomarse en cuenta los conceptos de pendiente gobernadora, pendiente máxima y longitud crítica de pendiente.

d) El alineamiento vertical deberá prever el espacio para alojar las obras de drenaje u otra estructura que se requiera.

e) Se debe evitar que la cima de un columpio quede alojada en corte o balcón a menos que se justifique económicamente.

f) Los alineamientos verticales que tienen sucesivamente curvas pronunciadas en cresta y columpio, suelen presentarse en alineamientos horizontales rectos en donde el alineamiento vertical sigue sensiblemente el perfil del terreno, resultando caminos antiestéticos y peligrosos en las maniobras de rebase.

Estos perfiles pueden evitarse introduciendo cierta curvatura horizontal y/o suavizando las pendientes con algunos cortes y terraplenes. Esta recomendación es particularmente aplicable a caminos con altos volúmenes de tránsito.

g) Siempre que económicamente sea posible, se procurará que la longitud de las curvas verticales sea mayor que la mínima, aún para bajas velocidades de proyecto.

h) Deberá evitarse el proyecto de curvas verticales sucesivas con la misma concavidad o convexidad, con tangentes, intermedias muy cortas; está recomendación es particularmente aplicable a curvas en columpio.

i) Cuando el terreno lo permita y no se incremente sensiblemente el costo de construcción las curvas verticales deberán proyectarse para satisfacer las distancias de visibilidad de rebase.

j) Cuando el desnivel a vencer obliga a mantener una pendiente en tramos de gran longitud o en longitudes superiores a la crítica, puede proyectarse un carril de ascenso adicional, si el nivel de servicio deseado lo justifica.

k) Cuando esté previsto el proyecto de un entronque a nivel en tangente con pendiente, que afecte sensiblemente la incorporación, se procurará disminuir la pendiente en la zona de entronque.

3.- Con respecto a la combinación del alineamiento horizontal y vertical, se procurará 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 de una apariencia agradable dentro de las restricciones impuestas por la topografía.

c) Cuando el alineamiento horizontal está constituido por curvas con grados menores al máximo, se recomienda proyectar curvas verticales con longitudes mayores que las mínimas especificadas; siempre que no se incremente considerablemente el costo de construcción de la carretera.

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 vertical.

f) En general, cuando se combinen curvas verticales y horizontales, o una este muy cerca de la otra, debe procurarse que la curva vertical esté 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 distintas visibilidad de rebase.

h) En donde esté previsto el proyecto de un entronque, los alineamientos deben ser lo mas suaves posible.

4.- Con relación a la sección transversal, se procurará observar lo siguiente:

a) Cuando se prevean defensas, bordillos, señales, e.t.c., a los lados del camino, deberá ampliarse la corona, de manera que los anchos de los acotamientos correspondan a los especificados.

b) Los bordillos solo deberán proyectarse en terraplenes con taludes erosionables.

c) El ancho de derecho de vía deberá determinarse por tramos ó en zonas de acuerdo al tipo de carretera, para lo cual se establecerá en cada caso su función, su evolución, requerimientos de construcción, conservación, futuras ampliaciones, uso actual y futuro de la tierra, así como servicios requeridos por los usuarios. Esta determinación debe apoyarse en un análisis económico y en la disponibilidad de recursos.

No hay que olvidar que para llevar a cabo un proyecto de caminos, es imprescindible hacer un análisis socio-económico y no únicamente técnico, en el que se contemplen todas las variables posibles; hay que aplicar la planeación de una manera adecuada para la programación de los caminos y construir únicamente los caminos que sean rentables.

CAPITULO VI

METODOLOGÍA DEL PROYECTO

6.1 GENERALIDADES.

Las inversiones en obras públicas dentro de los que están incluidos los caminos, deben producir los máximos beneficios a la colectividad con la mínima inversión posible. Una condición primordial para alcanzar este objetivo, es el conocimiento profundo de los problemas y la aplicación de las técnicas apropiadas para resolverlos.

Lo anterior lleva a pensar que solo deben ejecutarse aquellas obras cuyo proyecto se encuentre lo más detallado posible en todas sus partes. Para la elaboración correcta de este proyecto se requiere como base, que todos los estudios se hayan elaborado con la mayor precisión.

Existen algunos principios de carácter universal en los que debe basarse el criterio del proyecto.

1.- Son más costosas las fallas de proyecto que se reflejan en una obra ya terminada, que el costo adicional que significarían los estudios necesarios para reducir o eliminar la posibilidad de las fallas, en las etapas preliminares.

2.- El empleo de una tecnología avanzada, debidamente probada permite generalmente una economía considerable en la construcción y operación de las obras.

3.- Los estudios en el lugar de la obra requieren del esfuerzo continuo, la observación profunda y el registro de todos los datos que intervengan en alguna forma, el comportamiento de la estructura por proyectarse.

4.- Para cada rama o etapa de proyecto debe contarse con ingenieros especialistas en esa materia, para lograr esto es necesario que en cada disciplina se mantenga al día, en relación con los avances en las distintas tecnologías que les atañen.

6.2 SELECCIÓN DE RUTA.

Se entiende por ruta la franja de ancho variable entre dos puntos obligados, dentro de la cual es factible hacer la localización de un camino.

Los puntos obligados son aquellos sitios por los que necesariamente deberá pasar el camino.

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

La selección de ruta es un proceso que abarca varias actividades, desde el acopio de datos, examen y análisis de los mismos, hasta los levantamientos aéreos y terrestres necesarios para elegir la ruta más conveniente.

Para poder llevar a cabo el estudio de la selección de ruta es necesario trabajar con una comisión interdisciplinaria formada por ingenieros especialistas en localización de vías terrestres, en planeación, geólogos, drenajistas y de suelos, estructuristas (puenteros), todos estos deben ser técnicos con gran experiencia, principalmente en la construcción de caminos, con el objeto de precisar hasta donde sea posible todos los detalles y aspectos relacionados con la construcción misma.

Cabe mencionar que el ingeniero especialista en localización de vías terrestres, es quien tiene el mando en esta comisión interdisciplinaria y deberá tener conocimientos de las disciplinas de sus demás compañeros.

Para los estudios iniciales intervienen, el especialista en localización, en economía y en geología.

6.2.1 Acopio de datos.

Para seleccionar la ruta más viable, se hace un minucioso acopio de datos de la región, la topografía, la geología, la hidrología, el drenaje y el uso del suelo tienen un efecto determinante en la localización y en la elección del tipo de carretera, que junto con los datos de tránsito, constituyen la información básica para el proyecto de estas obras; cabe mencionar que las principales fuentes de datos se nombraron anteriormente en el Capítulo II.

Posteriormente se realiza un estudio de los datos obtenidos, para esto, los integrantes del grupo interdisciplinario deberán contar con cartas geográficas y geológicas del país, del estado, de la región y de la zona en estudio, con curvas de nivel; así como fotografías aéreas para que con estas puedan ubicar las diferentes rutas que pudiera tener el camino.

6.2.2 Planeación y realización del primer reconocimiento con sus resultados.

Ya que se obtienen sobre las cartas geográficas y geológicas las posibles rutas que seguirá el camino, es indispensable hacer los primeros reconocimientos de dichas rutas, dichos reconocimientos en un principio abarcaran zonas amplias y a medida que avance el proyecto se reducirán en forma considerable.

El primer reconocimiento aéreo se efectúa en avioneta y tiene por objeto determinar las rutas que se consideren viables y fijar el área que debe fotografiarse. Este trabajo lo efectúan técnicos especialistas en planeación, localización y en geología.

Antes de iniciar el vuelo, los especialistas deben estudiar y memorizar las cartas geográficas disponibles, estudiándolas dentro de su especialidad por ejemplo:

El especialista en planeación, con todo el material recopilado revisara que los estudios previos de planeación sean correctos y en caso necesario hará las correcciones que se requieran.

El especialista en localización deberá estudiar en el material obtenido, la topografía de la zona y marcar en primer lugar las alternativas de vuelo que crea convenientes de acuerdo al relieve de la zona.

El especialista en geología de acuerdo a su especialidad marcara los posibles problemas que se puedan encontrar en la zona de estudio.

Ya en el vuelo los tres especialistas, checan en forma general que los datos obtenidos previamente estén correctos; así por ejemplo, el especialista en planeación verificara si la potencialidad de la zona concuerda con lo que se ha supuesto en los estudios previos, observando las áreas de cultivo así como las poblaciones que queden dentro de la zona de influencia de las diferentes rutas; el especialista en localización verifica en el terreno si la ruta marcada en el plano es correcta, sobre todo en lo relacionado con el relieve topográfico, ya que en las cartas, por ser escalas pequeñas, existe la posibilidad de cometer errores al marcarla; en caso de que exista la discrepancia entre el terreno y el mapa con que se cuenta se deberá buscar una nueva ruta que se ajuste a las condiciones reales del terreno.

El especialista en geología comprobara desde el avión, la clasificación general de rocas y suelos, la morfología del terreno, la existencia de fallas y problemas de suelo; de acuerdo con el localizador observara la hidrografía de la zona, apreciando tamaños y tipos de cuencas para prever las dificultades que se puedan presentar en el cruce de las corrientes pluviales.

En este primer reconocimiento los especialistas tienen opción de volar sobre las áreas en estudio, tantas veces como crean necesario, a fin de escudriñar toda la zona de influencia del camino.

Estos reconocimientos tienen por objeto verificar y complementar directamente los datos previos recopilados y delimitar las zonas que contienen las rutas posibles. Cada técnico se dedica a cubrir los conceptos de su competencia de los cuales hace un informe individual en donde se definen los siguientes conceptos:

- a) Los puntos de paso obligado.
- b) Los posibles problemas geotécnicos y de cobertura vegetal que se hallarán en cada una de las rutas posibles.
- c) Los estudios económicos de rentabilidad de la obra.

d) Las fajas de terreno que deberá fotografiarse y la escala necesaria (1:50,000, 1:25,000 ó 1:10,000) dependiendo de la existencia o no de varias alternativas.

También se hace un informe mancomunado del primer reconocimiento en donde se dan las recomendaciones y conclusiones de todos los especialistas.

Para llevar a cabo la toma de fotografías deberá prepararse un plan de vuelo, el cual consiste en lo siguiente:

Sobre una carta geográfica lo más detallada posible de que se disponga, se definirá la zona por fotografiar y se proyectan las líneas de vuelo que deberán cubrir sobradamente el área señalada; es muy importante que la dirección de las líneas de vuelo, sean dirigidas a los lugares que se han marcado en principio como de paso obligado; este requisito facilita grandemente el estudio de la fotografía de los pares estereoscópicos y el proyecto de control terrestre.

El avión que se emplee para este tipo de trabajo deberá dar la altura necesaria para obtener la escala de fotografía deseada; estar dotado de piloto automático para que las líneas de vuelo sean lo más rectas posible, ya que reduce al mínimo los movimientos del avión, estar dotado de tanques adicionales de gasolina, para que se pueda mantener en el aire un mayor número de horas de las normales; estar dotado de estabilizadores en las alas, que reducen también los movimientos de giro y balanceo del avión a grandes alturas, los cuales son perjudiciales a la fotografía.

Para la toma de fotografías aéreas se utilizan cámaras métricas de eje vertical, con lente granangular con distorsión máxima de 0.01 mm. y distancia focal $f=152$ mm., con formatos de 23 por 23 cms.

Para lograr la continuidad estereoscópica, debe existir una sobreposición longitudinal de 60 a 80% y una sobreposición lateral de 20 a 30%, dependiendo de la relación relieve del terreno-altura de vuelo. Ver Figura (6.1).

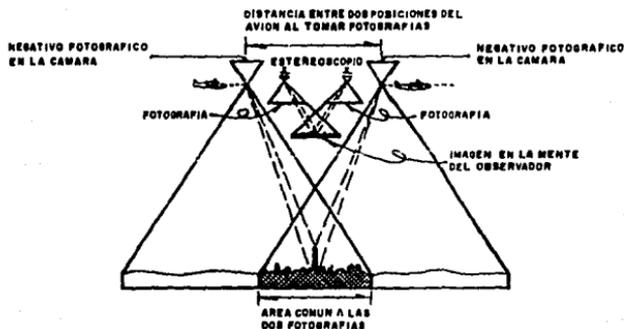


FIGURA 6.1 FORMACIÓN DE LA VISIÓN ESTEREOSCÓPICA.

La toma de fotografías aéreas también está restringida a ciertas épocas del año y horas del día, por la presencia de nubes y por la proyección de sombras; se especifica que las nubes no cubran más del 5% del área fotografiada y que el ángulo de altura del sol con respecto al horizonte esté comprendido entre 45 y 75 grados, dependiendo de la topografía del terreno.

Cuando se trata de terreno plano es conveniente que el ángulo sea un poco menor, por que así las sombras ayudan a observar el relieve.

La deriva o ángulo horizontal formado por la línea de vuelo y el eje longitudinal de la cámara, no debe exceder de 4°; el giro alrededor del eje de vuelo o balanceo y el giro alrededor del eje normal al vuelo o cabeceo, no debe exceder de 3°.

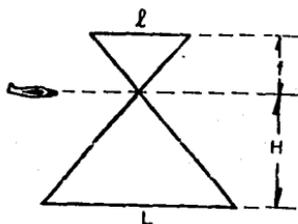
La escala de una fotografía vertical y el área cubierta por ella dependen de los siguientes elementos:

a) La distancia focal o constante de la cámara "f" que es la distancia entre el centro óptico del objetivo y el plano de la imagen fotográfica o plano focal.

b) El formato "l", que corresponde a las dimensiones del negativo de toma o sea las longitudes de sus lados.

c) La altura de vuelo "H", que es la distancia del centro óptico del objetivo al nivel medio del terreno en el área cubierta por la foto.

d) La escala media E_m de las fotografías, llamada también escala de vuelo, se obtiene con la siguiente relación de escalas (Figura 6.2):



$$E_m = \frac{l}{L}$$

$$\frac{l}{L} = \frac{f}{H}$$

$$E_m = \frac{f}{H}$$

FIGURA 6.2 RELACIÓN DE ESCALAS.

Como para una determinada cámara la distancia focal y el formato son constantes, la escala y el área cubierta por cada fotografía, dependen solo de la altura de vuelo.

Para una escala dada de fotografía, la altura de vuelo se calcula a partir de la fórmula anterior, por ejemplo: si se desea obtener fotografías a escala $E_m = 1:50,000$ con una cámara granangular, cuya distancia focal es $f = 152$ mm. (medio pie), la altura de vuelo sobre el terreno, expresada en pies, será:

$$H = \frac{f}{E_m} = \frac{0.5}{\frac{1}{50,000}} \quad H = 0.5 \times 50,000 = 25,000 \text{ Pies}$$

O sea, la altura de vuelo expresado en pies, será igual a la mitad del denominador de la escala deseada, cuando se use una cámara granangular. Esta expresión es de uso general, dado que los altímetros de los aviones vienen en unidades inglesas.

Si se requiere obtener la altura de vuelo sobre el nivel del mar, a la altura del vuelo habrá que agregarle la elevación media del terreno referida al nivel del mar.

Después de revelar la película expuesta y obtener las correspondientes copias de contacto, se procede a armar las líneas de vuelo tomadas para comprobar su posición, escala, sobreposiciones y deriva. Se seleccionan las fotografías útiles y se les numera de la siguiente manera: (1-1), (2-1), en donde el primer número significa el número de fotografía y el segundo la línea de vuelo. A continuación se forma el fotoíndice de vuelo o mosaico índice, el cual es una reproducción fotográfica de las fotografías seleccionadas y armadas según su línea de vuelo, donde además se anotan los datos de identificación.

6.2.3 Fotointerpretación.

Con las fotografías tomadas en esta etapa, se hace un estudio de fotointerpretación. Los datos que se obtengan de dicho estudio deberán vaciarse en planos restituidos y en los mosaicos fotográficos correspondientes, en donde quede marcada la ruta aceptada.

La fotointerpretación con fotografías aéreas, consiste en realizar un estudio estereoscópico que siempre es utilísimo, pues permite analizar en el gabinete, el terreno desde los puntos de vista topográfico, geológico, hidrológico y socioeconómico, delimitando las unidades geomórficas, rocas, suelos, drenajes, zonas apropiadas de cruces y materiales de construcción, e.t.c.

El estereoscópio es un pequeño instrumento de óptica propio para examinar los pares estereoscópicos y ver así las fotografías en relieve; el par estereoscópico es un conjunto formado por dos fotografías que cubren fajas comunes hacia sus extremos, tomadas desde puntos diferentes, que vistas simultáneamente, cada una de ellas por un ojo, dan la sensación de relieve.

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

A) Características físicas de las fotografías.

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.

B) Características de rasgos y objetos.

Considerando la forma, el tamaño y las sombras de las imágenes se puede distinguir entre los objetos que se deben a la actividad humana y los naturales.

C) 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 del material corresponde un talud natural; por lo que puede decirse que los cambios de talud indican cambio de material. La disposición o alineamiento puede indicar flujo, plegamientos, fracturas, fallas, e.t.c., 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 de las fracturas y las fallas.

D) Características de la vegetación.

Por el tipo de vegetación se puede identificar el tipo de suelo y el de la roca original.

Un determinado tipo de vegetación puede identificar la composición del suelo, contenido de humedad, permeabilidad, variaciones de espesor y de su pendiente.

Debe distinguirse la vegetación natural de los cultivos, reforestaciones, e.t.c., que pudieran desorientar. Para este tipo de estudios las fotografías de color, las infrarrojas blanco y negro y las infrarrojas de color, son de un valor inestimable.

El estudio de las acrofotos en gabinete requiere de cierto equipo:

- Estereoscópio.
- Barra de paralelaje.
- Regla de cálculo.
- Escalímetro.
- Lupa.
- Escuadras.
- Lápices de cera, e.t.c.

El estereoscópio sirve para observar el relieve del terreno en la faja de sobreposición de las fotografías; la barra de paralelaje sirve principalmente para estimar los desniveles del terreno. En la Figura (6.3) se muestra el estereoscópio de espejos y barra de paralelaje.

El procedimiento de trabajo en un estudio estereoscópico es como sigue:

En el mosaico índice de 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 la ayuda del estereoscópio la localización de las rutas, los aspectos geotécnicos, los de drenaje y los socio-económicos, a fin de conocer las ventajas y desventajas de cada una de las rutas marcadas.

1.- El ingeniero especialista en localización determina la mejor 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.

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

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

Para obtener el desnivel aproximado entre dos puntos dados contenidos en un par estereoscópico, se utiliza la barra de paralelaje, de la siguiente manera:

Se procura determinar con la mayor aproximación la escala de las fotografías. Para ello se verá si en algunas de ellas aparecen puntos de control terrestre o bien alguna estructura cuya longitud se conozca. En caso de no haberlas se toma como buena la escala indicada en las fotos.

Apoyándose en las marcas fiduciales de las dos fotos que se estudian, se determinan los puntos principales N_1 y N_2 , los cuales están definidos por la intersección de las líneas que unen las marcas fiduciales. (Véase Figura (6.4)).

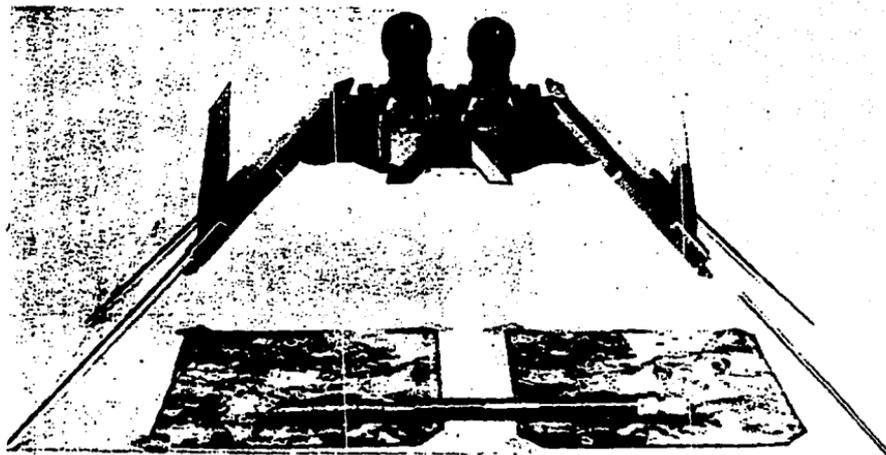


FIGURA 6.3 ESTEREOSCOPIO DE ESPEJOS Y BARRA DE PARALELAJE.

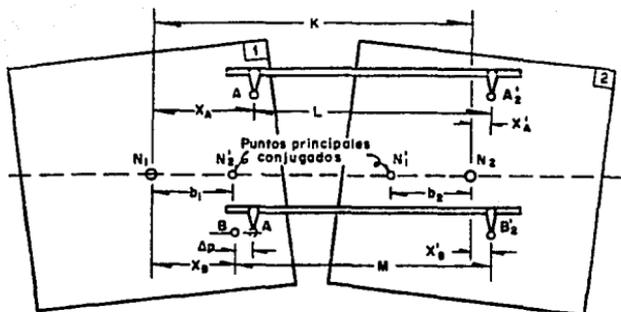


FIGURA 6.4 DETERMINACIÓN DE DESNIVELES MEDIANTE LA BARRA DE PARALELAJE.

Se transfieren dichos puntos recíprocamente, es decir, el N_1 a la foto 2 en N'_1 y el N_2 a la foto 1 en N'_2 . Se miden las distancias b_1 y b_2 y su promedio será la base aérea b .

Del informe de vuelo se toma la altura de vuelo H a la cual fué tomada la fotografía, comprobándose por la altitud marcada por el altímetro en cada foto y con la elevación media del terreno.

Supóngase que se trata de determinar el nivel existente entre los puntos A y B , que aparecen en ambas fotografías (A' y B' en la foto 2). Se coloca la barra de paralelaje haciendo coincidir sus índices con los puntos A y A' , girando el micrómetro de la barra para hacer que el punto flotante "toque" el terreno; en esta posición se toma la lectura del micrómetro. Se llevan después los índices de la barra a los puntos B y B' , girando el micrómetro hasta que el punto flotante "toque" el terreno.

Se toma esta nueva lectura del micrómetro. La diferencia de lecturas es precisamente la diferencia de paralelajes Δ_p ; el desnivel Δ_h que existe entre los puntos A y B se calcula con la siguiente expresión:

$$\Delta_h = \frac{H}{b} \Delta_p$$

2.- La fotointerpretación en el aspecto geológico comprende el análisis de las fotografías, con el objeto de identificar rasgos y determinar su significado, obteniendo información sobre la morfología del terreno, fallas, fisuras, estructuración de rocas, suelos, drenaje y además determinar en forma aproximada los materiales que se pueden utilizar en la construcción; el tono, la textura, el color, el tamaño, la sombra, el relieve, pendiente, erosión, drenaje, vegetación, cultivos, que se pueden observar a través de los pares estereoscópicos, nos definen con bastante aproximación los diferentes tipos de terreno que abarca el área sobre la cual se alojan las diferentes rutas que se van seleccionando. Los principales caracteres que se consideran en la fotointerpretación, para definir la geología del terreno son: tipo de vegetación, drenaje y la tonalidad o sea las diferencias entre las tonalidades blanco y negro o de color.

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

EL drenaje rectangular suele estar controlado por las diaclasas, las fallas y los plegamientos.

El drenaje radial se produce desde un cono montañoso o hacia el centro de una depresión o cuenca.

El drenaje concéntrico o anular suele ser indicativo de la presencia de una estructura en forma de domo.

El sistema de drenaje dentrítico 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 emparado es característico de rocas sedimentarias fuertemente plegadas.

La Figura (6.5), muestra los diferentes tipos de drenaje.



FIGURA 6.5 APARIENCIAS TÍPICAS DE LOS DRENAJES.

Al irse efectuando la fotointerpretación de cada par, se van vaciando estos datos en un mosaico, llamado mosaico rectificadado a la misma escala 1:50,000.

Los mosaicos rectificadados son formados haciendo coincidir las porciones centrales de fotografías aéreas individuales. Cuando han sido copladas y echas coincidir cuidadosamente dan la apariencia de una sola fotografía.

Todas las características mencionadas anteriormente, se marcan en los mosaicos con distintos colores, por ejemplo, la vegetación se señala con color verde, el fondo de los escurrideros con color azul, caminos y veredas con color amarillo, los contactos de las diferentes rocas y suelos que se vayan determinando se les dan diferentes colores, característico para cada tipo de roca que se haya identificado, señalados con su letra inicial como símbolo, con este mosaico se hace un mapa, el cual se anexa al informe respectivo.

3.- El experto en estudios socioeconómicos lleva a cabo la fotointerpretación localizando los núcleos de población, interpreta el uso actual de la tierra, los lugares forestales y minerales en explotación estimando su potencia, interpreta la posibilidad sobre obras hidráulicas y otras vías de comunicación como el ferrocarril, interpreta la posibilidad de obras marítimas si están en la costa, y la posibilidad de abrir nuevas tierras de cultivo, así como las instalaciones de algún tipo de industria.

6.2.4 Planeación y realización del segundo reconocimiento con sus resultados, apoyo terrestre, estudio de rutas en Balplex, antepresupuesto.

Con los datos obtenidos como producto del primer reconocimiento aéreo y la fotointerpretación llevada a cabo por el localizador, el geólogo y el economista, se efectúa una junta para discutir y hacer las proposiciones que se consideren pertinentes, y se ponen de acuerdo principalmente en lo que se refiere a las zonas que deberán ser beneficiadas por la nueva carretera, tomando en cuenta la accesibilidad a los centros de población o explotación, desde el punto de vista topográfico, de cruces de principales corrientes pluviales y de problemas de tipo geotécnico que se puedan presentar, e.t.c.

Como resultado de esta junta se elabora un informe mancomunado en el que se obtiene finalmente las rutas que se aceptan y sobre las cuales se va a continuar el estudio; así mismo se decide sobre la forma más conveniente en que deberá llevarse a cabo el segundo reconocimiento, el cual de preferencia se lleva a cabo en Helicóptero, lo que permite a los ingenieros descender en los lugares de interés y recabar en ellos la información que consideren necesaria.

Este reconocimiento se lleva a cabo con la intervención del mismo personal que llevo a cabo el primer reconocimiento y la fotointerpretación, los cuales llevaran cada uno el siguiente material:

Un juego de fotografías a escala 1:50,000 que ya han sido fotointerpretadas, en las que aparece con toda claridad las rutas seleccionadas, el mosaico índice en donde aparezcan las rutas seleccionadas, marcando los puntos en donde se haya tenido duda, y que deban ser verificados en el terreno.

Este segundo reconocimiento tiene por objeto comprobar la información obtenida a través de las fotografías aéreas, ya que el helicóptero permite llegar hasta los lugares donde se tenga que requerir cierta información directa en el terreno tales como comprobar la elevación de los puertos y fondos de cañadas, lugares de cruce y pendiente transversal del terreno, zonas donde se hayan apreciado fallas geológicas, posición y echado de las estratificaciones, cobertura de la capa vegetal, comprobación del tipo del tipo de rocas existentes, se comprobara las áreas y zonas de cultivo, la potencialidad económica, se estimará en forma directa el número de habitantes de los poblados y rancherías, y todos aquellos datos que se consideren necesarios para tener una idea más clara sobre el aspecto económico de la zona beneficiada.

Como resultado de este reconocimiento los especialistas realizan informes individuales y mancomunados, y se marcan en las fotografías aéreas las zonas en que se requiera apoyo terrestre para poder hacer los estudios sobre aparatos de restitución de segundo orden.

Existen diversos aparatos de restitución como el Kelsch, el Balplex, el Autógrafo, e.t.c., todos estos proyectan las fotografías hasta una escala cinco veces mayor que el de la fotografía.

El proyecto del primer apoyo terrestre se realiza en el gabinete marcando en las fotografías con un piquete de alfiler los puntos de mayor visibilidad y accesibilidad de las zonas marcadas. Estos puntos se localizan en el terreno por medio de la brigada correspondiente, y por medio del equipo topográfico electrónico como Telúrimetros y Telúrometros, estos aparatos obtienen las coordenadas x,y,z de cada punto, que generalmente están ligados a un sistema geodésico.

Después del apoyo terrestre se realiza lo siguiente:

a) Se colocan y se orientan las fotos en el aparato de proyección que se utilice.

b) Se estudian en forma directa sobre el aparato, diferentes variantes de alternativas marcadas, obteniéndose perfiles deducidos de ellas y en los casos necesarios se dibujara la topografía para estudios más detallados en zonas difíciles.

De esta manera se llega a la solución óptima, para lo cual se estudian diferentes subrasantes y se hace un estudio de costos generales o sea antepresupuestos.

Estos estudios se realizan para comprobar la justificación económica de un camino y se repiten a cada paso del proyecto de un camino y en caso necesario podría tomar una importancia mayor a la que se le había dado, pero también podrían llevar a la suspensión de los estudios si el costo de la obra se eleva demasiado o no cumple con las necesidades sociales.

Una vez elegida la ruta, se hace un paquete con todo el material producido, este paquete contendrá lo siguiente:

- a) El material obtenido del acopio de datos.
- b) Los informes individuales y mancomunados.
- c) Las fotografías y los mosaicos aéreos.
- d) Las plantas y perfiles deducidos.
- e) Las fotos y el larguillo topográfico con la ruta aceptada.
- f) El antepresupuesto.
- g) Las conclusiones.

En resumen, podríamos decir que está etapa es la más importante porque cualquier error cometido en la elección de ruta repercute en todo el proyecto y es muy difícil que se pueda corregir, además de que es muy costoso.

6.3 ANTEPROYECTO.

El anteproyecto, consiste principalmente en obtener con detalle la configuración topográfica en un ancho aproximado de 100 m., en la que quede incluida la ruta seleccionada en la etapa anterior y se proyecte en gabinete la línea definitiva del camino.

Al finalizar esta etapa se tendrá la topografía a escala 1:2,000 de la ruta aprobada, con curvas de nivel a cada 2.00 m., sobre estos planos se inicia el estudio del alineamiento horizontal y vertical, considerando un número variable de posibilidades hasta que se selecciona el trazo más conveniente que se tomara como definitivo del eje de la carretera.

El proyecto definitivo de la línea en gabinete se basa principalmente en las especificaciones requeridas para que el camino cumpla con el objetivo deseado. Estas especificaciones están basadas en ciertas características físicas del individuo como usuario del camino, de los vehículos y del camino mismo por diseñar.

Las principales especificaciones requeridas para diseñar los diferentes elementos geométricos del camino son: La velocidad máxima permisible, el grado de curvatura máximo y la pendiente máxima; un estudio adecuado de tránsito nos determinará entre otras cosas el vehículo de proyecto y el número y el ancho de carriles necesarios para determinar la sección transversal de construcción.

6.3.1 Métodos empleados para la realización del anteproyecto y proyecto definitivo, elementos de elección.

La S.C.T cuenta con tres métodos diferentes para la realización del anteproyecto y proyecto definitivo de un camino y son los siguientes:

- 1) El método convencional o tradicional, comúnmente llamado terrestre.
- 2) El método Fotogramétrico-electrónico y,
- 3) El método mixto.

Se ha mencionado que para completar y definir los datos previos, se requiere de un levantamiento topográfico detallado de la ruta seleccionada, ya sea utilizando el método convencional, el método fotogramétrico-electrónico ó empleando la combinación de ambos.

En la práctica se han encontrado cuatro factores que determinan de manera general, el procedimiento a seguir para el levantamiento topográfico, estos son:

- a) La vegetación.
- b) La configuración topográfica.
- c) El plazo de ejecución.
- d) La accesibilidad de la zona.

a) Vegetación.

La precisión en el procedimiento fotogramétrico-electrónico dependerá de la altura, densidad y tipo de vegetación existente. La altura máxima de una vegetación densa, permisible para emplear directamente el procedimiento fotogramétrico-electrónico, sin ninguna corrección, es de 0.10 m. Cuando la altura de la vegetación este comprendida entre 0.10 m. y 1.00 m., deberá obtenerse la densidad y la altura media mediante un recorrido directo sobre la zona a fin de aplicarlos a manera de corrección al efectuar la restitución de las fotografías.

Si la altura de la vegetación es mayor de lo antes indicado, el empleo del procedimiento fotogramétrico-electrónico dependerá de su densidad. A continuación se presenta la tabla (6-A), que puede utilizarse a manera de guía, para determinar si es posible el empleo del método antes mencionado.

Promedio Altura de vegetación. (m)	Promedio Diámetro de foliaje. (m)	Promedio Separación de árboles. (m)	Número máximo de árboles por (Ha)
5	5	12	60
10	6	15	50
15	7	18	46
20	8	23	20
30	8	29	12

TABLA 6-A

Cuando la densidad sobrepasa a estos valores no se podrá utilizar el método fotogramétrico-electrónico, por la dificultad que representa el poder observar estereoscópicamente la mayoría de los puntos del terreno, debiéndose utilizar en este caso el procedimiento terrestre.

Cuando las áreas de vegetación densa son aisladas y representa menos del 50% de la longitud del proyecto, podrá utilizarse la combinación de procedimientos (Método mixto).

b) Configuración topográfica.

El terreno en cuanto a su configuración topográfica se puede clasificar en: terreno plano, terreno en lomerío y terreno montañoso, y su influencia para la elección del procedimiento es la siguiente:

1.- En terreno plano, el tiempo requerido para el control terrestre es más o menos el mismo que se necesita para el trazo definitivo, en caso de que no hubiera necesidad de recurrir a levantamientos preliminares, lo cual es factible con la ayuda de las fotografías aéreas, obtenidas anteriormente, por lo que en general deberá usarse el procedimiento convencional por ser más económico y rápido que el fotogramétrico.

2.- En terreno de lomerío, la elección del procedimiento depende de su costo, el cual a su vez varía con la longitud del camino. Se ha podido deducir que para una longitud menor de 30 Km., el procedimiento convencional es el más adecuado y de ahí en adelante usar el procedimiento fotogramétrico-electrónico.

3.- En terreno montañoso, el procedimiento más adecuado para este tipo de terreno es el fotogramétrico-electrónico, por ser el más económico, pero quedando limitado su empleo a longitudes del camino mayores de 10 Km.

c) Plazo de ejecución.

Cuando el tiempo de ejecución del proyecto es corto y la toma de fotografías aéreas no puede realizarse de inmediato, como por ejemplo, cuando las condiciones atmosféricas son desfavorables, generalmente conviene usar el procedimiento convencional.

d) Accesibilidad de la zona.

La accesibilidad a la zona en estudio es factor que puede hacer variar la elección del procedimiento, ya sea por los costos resultantes de transporte o por el tiempo empleado en movilizar tanto personal como elementos de trabajo y alimentación.

6.3.2 Anteproyecto utilizando el método convencional.

El método convencional ó terrestre es utilizado en el proyecto cuando las características del terreno no permitan realizar un levantamiento mediante fotogrametría o cuando se pudiera realizar este, los costos erogados del procedimiento sean mayores que los ocasionados por el método convencional.

El método convencional se efectúa en campo y consiste en un levantamiento topográfico de la ruta aprobada en la etapa anterior (Selección de Ruta). Para efectuar el trabajo se envía a una brigada de preliminar, la cual lleva como datos el larguillo topográfico y fotos a escala 1:50,000 ó 1:25,000, con la ruta marcada.

La brigada obtendrá la topografía de la ruta apoyándose en una poligonal abierta trazada en el terreno apegándose lo más posible a la ruta seleccionada en la etapa anterior, la cual quedara perfectamente referenciada para su localización posterior.

Sobre la topografía obtenida en esta etapa se proyectará el eje definitivo del camino.

6.3.2.1 Personal de una brigada de preliminar.**a) Personal técnico.**

- 1 Ingeniero jefe de la brigada.
- 1 Ingeniero trazador.
- 1 Ingeniero nivelador.
- 2 Topógrafos.
- 2 Dibujantes.

b) Personal administrativo.

- 1 Delegado administrativo.
- 1 Encargado de abastecimiento de alimentos.
- 1 Correo (Peón).
- 1 Chofer.

c) Personal obrero (Sección de trazo).

- 1 Cadenero.
- 1 Contracadenero.
- 1 Estaquero.
- 1 Cabo de brecha.
- 8 Brecheros.
- 1 Aparatero.

d) Sección de nivelación.

- 1 Estadalero.
- 1 Aparatero.
- 2 Brecheros.

e) Sección de topografía (Por cada una).

- 2 Cadeneros.
- 2 Baliseros.
- 4 Brecheros.

f) Personal de servicio.

- 2 Cocineros.
- 2 Ayudantes de cocineros.
- 1 Mozo.
- 1 Caballerango.
- 1 Servicio médico.

6.3.2.2 Labor de la brigada de preliminar.

a) Trazo.

El jefe de la brigada es el encargado de dirigir el trabajo técnico y administrativo, deberá conectar los puntos obligados del proyecto, para lo cual se apoya en el larguillo fotográfico y en las fotografías aéreas, se adelanta para marcar los puntos por donde deberá pasar la **LÍNEA PRELIMINAR** que coincidirán con los puntos de la ruta marcada, se lleva uno ó dos ayudantes para abrir una brecha y para que lo auxilien en las actividades que se requieran. El jefe de la brigada al colocar los puntos ira checando que la pendiente esté dentro de las normas.

Una vez que se ha establecido un tramo importante de la ruta en el terreno (de 1 a 3 Km.), el trazador inicia el trabajo de trazo y medición de las tangentes en cuanto a su longitud y deflexiones, las cuales deberán quedar dentro de las tolerancias requeridas. La medición se realiza en longitudes de 20 m. (Estaciones) colocando estacas, y estaca con tachuela o clavo en los puntos de inflexión (P.I) y elabora un croquis de la zona.

En gabinete calcula las coordenadas de la poligonal y las entregará al dibujante para la realización del dibujo, indicara las recomendaciones necesarias para la dirección general, punto de inicio sobre el papel, orientación de los ejes coordenados y escala de la poligonal.

b) Nivelación.

El encargado de obtener el perfil longitudinal de la línea trazada, es el nivelador. Para realizar su trabajo cuenta con el personal de nivelación, así como de los aparatos necesarios, como el nivel fijo y el nivel de mano, estatal, cinta, e.t.c.

Para obtener el perfil longitudinal de la línea marcada por el trazador, toma la lectura en las estacas colocadas sobre el terreno y obtiene el desnivel en cada punto con respecto a un banco de nivelación de cota conocida.

El nivel fijo lo utiliza en la nivelación principal y el nivel de mano lo utiliza en aquellos lugares poco accesibles como barrancas y arroyos, esto reduce el cambio numeroso de instrumentos que entorpecen el avance y disminuyen la precisión.

El nivelador deberá establecer bancos de nivelación, cuando, menos a cada 500 m. de avance, estos bancos deberán contener los datos suficientes para su identificación.

Diariamente calculará y dibujará el perfil de la línea levantada.

c) Secciones de topografía.

Los topógrafos se dedican a levantar las secciones transversales de la línea a cada 20 m., o en aquellos sitios que por interés se necesite conocer, utilizan para su trabajo nivel de mano ó clisimetro, estatal y cinta. Los puntos sobre la línea transversal que se obtienen en el campo son los de cota cerrada par con los que posteriormente en el gabinete se pueden dibujar las líneas de nivel a cada 2.00 metros y con ello la configuración topográfica.

Antes de comenzar su trabajo revisan el perfil de la línea (El perfil deberá estar dentro de las tolerancias) para tomar en cuenta la distancia requerida hacia cada lado del eje para configurar y obtener la faja de terreno necesaria.

Teniendo el ancho del terreno por configurar; las secciones transversales se obtienen con el nivel de mano, el observador mide la altura de sus ojos y se para en el punto de cota conocida en la poligonal, calcula lo que deberá leer en el estadal para obtener el punto de cota cerrada de número par, en seguida ordena que le vayan alejando el estadal, según la dirección de la sección hasta observar la lectura calculada, mide la distancia que se alejó el estadal, anota y se coloca en el lugar en donde se quedó el estadal de cota ya conocida cerrada y procede en igual forma a buscar el siguiente punto, de aquí en adelante sus lecturas serán constantes, para localizar las siguientes cotas cerradas, el procedimiento sigue hasta cubrir la distancia requerida diariamente.

En gabinete se dibuja la poligonal sobre una cartulina gruesa cuadrículada, a cada 400 m., a una escala de 1:2,000 y orientada de tal manera que se pueda alojar en el ancho de la cartulina la mayor longitud posible de la poligonal abierta, sin tener necesidad de hacer cortes.

Ya que se tiene dibujada la poligonal abierta, el trabajo diario de los seccionadores se vacía en la cartulina para realizar la configuración de la franja de terreno necesaria, esta configuración la obtienen con los datos de registro y con los croquis que se han ido levantando.

d) Datos obtenidos del estudio preliminar.

Ya teniendo la topografía el jefe de la brigada proyecta las tangentes definitivas del alineamiento horizontal procurando obtener aquel con el que se obtenga la mayor economía posible; para el proyecto de las curvas horizontales se usan inicialmente serchas o plantillas de curvas circulares utilizando los grados de curvatura que dentro de las normas correspondientes al tipo de camino aseguren las entretangencias mínimas; se realizan diferentes alternativas obteniéndose en cada caso perfiles deducidos en los que se colocan tangentes del proyecto vertical para obtener la posición más adecuada de la subrasante; de todas las alternativas estudiadas se acepta como definitiva la que produzca el menor costo y se procede al proyecto definitivo de las curvas horizontales circulares o circulares con espirales; obteniéndose todos los datos necesarios para el dibujo y trazo en el campo.

6.3.3 Anteproyecto utilizando el método Fotogramétrico-Electrónico.

El método fotogramétrico-electrónico es un método basado en la obtención de fotografías aéreas del terreno donde se desea proyectar el camino.

La etapa de elección de ruta está basada principalmente en el método fotogramétrico-electrónico y siguen la secuencia descrita anteriormente.

El método fotogramétrico-electrónico, tiene como finalidad obtener la mejor línea de trazo y se realiza bajo los siguientes conceptos:

- a) Apoyo terrestre.
- b) Fotografías aéreas a escala 1:25,000.
- c) Anteproyecto A-7 ó A-8 ó similares.
- d) Restitución de planos a escala 1:2,000 para proyecto definitivo.

a) Apoyo terrestre.

El apoyo terrestre son puntos sobre el terreno previamente seleccionados en los cuales se requiere conocer su posición y elevación, sirven para relacionar cuantitativamente el terreno con sus imágenes estereoscópicas; este levantamiento se hace en el campo con aparatos topográficos de alta precisión y auxiliándose en gabinete por medio de aerotriangulaciones que permitan obtener el control terrestre necesario para estudiar aisladamente cada modelo estereoscópicamente, y orientarlo en elevación y planta.

****AEROTRIANGULACIONES.**

La aerotriangulación es un método de obtención de control auxiliar a través de las relaciones geométricas entre fotografías aéreas adyacentes. Estas relaciones pueden establecerse analíticamente o mecánicamente; esta última forma incluye el uso de instrumentos estereoscópicos de restitución para hacer la transmisión de la orientación de una foto a la siguiente.

El apoyo terrestre se proyecta en las oficinas centrales y una brigada de control terrestre coloca los puntos en el terreno con colores, permitiendo un contraste satisfactorio entre la señal del punto y el terreno natural. Para poder reconocer estos puntos en las fotografías, este apoyo terrestre quedara ligado entre sí por medio de una poligonal cuyos lados tendrán una longitud aproximada de 500 m., y sus vértices deberán encontrarse lo más cercano posible a la línea probable de trazo definitivo.

b) Fotografías aéreas a escala 1:25,000.

Sobre los mosaicos fotográficos elaborados en el vuelo, a escala 1:50,000 se marcan las líneas aéreas de vuelo, para poder obtener las fotografías aéreas a escala 1:25,000 de la ruta estudiada y marcando físicamente en el terreno.

c) Anteproyecto en A-7 ó A-8.

Con las fotografías tomadas a escala 1:25,000 y en el equipo A-7 ó A-8, provistos de dispositivos electrónicos adicionales como el EK-5 y el perfiloscopio, se obtiene la maqueta estereoscópica y la restitución de anteproyecto.

Se colocan las placas fotográficas sobre el aparato; el cual por sus características permitirá variar la altura del plano de proyección; esto permite la interpretación del terreno, ensayar trazos, restituir lo necesario y leer los perfiles; lo cual permitirá definir la mejor línea de anteproyecto que se marcara en las fotografías a escala 1:25,000.

Posteriormente se necesita afinar la línea de anteproyecto y existen dos opciones; la primera consiste en enviar a una brigada de localización para que mediante un levantamiento reduzca el ancho de la faja de terreno, la segunda es continuar por fotogrametría, se traza una poligonal de apoyo en el terreno; está poligonal deberá contener alternativamente a sus lados, los vértices de un apoyo terrestre para poder ligarlas con ésta.

La poligonal de apoyo servirá posteriormente para el trazo del eje definitivo, los vértices de esta poligonal serán bancos de nivelación y su ubicación deberá llenar los siguientes requisitos:

a) La distancia entre dos vértices contiguos deberá ser de 250 a 400 metros, aunque habrá ocasiones en que la topografía obligue a colocarlos más cerca.

b) Su separación normal al eje del trazo definitivo deberá ser mayor que el derecho de vía y generalmente a distancia entre 30 y 50 metros.

Colocada la poligonal de referencia con el apoyo terrestre se toman fotografías aéreas a escala 1:5,000 estas fotografías se envían al campo para identificar vértices y escoger los puntos laterales de nivel en los triples traslapes de las fotos.

d) Restitución de planos para proyecto definitivo.

La restitución se realiza por medio del autógrafa A-7 ó A-8, generalmente a escala 1:2,000 ó 1:1,000 con curvas de nivel a cada metro, el ancho de la faja a restituir depende de la seguridad que se tenga de la posición de la línea de anteproyecto, generalmente son suficientes 200 metros a cada lado de la línea.

Con esta restitución se obtienen planos en planta a escala 1:2,000 conteniendo la línea de anteproyecto, planos de perfil a escala 1:2,000 horizontal y vertical la que se haya elegido, indicándose la subrasante proyectada.

Ya teniendo la topografía se sigue el procedimiento marcado en el punto 6.3.2.2 inciso d) (Datos obtenidos del estudio preliminar) de el método convencional, auxiliándose en este caso de programas de computo.

6.4 PROYECTO DEFINITIVO.

Es la etapa de proyecto en la cual se realizan los estudios necesarios para obtener los planos detallados del camino que servirán para la construcción.

La etapa del proyecto definitivo se inicia cuando ya se obtuvo en gabinete el proyecto definitivo de la línea y comprende las siguientes actividades:

- a) La implantación en el campo de la línea definitiva proyectada en gabinete, ó de la poligonal de referencia en el caso del proyecto fotogramétrico-electrónico.
- b) Obtención del perfil definitivo del centro de línea.
- c) Levantamiento de las secciones transversales de construcción.
- d) Cálculo de áreas y volúmenes de las secciones transversales de construcción.
- e) Proyecto de la curva masa y movimientos de tierras con los acarreos correspondientes.
- f) Proyecto del drenaje incluyendo posición, tipo y dimensiones de las obras, proyecto de pavimentos, proyecto de puentes y obras auxiliares.

Una vez definido el proyecto se elaboran los planos de planta y perfil respectivos, generalmente en tramos de 5 Km., conteniendo todos los requerimientos necesarios para su construcción.

6.4.1 Proyecto definitivo utilizando el método convencional.

6.4.1.1 Implantación ó trazo de la línea definitiva en el campo.

De los datos del anteproyecto se obtienen todos los datos necesarios para marcar en el terreno las tangentes y curvas horizontales, enseguida se toman los cadcnamientos de los diferentes P.I y las deflexiones definitivas correspondientes, así como los datos necesarios para trazar las curvas horizontales, espirales y circulares.

Se implanta inicialmente la primera tangente definitiva, tomándose del anteproyecto su longitud y el ángulo que forma con la primera tangente del anteproyecto Véase Figura (6.6); enseguida se marca la posición de la segunda tangente, pudiéndose tener una brigada de avance que vaya trazando la posición de las tangentes sucesivas; una segunda brigada procede al cadcnamiento de la línea definitiva hasta el primer P.I, para enseguida marcar la subtangente (STe) de la primera curva, regresandose por está primera tangente una distancia igual a al valor de la STe ya calculada en el gabinete, marcando el primer punto del inicio de la curva horizontal (circular ó con espirales), a partir de este punto y con deflexiones a cada 20, 10 ó 5 metros, según el grado de curvatura, se marcan los diferentes puntos de la primera curva horizontal debiéndose ligar al final con la segunda tangente ya marcada en el terreno.

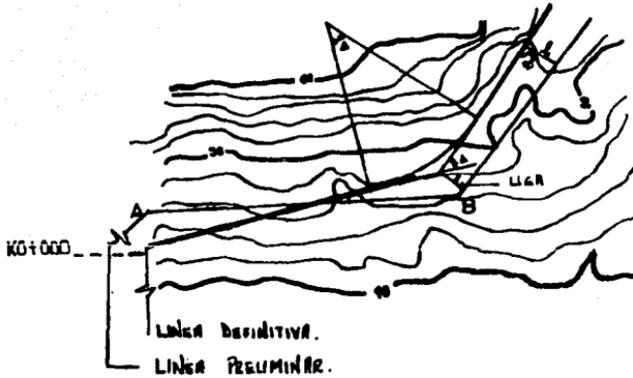


FIGURA 6.6 LIGAS TOMADAS PARA EL TRAZO DE LA LÍNEA DEFINITIVA.

Como se mencionó anteriormente, en el campo se fija el P.I. y se mide la distancia de la S.T., se fija el P.C. (en este caso para curvas circulares simples) con la mayor precisión, después se procede a trazar la curva por el método de deflexión, con estaciones en P.C. y P.T. (Véase Figura 6.7).

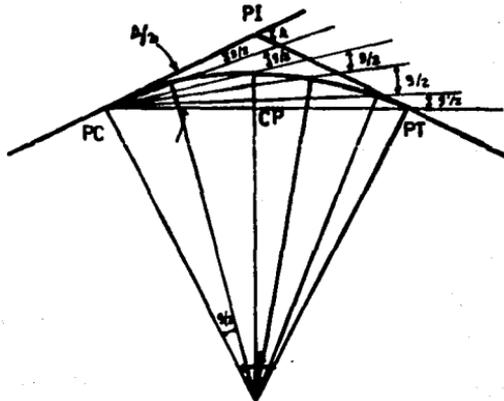


FIGURA 6.7

El origen de la visual será la tangente, es decir la visual al P.I. Como estos ángulos de deflexiones son la mitad de los ángulos centrales, para ir marcando cada curva que es abarcada por (g), desde el centro, las deflexiones irán variando (g/2).

Se coloca el tránsito viendo al P.I., las deflexiones que habrá que ir marcando son $g/2$, g , $1\frac{1}{2}g$, $2g$,...e.t.c., hasta llegar a ver el P.T., chequeando que el punto final de esta primera curva concuerde con la tangente de salida. Se continúa a partir del inicio de la curva el cadenamiento y colocando mojoneras en los puntos principales de la curva; este cadenamiento se prolonga hasta el segundo P.I., volviéndose a repetir el ciclo de trazo para la segunda curva, repitiéndose todo este trabajo para cada una de las curvas subsecuentes.

En caso de que sea indispensable hacer alguna modificación, esta se puede realizar directamente en el campo ya que actualmente se cuenta con calculadoras ó aún con computadoras manuales que permiten efectuarlo, debiéndose dar aviso oportuno al jefe de la brigada.

Cuando por algún obstáculo no se pueda ver toda la curva para trazarla, habrá que hacer estaciones de trazo intermedias.

Al trazar la línea definitiva en el terreno deberán colocarse trompos con tachuela en aquellos sitios que sirven para centrar el aparato en el trazo y se pondrá un trompo solamente en las estaciones cerradas de 20 metros, cada uno de estos puntos estará perfectamente identificado. Para localizar en cualquier momento estos puntos los de tachuela deberán referenciarse a puntos fijos del terreno como mojoneras o rocas.

6.4.1.2 Nivelación.

Tan pronto se va trazando la línea, deberá efectuarse su nivelación, tomando cotas sobre las tangentes y curvas en las estaciones cerradas de 20 metros y en los puntos característicos de la línea con una aproximación al centímetro.

La nivelación será diferencial con puntos de liga cuya cota se tomará al milímetro y colocando bancos de nivel a cada 500 metros con cota aproximada al milímetro, comprobándola regresando con otros puntos de liga a cerrar con el punto inicial de la jornada, la tolerancia para la nivelación será de 5 mm/km.

En gabinete se dibuja el perfil de la línea así obtenida, chequeando las cotas y cierres correspondientes y se determinan los cruces de las curvas de nivel corrigiendo el dibujo topográfico en donde sea necesario.

Sobre el perfil del terreno obtenido, dibujado en papel milimétrico grueso a escala 1:2,000 Horizontal y 1:200 Vertical se proyecta la subrasante dentro de las especificaciones señaladas; cada vez que sea necesario cambiar de pendientes en la subrasante, se calcularán y dibujarán las curvas verticales; realizando esto se determinan los espesores de corte o terraplén correspondientes, verificándose que la subrasante corresponda a la subrasante económica (la cual se explicará más adelante).

6.4.1.3 Movimientos de terracerías.

Los caminos como toda obra de ingeniería deben ser económicos y funcionales.

La funcionalidad de los caminos se logra a través de la aplicación (correcta con criterio profesional) de las normas de proyecto geométrico, pero la característica de economía se logra en forma importante a través del proyecto de la subrasante (subrasante económica) y del proyecto del movimiento de terracerías. En este aspecto se deberá estudiar en forma pormenorizada la colocación de los volúmenes de materiales que se extraigan en los terraplenes, para que el acarreo de los materiales sea lo más económico posible, presentándose aún los casos en los que no solo se utilice material extraído sobre la línea, sino que se utilice material de bancos laterales o de préstamo y aún se tenga que desperdiciar material del extraído sobre la línea porque resulte antieconómico el llevarlos a distancias importantes.

El movimiento de terracerías consta de varios pasos como son:

- A) Levantamiento de las secciones de construcción.
- B) Proyecto de las secciones de construcción.
- C) Cálculo de áreas y volúmenes de materiales.
- D) Obtención de la curva masa.
- E) Proyecto de la compensadora económica.
- F) Proyecto de la compensadora auxiliar.

A) Levantamiento de las secciones de construcción.

Inmediatamente después de la nivelación se realiza el seccionamiento transversal en las estaciones cerradas de 20 metros y puntos característicos de las curvas. Estas secciones se harán siempre perpendiculares a la línea de trazo y radiales a las curvas.

Se toman los desniveles en todos los puntos a lo largo de la sección en que el terreno tenga quiebres, mediante una nivelación rápida con nivel de mano; la distancia a cada lado del eje se toma en base a la sección de construcción, el perfil definitivo y el proyecto de la subrasante.

Las secciones se dibujaran en papel milimétrico a escala 1:100 tanto horizontal como vertical, marcando en cada una el número de la estación; se inicia con la primera sección del tramo en la parte inferior izquierda del papel y prosiguiendo hacia arriba en forma de columna con las secciones que quepan según el ancho y posteriormente siguiendo hacia la derecha en la parte inferior del papel continuando con el cadenamamiento hacia arriba.

B) Proyecto de las secciones de construcción.

En base al levantamiento de las secciones transversales del terreno, el perfil de éste y el proyecto de la subrasante económica, se realiza el proyecto de las secciones de construcción, viendo en el perfil y en cada estación el espesor de corte o terraplén que se indicara en el dibujo correspondiente de las secciones transversales, hacia arriba o hacia abajo del punto que indique el

centro de línea, y enseguida se proyecta la sección de construcción que corresponda según sea en corte, terraplén o mixta, haciendo que el centro de línea de la subcorona coincida con el punto dibujado de espesor de corte ó terraplén en cada sección considerada.

C) Cálculo de áreas y volúmenes de materiales.

Dibujadas las secciones de proyecto se miden con planímetro las áreas de corte y terraplén de cada una, consignando su valor, inmediatamente después se calculan los volúmenes entre dos secciones consecutivas, multiplicando la suma de las áreas de corte o terraplén en su caso por la semi-distancia entre las dos secciones consideradas, tomándose con signo (+) los volúmenes correspondientes a cortes y con signo (-) los correspondientes a terraplenes. Como el peso volumétrico de los materiales es diferente en los cortes que en los terraplenes, los primeros se multiplican por el coeficiente de variabilidad volumétrica el cual debe ser proporcionado para cada material por los ingenieros especialistas en geotécnica, con lo cual obtendremos los volúmenes de corte y terraplén en condiciones homogéneas.

D) Obtención del diagrama de curva masa.

La ordenada de curva masa es la suma algebraica de los volúmenes de corte y terraplén desde el inicio del tramo que se esta considerando hasta la estación en estudio; obtenida la ordenada de curva masa se procede a dibujar el diagrama de masas, que es la unión de los puntos consecutivos que tienen como ordenada la correspondiente al cálculo anterior y como abscisa la estación correspondiente a cada uno de los puntos considerados. La escala horizontal coincidirá con la escala horizontal con la que se dibujo el perfil (1:2,000) y la escala vertical se obtendrá de tal forma que su dibujo se diferencie perfectamente del perfil del terreno y la subrasante correspondiente, para lo cual se deberá tomar en cuenta la máxima ordenada correspondiente a corte y la mínima correspondiente a terraplén.

Como se indico anteriormente los volúmenes, ya sean de corte o de préstamo, deben ser transportados para formar los terraplenes.

Para determinar todos estos movimientos de terracerías y obtener su costo mínimo, el diagrama de masas es el instrumento con que cuenta el proyectista.

D.1) Propiedades del diagrama de masas.

En la Figura (6.8), se representa el diagrama de masas ABCDEFG correspondiente a los volúmenes de terracería a mover, al ubicar la subrasante *abcg* en el perfil *abcdefg* del terreno.

Las principales propiedades del diagrama de masas son las siguientes:

1.- El diagrama de masas es ascendente cuando predominan los volúmenes de corte sobre los de terraplén y descendente en caso contrario. En la figura se tiene que las líneas ABC y EFG son ascendentes por derivarse de los volúmenes de los cortes *abc* y *efg*, en tanto que la línea CDE es descendente por referirse al terraplén *cde*.

2.- Cuando después de un tramo ascendente en el que predominan los volúmenes de corte, se llega a un punto del diagrama en el cual empiezan a preponderar los volúmenes de terraplén, se dice que se forma un máximo; inversamente, cuando después de un tramo descendente en el cual han sido mayores los volúmenes de terraplén se llega a un punto en que comienzan a prevalecer los volúmenes de corte, se dice que se forma un mínimo.

En la figura, los puntos A y E del diagrama son mínimos y corresponden a los puntos a y e del terreno que son los extremos de tramos en terraplén, en tanto que los puntos C y G del diagrama son máximos y corresponden a los extremos de los cortes abc y efg.

3.- La diferencia entre las ordenadas de la curva masa, en dos puntos cualesquiera P y T, expresa un volumen U que es igual a la suma algebraica de todos los volúmenes de corte, positivos, con todos los volúmenes de terraplén, negativos, comprendidos en el tramo limitado por esos dos puntos. En el diagrama citado, la diferencia de ordenadas entre P y T es U; por quedar T arriba de P, expresa que en el tramo hay un excedente U del volumen de corte sobre el del terraplén; si los dos puntos son como el J y el K y esté queda abajo de aquél, la diferencia de ordenadas Q indica el volumen de terraplén en exceso del de corte en ese tramo.

4.- Si en un diagrama de masas se dibuja una línea horizontal en tal forma que lo corte en dos puntos consecutivos, éstos tendrán la misma ordenada y por consecuencia, en el tramo comprendido entre ellos serán iguales los volúmenes de corte y los volúmenes de terraplén, o sea que estos dos puntos son los extremos de un tramo compensado.

Esta línea horizontal se llama compensadora. La distancia entre los dos puntos se llama abertura del diagrama y es la distancia máxima de acarreo al llevar el material del corte al terraplén.

En la Figura (6.8) la horizontal BD es una compensadora, pues la línea BC representa los volúmenes de corte $bc'b'$ que son iguales a los volúmenes del terraplén $cd'd'$ representados por la línea CD del diagrama. La abertura BD es la distancia máxima de acarreo al transportar el volumen del corte $b'bc$ al terraplén $cd'd'$.

5.- Cuando en un tramo compensado el contorno cerrado que origina el diagrama de masas y la compensadora WW' queda arriba de ésta, el sentido del acarreo es hacia adelante; contrariamente, cuando el contorno cerrado queda abajo de la compensadora, el sentido del movimiento es hacia atrás.

Así, en el diagrama, el contorno cerrado BCDB indica un movimiento hacia adelante por estar arriba de la compensadora WW', pues el volumen BC del corte $bc'b'$ será llevado al terraplén $cd'd'$ que está adelante. En cambio, el contorno cerrado DEFD que está abajo de la compensadora WW' indica que el volumen EF del corte $ef'f'$, será llevado al terraplén ded' mediante un acarreo cuyo sentido es hacia atrás.

6.- Las áreas de los contornos cerrados comprendidos entre el diagrama y la compensadora, representan los acarreos. Si en el corte $bc'b'$ se toma un volumen elemental dV , que está representado en el diagrama de masas por el segmento MN, que será transportado a una distancia L, para ser colocado en el segmento RS del terraplén, el acarreo elemental será $dV \times L$ que es precisamente el área del trapecio elemental MNSR; por lo tanto, la suma de todas las áreas de los trapecios elementales, representativos de acarreos elementales, será el área de contorno cerrado

BCDB, que representará el monto del acarreo total. Así pues, si se tiene un contorno cerrado formado por el diagrama de masas y por una compensadora, bastará con determinar el área de él, para que, considerando las escalas respectivas, se encuentre el valor del acarreo total.

Como las ordenadas de corte del diagrama de masas, representan los volúmenes *in situ* multiplicados por el coeficiente de variabilidad volumétrica, a las áreas representativas de los acarreos habrá que dividirlos entre dicho coeficiente para obtener el monto real de los sobreacarros.

Como en general, las figuras representativas de los acarreos en un diagrama de masas son de forma caprichosa, para determinar sus áreas fácilmente y con la suficiente aproximación conviene sustituirlas por figuras geométricas regulares, en las que la base horizontal media sea la distancia de centro a centro de gravedad del corte y del terraplén.

7.- ACARREOS.- Consisten en el transporte del material producto de cortes o préstamos, a lugares fijados para construir un terraplén o depositar un desperdicio. También se aplica al acarreo de agua para su compactación.

La Secretaría de Obras Públicas clasifica los acarreos de acuerdo con la distancia que hay entre el centro de gravedad de la excavación y el centro de gravedad del terraplén a construir, o del sitio donde el desperdicio se va a depositar; en:

- a) **ACARREO LIBRE.** Es el que se efectúa dentro de una distancia de 20 metros.
- b) **SOBREACARREO EN m³-ESTACIÓN.** Cuando la distancia entre los centros de gravedad ésta comprendida entre 20 y 120 metros.
- c) **SOBREACARREO EN m³-HECTÓMETRO.** Cuando la distancia entre el centro de gravedad está comprendida entre 120 y 520 metros.
- d) **SOBREACARREO EN m³-KILOMETRO.** Cuando la distancia entre los centros de gravedad exceda de 520 metros.

A cada uno de estos tipos de acarreo corresponde un precio unitario, con excepción del acarreo libre cuyo costo se incluye en el de la excavación.

El pago de los sobreacarros se hace multiplicando el monto de los mismos por el precio unitario correspondiente.

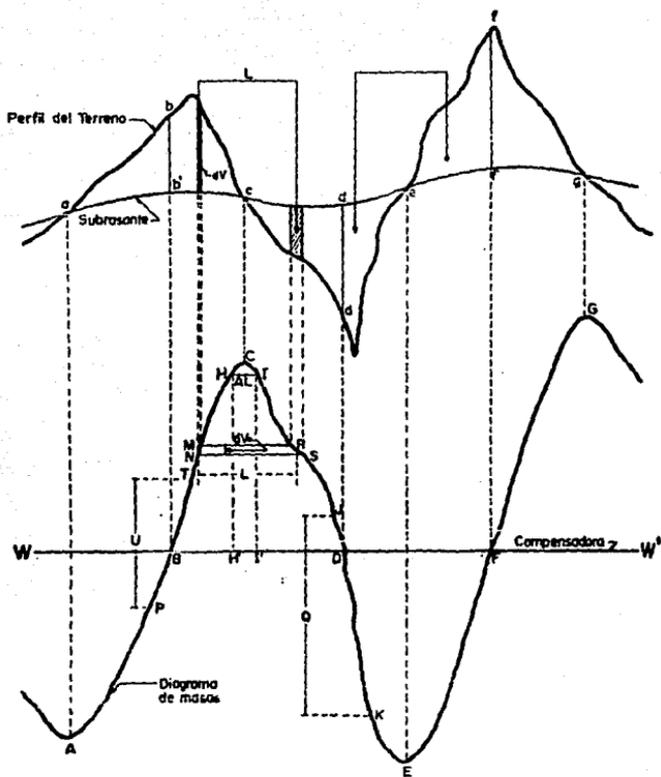


FIGURA 6.8 PROPIEDADES DEL DIAGRAMA DE MASAS.

D.2) Determinación de los acarrees.

A continuación se estudia la determinación de los acarrees con base en el diagrama de masas.

1.- **Acarreo libre.** Es la distancia máxima a la que puede ser transportado un material, estando el precio de esta operación incluido en el de la excavación. En consecuencia, para no encarecer el precio de la excavación, el acarreo libre debe ser a la mínima distancia requerida por el equipo que lleva a cabo la extracción, carga y descarga del material.

Por convención, la Secretaría de Obras Públicas ha adoptado una distancia de acarreo libre de 20 m; ésta se representa por medio de una horizontal en la zona inmediata a los máximos o mínimos del diagrama de masas.

Al preparar los programas para la computadora electrónica, se requiere fijar, analíticamente, las estaciones que limitan el acarreo libre; las expresiones matemáticas necesarias se desarrollan a continuación.

En el diagrama de masas en la Figura (6.9), son conocidas las ordenadas correspondientes a las estaciones 1, 3, 4 y 6, y por supuesto el acarreo libre AL, que estará dividido en los tramos a, b y c.

Se ha dicho, dentro de las propiedades de la curva masa, que la diferencia de ordenadas entre dos puntos cualesquiera expresa un volumen representados en la figura por las letras Q y U para terraplén y corte, respectivamente.

La pendiente en la línea correspondiente al terraplén es:

$$P_t = \frac{Q}{\text{distancia entre estaciones 1 y 3}}$$

y la pendiente de la línea correspondiente al corte es:

$$P_c = \frac{U}{\text{distancia entre estaciones 4 y 6}}$$

Por otro lado, se tiene que la ordenada en el punto 2 es igual a la del punto 5 y por lo tanto, en el tramo comprendido entre ellos serán iguales los volúmenes de terraplén.

Entonces:

$$OCM_1 = OCM_2$$

como:

$$OCM_1 = OCM_2 - a P_t$$

$$OCM_1 = OCM_2 + c P_c$$

se tiene que:

$$OCM_2 - a P_t = OCM_2 + c P_c$$

En esta ecuación son conocidos todos los valores menos la longitud de los segmentos a y c.

Pero como $AL = a + b + c = AL - (a + b)$, en donde b es conocido, por ser la distancia entre las estaciones 3 y 4.

Sustituyendo el valor de c, se tiene:

$$OCM_1 - a P_1 = OCM_4 + [AL - (a + b)] P_c$$

$$OCM_1 - OCM_4 - P_c (AL - b) = a (P_1 - P_c)$$

$$\frac{OCM_1 - OCM_4 - P_c (AL - b)}{P_1 - P_c} = a$$

Por lo tanto, las estaciones que limitan el acarreo libre serán:

$$\text{Est. 2} = \text{Est. 3} - a$$

$$\text{Est. 5} = \text{Est. 4} + c$$

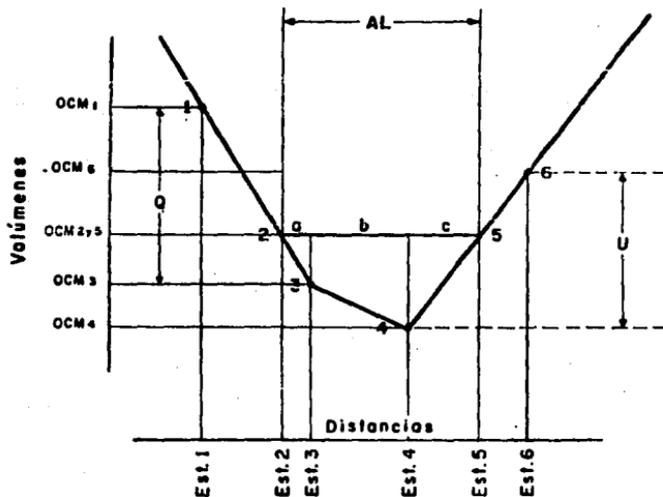


FIGURA 6.9 ACARREO LIBRE.

2.- Distancia media de sobreacarreo. Para poder cuantificar los movimientos de terracerías, es necesario establecer la distancia de sobreacarreo y la porción del volumen que hay que transportar más allá del límite establecido por el acarreo libre.

Refiriéndose a la Figura (6.10), se tiene, que la distancia de acarreo libre es la horizontal que corta a la curva en los puntos A y C, de modo que $AC = 20$ m. El material por encima de la recta AC es el que se transportará sin costo adicional. El volumen de este material viene dado por la diferencia de ordenadas entre la recta AC y el punto B y es una medida del volumen de corte entre a y b, que forma el terraplén entre b y c.

Considérese ahora el volumen sobre la línea de compensación OD. El estudio de la curva masa y del perfil correspondiente, muestra que el corte de o a b formará el terraplén de b a d. Como el material que queda por encima de la compensadora AC está incluido en el límite de acarreo libre, la otra entre las líneas OD y AC que se mide por la ordenada A'A está sujeta a un transporte adicional o sobreacarreo. Esto es, el volumen comprendido entre o y a debe ser sobreacarreado para formar el terraplén entre c y d.

La distancia media de sobreacarreo entre el corte o-a, y el terraplén a formar entre c y d, es la distancia entre los centros de gravedad del corte o-c y del terraplén c-d. Si por los centros de gravedad del corte y del terraplén se lleva una vertical, está cortará a la curva masa en los puntos I y J.

En consecuencia, la distancia media de sobreacarreo está dada por la longitud de la recta HJ, menos la distancia de acarreo libre AC.

La distancia media de sobreacarreo se obtiene con base en la propiedad de la curva masa que dice que las áreas de los contornos cerrados comprendidos entre el diagrama y la compensadora, representan el monto de los acarreos, es decir, un volumen por una distancia. Si el área de estas figuras se divide entre la ordenada de las mismas, que representa un volumen, se obtendrá como resultado una distancia, que restándole el acarreo libre, dará la distancia media de sobreacarreo.

Así, por ejemplo, el área de contorno cerrado OACDO dividida entre la ordenada A'A dará como resultado la distancia HJ, la cual habrá que restarle la distancia de acarreo libre AC para obtener la distancia media de sobreacarreo.

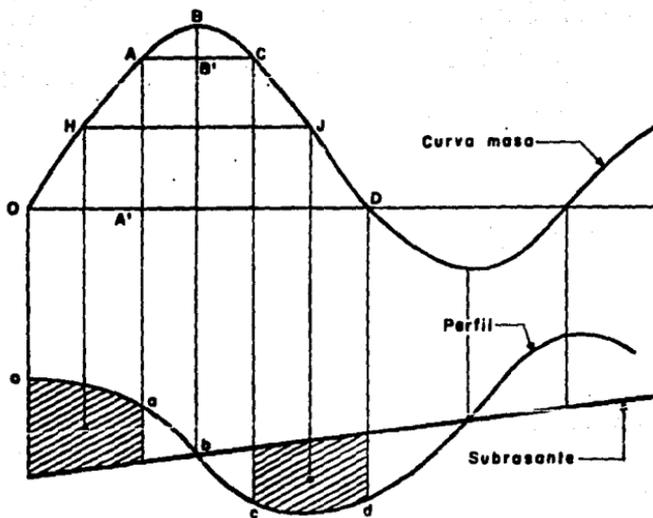


FIG. 6.10 DISTANCIA MEDIA DE SOBRECARREO.

E) Proyecto de la compensadora económica.

El proyecto más económico del movimiento de terracerías es aquel que con el menor costo posible, con el volumen de materiales extraídos de los cortes se construyan los terraplenes correspondientes, sin embargo, en muchas ocasiones esto no es posible, pues para que el proyecto resulte económico se tendrán en algunos casos que desperdiciar materiales de corte y en otros construir los terraplenes con materiales que se obtengan fuera de la zona de construcción del camino a los que se les denomina préstamos laterales o de banco.

Para realizar el proyecto económico de los movimientos de las terracerías se estudia la posición mas económica de las compensadoras.

Como una regla general para proyectar la posición de la compensadora económica se puede decir que está posición es la que haga que la suma de los acarrees hacia adelante, sean iguales a la suma de los acarrees hacia atrás.

Para el cálculo exacto de esta posición se puede seguir el siguiente procedimiento marcado en el manual de la S.C.T.

E.1) Cálculo de la compensadora económica.

En un tramo la compensadora que corta el mayor número de veces al diagrama de masas y que produce los movimientos de terracerías más económicas, recibe el nombre de COMPENSADORA GENERAL.

Es conveniente obtener una compensadora general en un tramo de gran longitud, sin embargo la economía, obliga a la compensadora que se corte en ciertos puntos reanudándose en otros situados arriba o abajo de la anterior, originándose tramos sin compensación resultando excedente (desperdicio) o falta de material (préstamo).

También puede existir excedente o falta de material cuando el material de corte sea inadecuado para la construcción del camino, o cuando la suma de los costos de excavación, acarreo y compactación del material de préstamo es menor que el costo del acarreo del material excavado al llevarlo al terraplén.

El estudio de la compensación longitudinal contempla cuatro casos dependiendo de la ubicación de la compensadora general como se aprecia en la Figura (6.11), entre préstamo y desperdicio, entre desperdicio, y entre desperdicio y préstamo.

En el desarrollo de las ecuaciones para cada uno de los casos, será necesario conocer la siguiente simbología:

- Pat** = Costo total que requiere la construcción de un m^3 de terraplén con material producto de préstamo en el punto anterior y contiguo al tramo compensado.
- Pad** = Costo total que requiere la construcción de un m^3 de terraplén con material producto de préstamo, en el punto posterior y contiguo al tramo compensado.
- Dad, Dat** = Costo unitario total del sobreacarreo y/o acomodo del desperdicio del adelante o de atrás respectivamente.
- A₁, A₂, A₃** = Areas contenidas en el diagrama y la compensadora general que representan los montos de acarreos.
- C₁, C₂, C₃** = Coeficiente de variabilidad volumétrica de los materiales de corte que sean acarreados hacia atrás, se representa por C_{atr} .
- C₄, C₅, C₆** = Coeficiente de variabilidad volumétrica de los materiales de corte que sean movidos hacia adelante, se representa por C_{par} .
- Cat** = Coeficiente de variabilidad volumétrica del material de préstamo de atrás.
- Cad** = Coeficiente de variabilidad volumétrica del material de préstamo de adelante.
- Ddd y Cdt** = Coeficiente de variabilidad volumétrica de los materiales de corte que ocasionan desperdicios de adelante y de atrás respectivamente.
- \$ A** = Precio unitario de los acarreos medidos en m^3 α , pues su distancia se mide en unidades α .
- \$ B** = Precio unitario de los acarreos medidos en m^3 β , pues su distancia se mide en unidades β .
- \$ C** = Precio unitario de los acarreos medidos en m^3 γ , pues su distancia se mide en unidades γ .
- AL** = Acarreo libre.

Caso uno.

Compensadora comprendida entre dos préstamos, para obtener su costo mínimo empléese la siguiente fórmula:

$$\frac{F_{at}}{C_{at}} - \frac{F_{ad}}{C_{ad}} = \$ A \left[\sum \frac{D_{non} - AL}{C_{non}} - \sum \frac{D_{par} - AL}{C_{par}} \right]$$

$$+ \$ B \left[\sum \frac{D_{non} - AL}{C_{non}} - \sum \frac{D_{par} - AL}{C_{par}} \right] + \$ C \left[\sum \frac{D_{non} - AL}{C_{non}} - \sum \frac{D_{par} - AL}{C_{par}} \right]$$

Aplicando la ecuación a un caso particular, se tendrá que lograr la igualdad dada por la ecuación.

Segundo caso.

Compensadora comprendida entre préstamo y desperdicio:

$$\frac{F_{at}}{C_{at}} + \frac{D_{ad} - D_{cd}}{C_{dd}} = \$ A \left[\sum \frac{D_{non} - AL}{C_{non}} - \sum \frac{D_{par} - AL}{C_{par}} \right]$$

$$+ \$ B \left[\sum \frac{D_{non} - AL}{C_{non}} - \sum \frac{D_{par} - AL}{C_{par}} \right] + \$ C \left[\sum \frac{D_{non} - AL}{C_{non}} - \sum \frac{D_{par} - AL}{C_{par}} \right]$$

Al igual que el caso anterior deberá buscarse la igualdad en la ecuación.

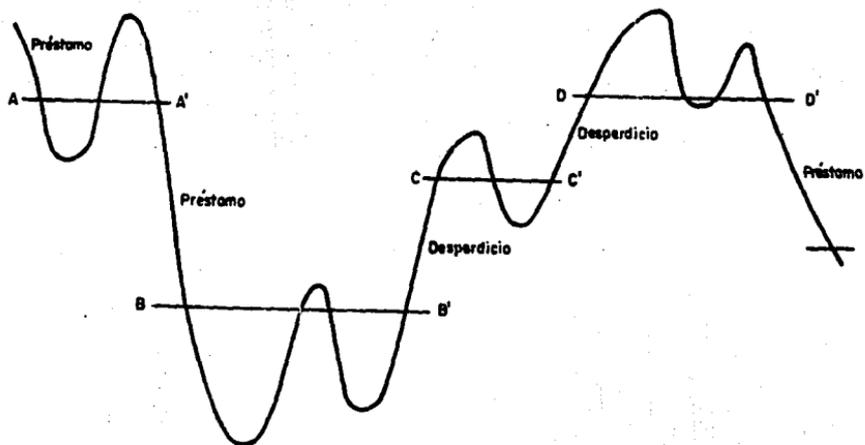


FIGURA 6.11 COMPENSADORA ECONÓMICA (PRESTAMOS Y DESPERDICIOS).

Tercer caso.

Compensadora comprendida entre un desperdicio y un préstamo.

$$\begin{aligned}
 -\frac{Dat}{Cdt} - \frac{Pad}{Cad} + \frac{Dct}{Cdt} &= \$ A \left[\sum \frac{Dnon - AL}{Cnon} - \sum \frac{Dpar - AL}{Cpar} \right] \\
 + \$ B \left[\sum \frac{Dnon - AL}{Cnon} - \sum \frac{Dpar - AL}{Cpar} \right] &+ \$ C \left[\sum \frac{Dnon - AL}{Cnon} - \right. \\
 &\left. - \sum \frac{Dpar - AL}{Cpar} \right]
 \end{aligned}$$

Al igual que en los otros casos deberá aproximarse lo más que se pueda a la igualdad de la ecuación.

Cuarto caso.

Compensadora entre dos desperdicios, para esta caso la ecuación general es:

$$\begin{aligned}
 \frac{Dad - Dcd}{Cdd} - \frac{Pad - Dct}{Cdt} &= \$ A \left[\sum \frac{Dnon - AL}{Cnon} - \sum \frac{Dpar - AL}{Cpar} \right] \\
 + \$ B \left[\sum \frac{Dnon - AL}{Cnon} - \sum \frac{Dpar - AL}{Cpar} \right] &+ \$ C \left[\sum \frac{Dnon - AL}{Cnon} - \right. \\
 &\left. - \sum \frac{Dpar - AL}{Cpar} \right]
 \end{aligned}$$

La aplicación práctica de estas cuatro ecuaciones es sencilla, basta medir las aberturas en las unidades correspondientes al sobrecarreo en cada movimiento, restarle el acarreo libre y multiplicarlo por el precio unitario, los productos así obtenidos serán de signo positivo o negativo, según corresponda a movimientos hacia atrás o hacia adelante, se efectúa la suma algebraica de estos productos; ésta suma deberá ser igual al primer miembro, si no lo fuera se moverá la compensadora hasta encontrar esa igualdad.

E.2) proyecto de la compensadora auxiliar.

Es una compensadora adicional que se coloca entre los máximos y/o mínimos del diagrama, que la compensadora general no ha cubierto o para hacer mínimos los costos de los sobrecarreos en esos movimientos.

La ecuación que coloca a una compensadora auxiliar económica es:

$$\$ A (d_1 - AL \alpha + d_2 - AL \alpha) = \$ A (d_2 - AL \alpha + \$ B [d_4 - AL_B])$$

En donde d_1 , d_2 , d_3 y $AL \alpha$, son distancias medidas en unidades de longitud α , en tanto que d_4 y AL_B , lo están en unidades β .

Como observación se puede notar en la Figura (6.12), que si la compensadora auxiliar es la AA' el tramo a b c d e, quedará sin proyecto de movimiento por lo que se requerirá otra compensadora auxiliar HH, que pasa por el máximo para no involucrar sobrecarreos dobles.

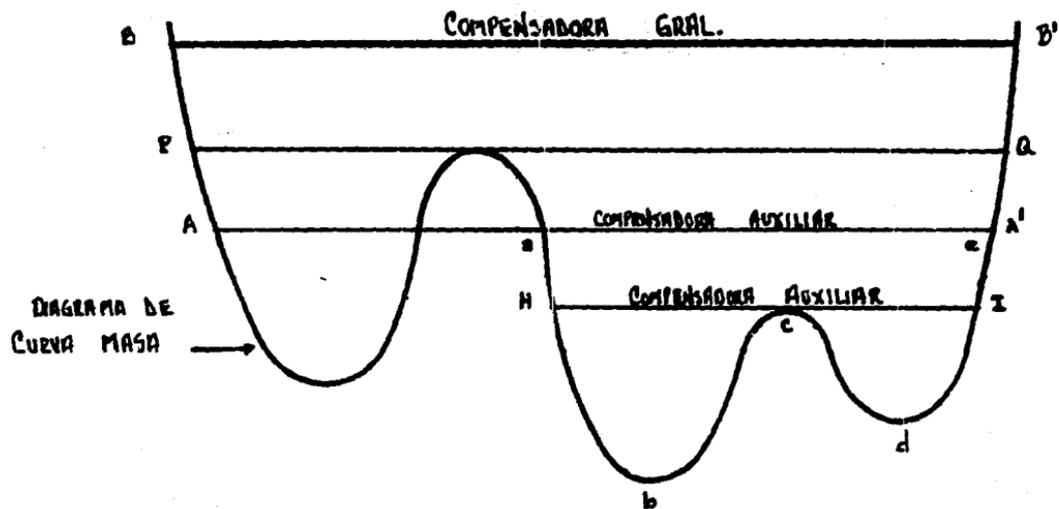


FIGURA 6.12 COMPENSADORA AUXILIAR.

6.4.2 Proyecto definitivo utilizando el método Fotogramétrico-Electrónico.

6.4.2.1 Datos previos para el proyecto definitivo.

Se requiere contar con los datos de tránsito que incluyen el T.D.P.A y el T.H.M.A, la composición y características del mismo y los datos proporcionados por el anteproyecto como:

- 1.- Puntos obligados, como cruces de corrientes pluviales, puentes, e.t.c.
- 2.- Juego de plantas a escala 1:2,000, con la línea de anteproyecto aprobada.
- 3.- Juego de perfiles a escala 1:2,000 horizontal y la vertical que se haya escogido, indicándose subrasante fijada.
- 4.- Dos juegos de fotografías a escala 1:50,000 y 1:25,000 indicándose la línea de anteproyecto.
- 5.- Los estudios de fotointerpretación geológica.
- 6.- Un informe de estudios geotécnicos elaborados.

Con estos datos el proyectista acompañado por un geólogo, un especialista en suelos y un hidrólogo, realizan un reconocimiento a lo largo de toda la línea de anteproyecto para comprobar el trazo en el alineamiento horizontal y vertical y en su caso realizar las correcciones pertinentes.

6.4.2.2 Matemización.

Una vez que se ha revisado y corregido la línea, se anotaran en la forma de la Figura (6.13), las especificaciones correspondientes a la parte del camino que se va a procesar, comprendiendo: el número de tarjeta para que las máquina las clasifique, la velocidad de proyecto de cada uno de los tramos, el ancho de la carpeta aprobado, el grado máximo de curvatura, el grado mínimo, a fin de que la máquina conozca que desde ese grado hacia arriba, debe calcular las curvas con espirales y por fin la sobre-elevación máxima.

En la forma de la Figura (6.14), se anotarán en la primera columna, los números que identifican la tarjeta; en la segunda columna, el cadenamamiento del origen, en la tercera, el número consecutivo de la tarjeta, en la cuarta y quinta se anotarán las coordenadas X y Y de dos puntos por cada tangente, siendo lo más práctico anotar las correspondientes a los P.I; coordenadas que se obtendrán gráficamente de la planta, en la sexta se indica con números si la curva debe de llevar espirales o no; en la séptima, el sentido de la deflexión y en la octava el grado de la curva, en el mismo renglón, del P.I. correspondiente o del segundo P.S.T., en caso de que esté se haya elegido en vez del P.I.

Llenadas las formas, se envían a perforación y posteriormente se programan y procesan en computadora, los resultados que se obtienen, son los resultados llamados de matemización que corresponden a lo siguiente.

1.- Listado con cadenamamiento de los P.I. y de los puntos importantes de la línea, tales como TE, EC, CE y ET ó en su caso, PIT, PC, PT y TTT, con sus respectivas coordenadas.

2.- Todos los elementos importantes de cada curva, como son:

- Su deflexión	Δ
- Grados de curvatura	G_c
- Longitud de las espirales y longitud de la curva circular	l_s, l_c
- Los ángulos de deflexión de las espirales	θ_s
- Los ángulos de deflexión de las curvas circulares	Δ_c
- La longitud de la subtangente	ST_e
- El radio de las curvas circulares	R_c
- Las coordenadas del EC	x, y
- Las coordenadas del centro de la curva circular y los valores de P y K.	

También se dan las longitudes de las tangentes y sus rumbos astronómicos.

Como se dijo anteriormente a este proceso de cálculo se le llama "Matematización", y la representación de los resultados es según la Figura (6.15).

3.- Datos de la poligonal de referencia.

Es la línea de la poligonal abierta cuyos vértices van a servir posteriormente para situar todos los puntos del alineamiento horizontal definitivo, puntos que son todas las estaciones cerradas de 20 metros y los característicos de las curvas. Además, los vértices de la poligonal de referencia son bancos de nivel.

La ubicación de los vértices de la poligonal de referencia deben llenar los siguientes requisitos:

I.- La distancia entre dos puntos contiguos debe ser de 250 a 400 metros, aunque habrá ocasiones en que la topografía obligue a colocarlos más cercanos, para ser visibles uno del otro.

II.- Su separación normal del eje del trazo definitivo debe ser mayor que el derecho de vía y generalmente a distancias comprendidas entre 30 y 50 metros.

En este punto se trata de dar los datos necesarios para localizar en el campo todos los puntos principales de la línea definitiva a partir de algunos puntos del apoyo terrestre (con coordenadas conocidas de antemano).

TRAMO 2075

***** ESPECIFICACIONES DEL TRAMO 2075 *****

VELOCIDAD = 70 KPH
 CARPETA = 5.50 M²
 GRADO MAX. = 8.000
 SOBRES. MAX. = 0.12

ORIGEN = 80+000.00 R.A.C. = S 3 55W
 ABSCISA = 104037.50 ORDENADA = 151173.50

COORDENADAS DE
 LOS PUNTOS ADICIONALES.

ESTACION	ABSCISA	ORDENADA
80+183.20	104024.98	150990.64
80+366.56	104012.46	150807.79

R.A.C. = S 3 55W TANG = 549.82 M²

PI = 80+606.51
 DT = 17 23 12Q
 G = 2 00
 R = 572.96 M²
 ST = 57.10 M²
 LC = 113.83 M²

PC = 80+533.81
 PT = 80+663.44
 80+679.64

COORDS. CENTRO
 XD = 104571.56
 YD = 150585.83

COORDENADAS DE
 LOS PUNTOS ADICIONALES.

ESTACION	ABSCISA	ORDENADA
80+785.36	104019.28	150390.69
80+907.08	104035.10	150270.00

FIGURA 6.15

6.4.2.3 Seccionamiento.

Una vez teniéndose comprobados los resultados de la matematización, se dibujan a lápiz en papel indeformable por temperatura o humedad, elaborando así los planos a escala 1:1,000.

Sobre los mismos planos se fijan, por sus coordenadas, los puntos de control del apoyo terrestre. Estos puntos ya aparecen en las fotografías, así como los de nivel.

Para llevar a cabo el seccionamiento se requiere que el aparato de restitución esté dotado de un aditamento especial (perfilómetro ó perfiloscopio), el cual proyecta en un vidrio esmerilado la imagen aumentada 5 veces del punto del plano sobre el que se coloca, cosa que permite ver en el aparato de restitución ese mismo punto casi simultáneamente y al colocar el punto flotante sobre el terreno se obtendrá la cota del punto indicado y sus coordenadas.

Para obtener los desniveles de los diferentes puntos de una sección transversal, se coloca el perfilómetro en la primera estación de 20 m. se recorre la estación deteniéndose en cada quiebre del terreno, obteniéndose sus tres coordenadas, una vez completa la sección, se registran los puntos en tarjetas perforadas, se recorre el restituidor a la siguiente estación o punto requerido y se prosigue en la misma forma descrita; así obtenemos los datos del perfil detallado del eje y del seccionamiento en cada estación.

ACLARACIÓN.

Cuando se sigue el método tradicional del proyecto con brigada de localización, los datos obtenidos en el campo son registrados en tarjetas perforadas uno por cada punto. Al ser procesados estos datos se obtiene un listado con los siguientes resultados.

- Cadenamiento de la estación.
- Cota del terreno en cada eje del trazo.
- Cota en cada punto registrado de la sección transversal y sus distancias al eje.

Realizado esto se procede a dibujar el perfil de la línea con la subrasante proyectada.

6.4.2.4 Curva masa.

Para el cálculo de los volúmenes de terracerías y la obtención de la ordenada del diagrama de masas, se cuenta con un programa de cálculo electrónico con el cual es posible optimizar en un tiempo sumamente reducido y a bajo costo, tanto los volúmenes de terracerías como el movimiento de las masas, mediante el análisis sucesivo de diferentes variantes de la rasante de proyecto, sin que ello represente un esfuerzo adicional excesivo para el proyectista, considerando que el programa elimina el trabajo rutinario que representa el cálculo del alineamiento vertical, el dibujo y proyecto de cada sección de construcción, la medida del área correspondiente, el cálculo de los volúmenes geométricos de terraplén y corte en los distintos estratos y su variación volumétrica, así como la obtención de la ordenada del diagrama de masas.

En la Figura (6.16), están representadas esquemáticamente las diferentes fases que constituyen el proceso, las cuales se describen someramente a continuación:

Para proporcionar la información que el programa requiere, el proyectista se auxilia de unas formas, empleando en cada caso la correspondiente al tipo de datos por reportar; dicha información está constituida por:

- Datos de identificación del camino.
- Datos generales de proyecto.
- Datos para compensación de la curva masa.
- Datos para proyecto de terraplenes.
- Datos para proyecto de cortes.
- Datos de suelos.
- Datos del alineamiento vertical.
- Datos de ampliaciones y sobreelevaciones.
- Datos del perfil longitudinal y secciones transversales del terreno.

Una vez que toda la información ha sido anotada en las formas respectivas, se perfora en tarjetas, las que se agrupan en un paquete para ser clasificadas, siendo a continuación procesadas en una computadora, generándose cuatro tipos de resultados, editados por la impresora del sistema en la forma siguiente:

- a) Listado de los errores detectados en los datos de entrada o durante el proceso de los mismos; la importancia de dichos errores puede motivar que el proceso sea suspendido.
- b) Listado de resultado del cálculo del alineamiento vertical.
- c) Listado de resultados del cálculo de las secciones de construcción.
- d) Listado de resultados del cálculo de volúmenes y ordenadas del diagrama de masas.

Cuando un camino es proyectado en su totalidad por el método fotogramétrico-electrónico, los datos de ampliaciones y sobreelevaciones de la sección tipo, así como los datos del perfil longitudinal y secciones transversales del terreno, son obtenidos, como resultado de otro tipo de proceso, directamente de tarjetas o cintas.

Lo anterior es posible merced a que los diferentes programas de cálculo electrónico han sido concebidos como parte integrante de un sistema, pudiendo generar cada uno de ellos resultados en un soporte de información, que permita su posterior utilización por los otros programas.

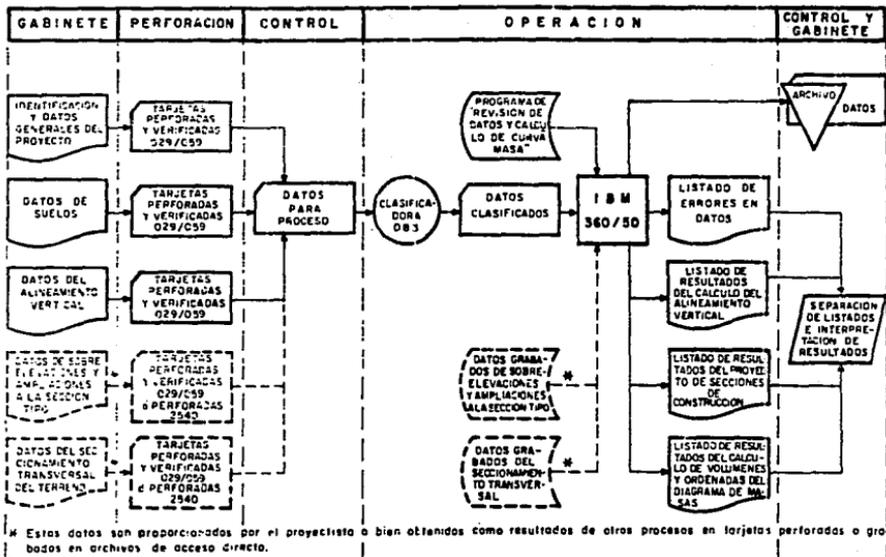


FIGURA 6.16 DIAGRAMA DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE DATOS PARA EL PROYECTO DE LAS SECCIONES DE CONSTRUCCIÓN Y CALCULO DE CURVA MASA.

6.4.2.5 Estacamiento del trazo definitivo.

Es el listado de datos por medio del cual se está en condiciones de trazar o replantear en el campo el trazo definitivo del camino proyectado, para proceder a su construcción se basa en los datos de las coordenadas de la poligonal de referencia y los datos de la matematización del alineamiento horizontal, que son perforados en tarjetas que alimentan a la maquina.

Este listado consta de dos grupos de columnas identificadas por sus encabezados. El grupo de columnas a la izquierda contiene los datos de la poligonal de referencia que se encuentra señalada en el terreno mediante mojoneras. El grupo de columnas de la derecha contiene los datos necesarios para el estacamiento del trazo definitivo en relación a los vértices de la poligonal. Los datos de está se consignan en forma semejante a un registro de poligonal por conservación de azimutes según se indica a continuación.

- a) Número de vértices o estación donde se centró el tránsito (EST).
- b) Número del vértice visado (P.V).
- c) El azimut de la recta que una dichos vértices en grados y minutos (AZIMUT).
- d) La longitud de esa misma recta en metros con aproximación del centímetro (LONG.).
- e) La elevación del vértice estación (ELEV.).

Además, en el mismo renglón pero en el grupo de columnas de los datos del trazo definitivo y precisamente en las columnas de coordenadas rectangulares (las dos de la extrema derecha), se tendrá la abscisa y la ordenada del vértice estación en el sistema terrestre de coordenadas usado en el diseño del camino y que se indica en las plantas.

Los datos del estacamiento del eje se definen para todas las estaciones cerradas de 20 metros y para las estaciones del alineamiento horizontal (TE, EC, CE, ET, PC, PT.) más importantes.

Se determina la posición del centro de línea refiriéndolo a los dos vértices cuyos datos de poligonal se encuentran a la izquierda del grupo de secciones y como encabezado de ellas.

Las referencias de apoyo, que están contenidas en dos renglones para cada estación, son las siguientes:

- a) **Kilometraje de la estación por situar.**
- b) **Las siguientes cuatro columnas están encabezadas por el título REFERENCIAS AL APOYO y contienen los datos precisos para situar el centro de línea de cada estación a partir de la poligonal de apoyo. Existen diferentes maneras de situar dicho punto según se explica a continuación.**

1.- POR COORDENADAS CARTESIANAS.- Medir una distancia sobre la recta que une los dos vértices de la poligonal a partir de uno de ellos (distancia axial) y desde ahí levantar una perpendicular a esa recta, medir otra distancia (distancia normal) quedando de esta manera localizado el punto. Esta forma de situarlo es por coordenadas cartesianas y por lo tanto deberá respetarse la convención de geometría analítica en cuanto a signos y sentidos de ejes coordenados considerando que, para el primer renglón de datos, el eje de las coordenadas es la recta que une a los dos vértices de la poligonal, su sentido es del vértice estación hacia el vértice visado y el origen de coordenadas se encuentra en el vértice estación, en consecuencia toda distancia medida del vértice estación al vértice visado será distancia (y) axial positiva (ordenadas positivas); toda distancia (x) medida normalmente a la recta que une a los vértices será positiva si es hacia la derecha (abscisas positivas) o negativas si es hacia la izquierda (abscisas negativas).

En el segundo renglón se consignan también otras distancias axial y normal para la misma estación, pero ahora el eje de las ordenadas tiene el sentido del vértice visado al vértice estación y el origen de coordenadas se encuentra en el vértice visado; en vista de que el sistema de coordenadas de los datos del primer renglón se encuentra girado 180° con respecto a los datos del segundo renglón, las abscisas (distancias normales) que en el primer renglón son positivas, en el segundo son negativas y viceversa; y las ordenadas (distancias axiales) son "suplementarias" de la distancia entre vértices.

De echo se tienen dos maneras de localizar el punto de la estación por medio de coordenadas cartesianas, una a partir del vértice estación y otra a partir del vértice visado.

2.- POR COORDENADAS POLARES.- Centrado el tránsito en uno de los vértices, medir el ángulo que existe entre el lado de la poligonal y la visual al punto que se desea localizar y posteriormente medir la distancia que existe entre dicho vértice y el punto del eje. Esta forma de situarlo es por coordenadas polares, considerando que para el primer renglón de datos el eje polar es la recta que une los dos vértices de la poligonal y su origen es el vértice estación y que se establece la convención de que los ángulos medidos hacia la izquierda del vértice visado serán negativos y los ángulos medidos hacia la derecha serán positivos. En el segundo renglón de datos se consignan también un ángulo y una distancia para la misma estación pero ahora el origen del eje polar es el vértice estación.

De echo se tienen tres formas de localizar el punto del eje por coordenadas polares, una es a partir del vértice estación, otra a partir del vértice visado y una tercera por doble intersección. Esta última no se recomienda de manera general a menos que previamente se haya verificado en las plantas de construcción que el ángulo bajo el cual se cortan las visuales de ambos vértices, sea mayor de 20° y menor de 160° .

3.- En el caso de curvas horizontales, una vez situado su origen, puede efectuarse el replanteo de las mismas por medio de los datos (deflexión y cuerda) que se encuentran tabulados en las columnas tituladas "REPLANTEO DE CURVAS". Se proporciona la deflexión en grados y minutos y la cuerda en metros con aproximación al cm. desde el TE hasta el EC, desde el EC hasta el CE y desde el CE al ET para curvas con espirales de transición y desde el PC hasta el PT para curvas circulares simples.

Las deflexiones se miden a partir de la tangente a la curva en el punto de origen. Las deflexiones derechas las hemos considerado positivas y las izquierdas negativas. Para situar la tangente en el tránsito conviene recordar que en el punto EC, la tangente a la curva forma un ángulo con la visual al TE igual a dos veces la deflexión del TE al EC, y que, en el CE, la tangente a la curva forma un ángulo con la visual al EC igual a la deflexión del EC al CE.

En las dos columnas de la extrema derecha se encuentran las coordenadas del punto del centro de línea de cada estación en el sistema terrestre de coordenadas; dicho sistema es el de referencia en las plantas 1:2,000 determinado en el proyecto del camino y su utilidad durante la construcción se considera prácticamente nula, sin embargo, se consigna en el listado de datos por la importancia que tienen en las diversas etapas del proyecto.

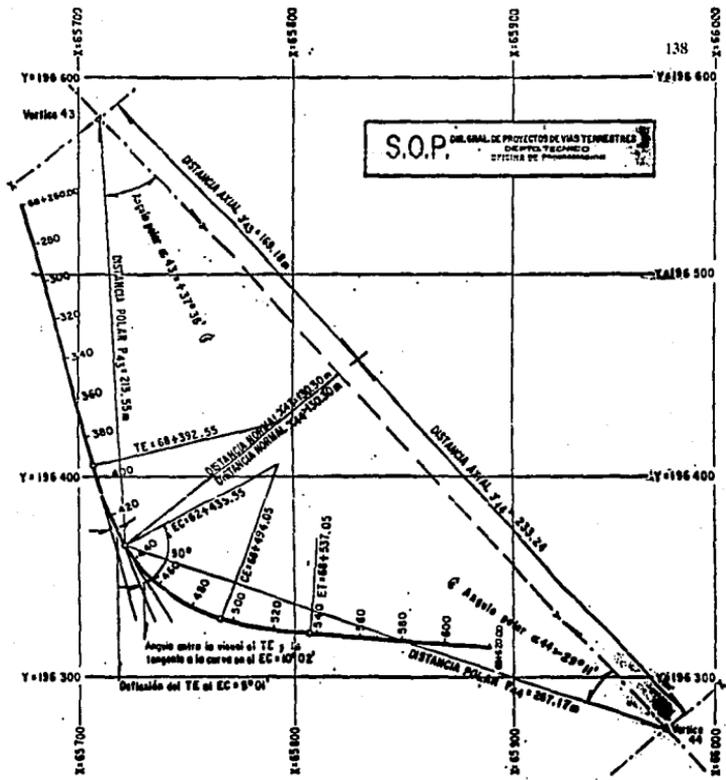
En la página siguiente, se muestra un listado de datos para el estacamiento del trazo definitivo en la forma en que se obtiene de la computadora, y a continuación, se han ejemplificado los procedimientos descritos para situar cualquier punto del trazo definitivo a partir de la poligonal de referencia, en la localización de la estación 68+435.55 que aparece marcada en el listado. (Figs. 6.17 y 6.18).

137

CAMINO LA PAZ - SAN JOSE DEL CABO TRAZO 110
 DATOS PARA EL ESTACAMIENTO DEL TRAZO DEFINITIVO HOJA 53

DATOS DE LA POLIGONAL DE APOYO					REFERENCIAS AL APOYO					REPLANTEO DE COORDENADAS RECTANGULARES LAS CURVAS					
EST	PV	AZIMUT	LONG	ELEV	ESTACION	AXIAL	NORMAL	COORDS	POLARES	DISTAN	ANGULO	DEFLX	CUERDA	ABSCISA	ORDENADA
G	M	M	M	M		M	M	G	M	M	M	G	M		
**					681260.00	389.10	46.84	8 39	401.80					68684.74	190554.44
**						-8.80	-46.84	-100 43	47.37						
43	44	136	82	402.42	482.60									68705.82	190570.70
**					681260.00	10.50	55.69	70 16	50.69					65070.02	190535.10
**						301.86	-55.69	-8 5	305.80						
**					681280.00	28.47	64.59	60 13	70.59					65075.90	190515.70
**						373.05	-64.59	-0 40	379.49						
**					681300.00	46.39	73.49	57 44	80.90					65680.99	190466.41
**						356.04	-73.49	-11 40	363.04						
**					681320.00	64.30	82.39	52 2	104.51					65680.07	190477.07
**						338.13	-82.39	-13 42	348.02						
**					681340.00	82.21	91.28	47 60	122.85					65691.15	190457.73
**						320.21	-91.28	-15 55	332.97						
**					681360.00	100.12	100.18	45 1	141.03					65698.24	190438.30
**						302.30	-100.18	-18 20	318.47						
**					681380.00	118.03	109.08	42 45	160.72					65704.34	190413.04
**						284.39	-109.08	-20 59	304.59						
**					681392.55	126.27	114.66	41 34	172.79					65704.51	190406.61
**						273.15	-114.66	-22 48	206.24						
**					681400.00	133.05	117.95	40 57	170.99	0 -0	7.45			65706.22	190399.70
**						268.47	-117.95	-23 53	291.41						
**					681420.00	154.28	125.98	39 14	190.17	-2 3	10.99			65712.42	190383.01
**						248.16	-125.98	-26 55	278.31						
**					681435.55	169.18	130.30	37 36	213.55	-5 1	15.53			65718.99	190366.56
**						233.24	-130.30	-29 11	267.17						
**					681440.00	173.97	131.07	37 4	217.50	-1 33	4.48			65721.39	190362.75
**						228.85	-131.07	-29 48	263.73						
**					681460.00	193.51	131.51	34 12	233.97	-8 33	19.95			65724.09	190347.41
**						208.91	-131.51	-32 11	246.85						
**					681480.00	212.97	127.10	30 50	248.02	-18 33	19.95			65750.20	190335.08
**						189.45	-127.10	-33 51	228.14						
**					681484.05	225.72	121.25	28 15	256.23	-20 29	14.03			65763.00	190329.53
**						176.70	-121.25	-34 27	214.30						
**					681500.00	230.79	118.13	27 6	259.27	-1 59	8.85			65768.59	190325.17
**						171.63	-118.13	-34 32	208.26						
**					681520.00	246.45	105.72	23 13	268.16	-7 18	19.98			65788.23	190324.54
**						155.98	-105.72	-34 8	188.43						
**					681537.06	258.78	92.89	19 57	275.28	-10 2	17.06			65805.74	190327.09
**						143.87	-92.89	-33 10	171.63						
**					681540.00	260.85	91.02	19 24	276.54					65806.28	190322.54
**						141.57	-91.02	-32 58	160.74						
**					681560.00	275.08	77.77	15 47	285.00					65828.22	190321.57
**						127.34	-77.77	-31 25	149.21						
**					681580.00	290.31	63.71	12 25	296.24					65848.17	190319.49
**						113.11	-63.71	-29 23	129.82						
**					681600.00	303.54	49.60	9 17	307.50					65868.11	190318.42
**						98.88	-49.60	-26 40	110.65						
**					681620.00	317.77	35.81	6 24	319.76					65888.06	190316.85

FIGURA 6.17



**LOCALIZACIÓN DEL E DE LA ESTACION 60+435.55 (EC)
 A PARTIR DE LA POLIGONAL DE REFERENCIA CON LOS DATOS
 PARA EL ESTACAMIENTO CORRESPONDIENTES DEL LISTADO
 DE LA CARPETA E**

FIGURA 6.18

6.4.2.6 Planos definitivos.

Realizado todo lo anterior se preparan todos los planos definitivos en fajas de 5 Km. para iniciar la construcción del camino, estos planos, contendrán la siguiente información:

- **Planta del camino.**- Representada en tramos de 5 Km. dibujada en papel transparente y resistente en tamaños de 0.50 m. de ancho por el largo necesario, conteniendo el trazo del eje definitivo con su cadenamamiento y curvas de nivel, la topografía de la zona; los puntos de la poligonal de referencia, además de casas o caminos cercanos.

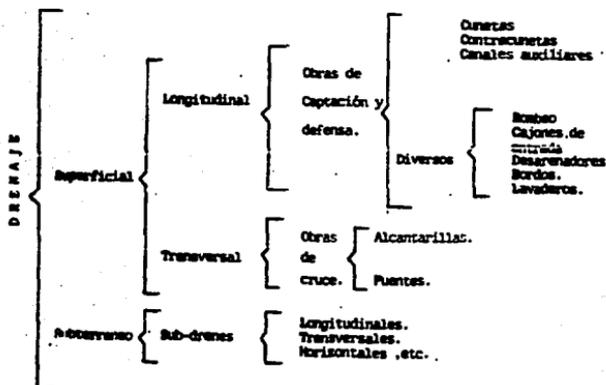
- **Perfil del eje definitivo.**- Este contendrá la subrasante proyectada; el kilometraje; los datos del alineamiento vertical como **PIV, PCV, PIV**, y elevaciones; el diagrama de curva masa, anotando los enunciados de terracerías y sus valores, la ubicación y tipo de las obras de drenaje, en la parte inferior contendrá los datos relativos a la curva masa, la clasificación del suelo, su coeficiente de variación volumétrica y el procedimiento de construcción.

- **Listado del estacamiento del proyecto definitivo.**- Como complemento a los datos anteriores se obtiene el listado de estacamiento que sirve para replantear en el campo el trazo definitivo proyectado.

6.5 DRENAJE EN EL CAMINO.

Uno de los elementos que mayores problemas causa a los caminos, es el agua, ya que en general provoca la disminución de la resistencia de los suelos, por lo que se presentan fallas en terraplenes, cortes y superficies de rodamiento. Lo anterior conduce a resolver el drenaje, de tal forma, que el agua se aleje lo más pronto posible de la obra. En consecuencia podría decirse que un buen drenaje es el alma del camino.

6.5.1 Clasificación del drenaje.



6.5.1.1 Drenaje superficial.

En caminos el drenaje superficial es el destinado a captar y eliminar las aguas que corren sobre el terreno natural ó sobre la estructura.

El drenaje superficial se clasifica según la posición que las obras guardan respecto al eje del camino en paralelo o longitudinal y transversal, a las obras de drenaje longitudinal también se les llaman obras de captación y defensa y a las obras transversales obras de cruce.

6.5.1.2 Drenaje longitudinal.

Es aquel drenaje que tiene por objeto captar los escurrimientos para evitar que lleguen al camino o permanezcan en él de tal manera que no causen desperfectos, quedan comprendidos en este tipo las cunetas, contracunetas, canales de encauzamiento, bordillos, se les llama drenaje longitudinal, porque está situado en forma mas o menos paralela al eje del camino.

- Cunetas.

Son las estructuras destinadas a recoger el agua que escurre de la superficie del camino debido al bombeo, así como la que escurre por los taludes de los cortes.

Las cunetas son zanjas que se localizan a la orilla del camino en los cortes, o cuando el camino es a pelo de tierra; desaguan en alcantarillas o por medio de canales de salida.

Para calcular el área hidráulica de las cunetas, será necesario tomar en cuenta las diferentes características del área por drenar. Se ha considerado suficiente para la mayoría de los casos la utilización de una sección triangular, cuya profundidad sea de 33 cm. y ancho de 1.00 metro. y con taludes del lado de la corona de 3:1 y del lado del corte la que corresponda al material que se encuentre; la longitud de ellas no deberá ser mayor de 250 metros., si sobrepasa esa cantidad, deberá construirse una obra de alivio.

Las cunetas rectangulares y trapezoidales, no son recomendables porque causan inseguridad a los conductores.

- Contracunetas.

Son canales destinados a evitar que llegue el agua a las cunetas, cuando éstas tienen una capacidad menor que la necesaria para el gasto, así como para evitar deslaves en los cortes.

Para su localización y proyecto deberá tomarse en cuenta la formación geológica del lugar, la topografía, la precipitación, el área por drenar, la cubierta vegetal y el tipo de suelo.

La sección de las contracunetas generalmente es de forma trapezoidal, a fin de asegurar un buen funcionamiento se ha establecido que las dimensiones sean de 0.80 m. en la plantilla y 0.50 m. de profundidad.

La distancia de la contracuneta al borde del corte será como mínimo de 5.00 m. o a una distancia igual a la altura del corte, si esta es mayor; su pendiente será uniforme evitándose que se rebase la velocidad de socavación; en el desfogue al llegar a la cañada u hondonada, se hará una rápida caída, protegiéndose el terreno natural, con zampeado o concreto. (Figura 6.19).

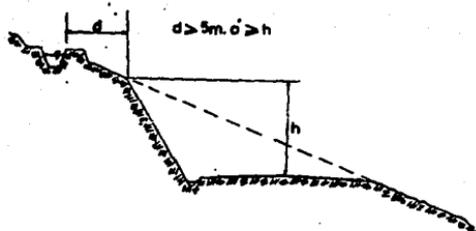


FIGURA 6.19

- Canales de encauzamiento o auxiliares.

Son canales construidos en donde el terreno es plano, el escurrimiento es de tipo torrencial y no existen cauces definidos. Se localizan en lugares donde intercepten el agua antes de que llegue al camino y la conduzca a sitios elegidos para construir una obra y efectuar el cruzamiento.

- Bordillos.

Son elementos de concreto asfáltico que se construyen sobre los hombros de la corona, para evitar que el agua escurra sobre los taludes erosionandolos, encauzando el agua hacia lavaderos u obras de alivio.

Su forma es trapesoidal con dimensiones de 16 cm. de base, 12 cm. de altura y 8 cm. de corona.

- Cajones de entrada, desarenadores y cunetas entubadas.

Las alcantarillas de alivio, deben de tener dispositivos que encaucen el agua de las cunetas hacia ellas, estos pueden estar constituidos por muros transversales, cajones de entrada, desarenadores, pozos de visita, e.t.c. (Figura 6.20).

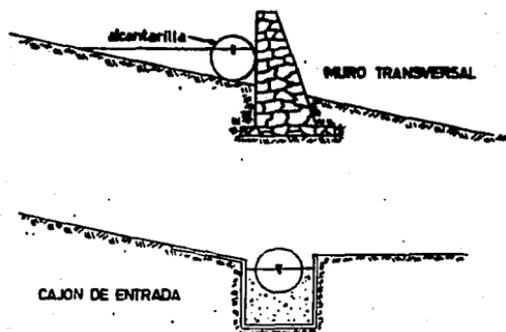


FIGURA 6.20

6.5.1.3 Drenaje transversal.

Es aquel drenaje que tiene por objeto dar paso, expedito al agua que cruza de un lado a otro del camino, o bien retirar lo más pronto posible el agua de su corona.

Se le llama drenaje transversal por que está situado en forma más o menos transversal al eje del camino.

De acuerdo a las dimensiones del claro de las obras de drenaje transversal, se ha convenido dividir a éste en mayor o menor. El drenaje mayor es aquel que requiere obras con claros mayor a 6.00 metros. A las obras de drenaje mayor se les denomina "PUENTES" y a las de drenaje menor "ALCANTARILLAS U OBRAS DE ARTE".

- Puentes.

Es la obra de drenaje que por su claro mayor de 6.00 metros, deberá realizarse un estudio más detallado del mismo; consta generalmente de unas pilas en las cuales se apoya una losa de concreto, por donde circulan los vehículos.

De acuerdo a sus dimensiones los puentes son generalmente de concreto reforzado.

- Alcantarillas u obras de arte.

Son estructuras de diversa forma que tienen la función de conducir y desalojar lo más pronto posible el agua de las hondonadas y partes bajas del terreno que atraviesan el camino. Estas estructuras de drenaje menor se clasifican en tubos, bóvedas, losas y cajones.

De acuerdo a la forma en como trabajan pueden ser rígidas y flexibles y de acuerdo con el material de que estén hechas pueden ser de fierro, concreto, mampostería, e.t.c.

- Tubos.

Son alcantarillas de sección interior usualmente circular y que para su funcionamiento requieren un espesor de terraplén o colchón de 0.60 metros.

- Bóvedas.

Son estructuras de sección transversal formada por un piso, dos paredes verticales y un arco circular de medio punto o rebajado.

- Losas.

Son estructuras formadas por dos muros de mampostería de tercera, sobre los que se apoya una losa de concreto reforzado.

- Cajones.

Son estructuras de sección rectangular con paredes, techo y piso de concreto reforzado.

En este tema no nos meteremos al diseño hidráulico de alcantarillas ni de puentes.

6.5.2 Drenaje subterráneo.

Parte del agua que cae sobre la corteza terrestre se evapora, otra escurre sobre ella y el resto se infiltra en las capas inferiores, sin embargo no toda el agua subterránea procede de la lluvia, si no que también hay agua atrapada como residuos de antiguos lagos u agua procedente de vapores arrojadas por actividad volcánica. Está se encuentra en las partículas del suelo o en cavidades de rocas, fallas o fracturas.

El agua fluye a través de los vacíos del suelo, pueden causar erosión y problemas de construir un camino en corte. Este flujo puede aflorar a través de los taludes y la cama del camino, lo que puede ocasionar fallas del talud o la destrucción del camino, además de traer otros problemas en el camino como la pérdida de cementación en el suelo, eleva las presiones neutrales disminuyendo la resistencia al esfuerzo cortante.

Por lo que se debe controlar y eliminar el agua a través de un drenaje subterráneo como captación y conducción.

Cuando el agua fluye a través de los taludes de corte o de la cama de los caminos, se debe a que se encuentra a una presión mayor que la atmosférica por lo que para captarla bastará introducir en la masa del suelo zonas de menor presión, o sea, introducir la presión atmosférica, lo cual se hace por medio de excavación o perforación conectadas a la atmósfera, esta zona de menor

presión creará un gradiente hidráulico hacia ella, de lo que resultará un flujo que podrá ser controlado.

Las obras de subdrenaje más comunes son los drenes longitudinales y los drenes transversales.

6.5.2.1 Drenes longitudinales.

Los drenes longitudinales de zanja, consisten en la apertura de una zanja al pie de los taludes de corte con profundidad mínima de 1.50 metros, llegando en algunas ocasiones a 4.00 metros, en el fondo sobre una plantilla de concreto pobre, se coloca un tubo de concreto perforado por su parte inferior y rellenado con material filtrante.

La finalidad de este tipo de subdren es bajar el nivel freático de la cama del camino y en menor escala disminuir la zona saturada del talud de corte, el material filtrante más adecuado es la grava-arena con tamaño máximo de grava de 2 plg., y 5% máximo de finos.

El fondo de la zanja tendrá pendiente necesaria para que el agua captada sea conducida hacia una obra de drenaje transversal.

6.5.2.2 Drenes transversales.

Cuando existen fuertes filtraciones a través de los taludes de corte, además de los drenes longitudinales de zanja, generalmente conviene la utilización de otro tipo de subdren que impide ese flujo. Para este fin es usual usar drenes transversales, que consisten en introducir tubos de acero de 5 cm., de diámetro, perforados lateralmente a través de los taludes, con pendiente hacia el camino de 5 a 20%, antes de la introducción se hace una perforación de 10 cm; la longitud de estos tubos debe ser tal que curse las probables superficies de falla, la intensidad del problema nos indicará la colocación de más tubos que pueden ser de 1, 2, ó 3 hileras cuya distancia adyacente varía entre 2 y 5 metros., el agua captada por el drenaje descargará a una cuneta o alguna obra especial para ello, como puede ser un tubo vitrificado de concreto plástico.

6.5.3 Funcionamiento del drenaje.

Una vez que se tiene el proyecto del drenaje, principalmente las alcantarillas, se procede a realizar el funcionamiento del mismo en tramos de 5 km., esto consiste en un resumen en forma de legajo, de la forma en que se solucionó el drenaje en ese tramo y consta de:

1.- Relación en forma tabulada de todas las obras, incluyendo puentes que se encuentren en el tramo.

2.- Resumen en el que se indique para cada una de las obras, la forma en que se resolvieron, indicando las observaciones que sean necesarias y se especificará a cuales escurrimientos se les suprimieron las obras y en que forma se canalizaron hacia las adyacentes, así como las rectificaciones de cauces.

3.- Se anexará para cada obra: Croquis de la planta con el eje de la obra, referenciando al eje del camino, registro y dibujo del eje de la obra y memoria de cálculo; planos respectivos.

6.6 EL PAVIMENTO.

Denominaremos pavimento a la capa o conjunto de capas comprendidas entre la subrasante y la superficie de rodamiento y cuya función principal es soportar las cargas rodantes y transmitir las a las terracerías, distribuyéndolas en tal forma que no se produzcan deformaciones perjudiciales en ellas.

En la actualidad se puede decir que no existe una terminología única para designar las diferentes partes que forman un pavimento. Sin embargo, comúnmente, tal como se representa en la Figura (6.21), un pavimento en su forma más completa se constituye de varias capas teniendo cada una de ellas su función específica.



FIGURA 6.21

En general los pavimentos se dividen en dos tipos: Los pavimentos rígidos o de concreto hidráulico y los pavimentos flexibles o de asfalto. La diferencia estructural entre ellos estriba en que los pavimentos flexibles presentan muy poca resistencia a la flexión.

En un pavimento rígido la losa de concreto suele constituir, al mismo tiempo, la capa de rodamiento y el medio para soportar y distribuir la carga. Cuando el suelo que forma las terracerías es de mala calidad, es necesario colocar bajo la losa un material de sub-base de grava bien graduada y compactada o de suelo estabilizado para conseguir una mejor distribución de las cargas. (Figura 6.22).

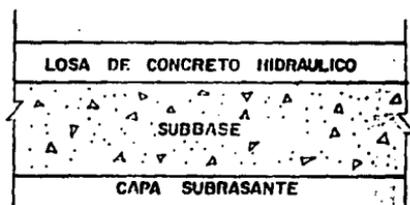


FIGURA 6.22 CAPAS QUE FORMAN UN PAVIMENTO RÍGIDO.

En el caso de los pavimentos flexibles, sus partes constitutivas son:

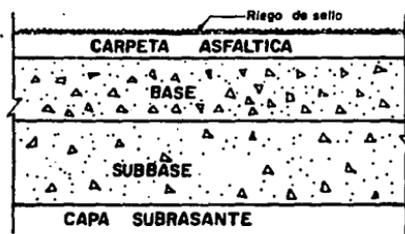


FIGURA 6.23 CAPAS QUE FORMAN EN GENERAL UN PAVIMENTO FLEXIBLE.

- La sub-base.

Es la capa de material que se construye directamente sobre la terracería y que está formada por un material de mejor calidad que el de aquella, obtenido en la generalidad de los casos de depósitos cercanos a la obra.

La sub-base tiene como función:

a) Reducir el costo del pavimento disminuyendo el espesor de la base que se construye, generalmente, con materiales de mayor costo por tener que cumplir con especificaciones más rígidas.

b) Proteger a la base aislándola de la terracería ya que cuando ésta, está formada por material fino y plástico (generalmente es el caso) y cuando la base es de textura abierta, de no existir el aislamiento dado por el material de sub-base, el material de la terracería se introduciría en la base pudiendo provocar cambios volumétricos perjudiciales al variar las condiciones de humedad, a la vez que se disminuiría la resistencia estructural de la base. El aislamiento producido por la sub-base no solo consiste en evitar que los finos plásticos de la terracería se introduzcan en la base de textura abierta, sino también evitar los **BUFAMIENTOS** y revoltura de ambos materiales cuando se usan piedras trituradas o gravas de río para formar la base.

c) En caminos en construcción frecuente se construye la sub-base, que propiamente es un revestimiento provisional, para tener una superficie de rodamiento que facilite, en cualquier época del año, el paso del equipo de construcción y de los vehículos que transiten por el camino antes de quedar o pavimentado. Si el revestimiento provisional una vez que ha estado en servicio reúne las condiciones de calidad para sub-base, este espesor debe tomarse en cuenta al proyectar el espesor total del pavimento, de lo contrario debe dejarse como parte de las terracerías.

- La base.

Es la capa de material que se construye sobre la sub-base o, a falta de ésta, sobre la terracería, debiendo estar formada por materiales de mejor calidad que el de la sub-base.

Los principales requisitos que debe satisfacer la capa de base son:

a) Tener en todo el tiempo la resistencia estructural para soportar las presiones que le sean transmitidas por los vehículos estacionados o en movimiento.

b) Tener el espesor necesario para que dichas presiones al ser transmitidas a la sub-base o a la subrasante, no excedan la resistencia estructural de éstas.

c) No presentar cambios volumétricos perjudiciales al variar las condiciones de humedad.

- La carpeta asfáltica.

Es la capa de material pétreo cementado con asfalto que se coloca sobre la base para satisfacer las siguientes funciones:

a) Proporcionar una superficie de rodamiento adecuada que permita, en todo tiempo, un tránsito fácil y cómodo de los vehículos.

b) Impedir la infiltración del agua de lluvia hacia las capas inferiores, para impedir que el agua disminuya su capacidad para soportar las cargas.

c) Resistir la acción destructora de los vehículos y de los agentes climatológicos.

CAPITULO VII

ELABORACIÓN DEL PROYECTO DE UN CAMINO EN CLASE

7.1 GENERALIDADES.

En este capítulo vamos a describir de una manera detallada, como se realiza el proyecto de un camino en clase, utilizando el método convencional.

En el capítulo anterior (tecnología de proyecto), se explica de una forma general como se obtiene la configuración topográfica del terreno en donde se desea construir un camino.

Para la elaboración de nuestro proyecto vamos a suponer que ya tenemos vaciada en un plano la raja de topografía que necesitamos para proyectar el eje del camino, la escala tendrá que ser de 1:2.000 con curvas de nivel a cada 2.00 metros.

Dicho plano nos lo puede proporcionar el profesor que de la clase, o bien, nos indicara que lo obtengamos de cartas topográficas elaboradas por la S.C.T. o Ferrocarriles Nacionales, generalmente en estas dependencias podemos obtener plantas topográficas, en las cuales se realizan estudios para la proyección de caminos.

Estas plantas generalmente son de lomerío fuerte ó montañosas, las cuales son propicias para el uso de la combinación de pendientes y para poder proyectar curvas horizontales de diferentes grados.

7.2 NORMAS DE PROYECTO GEOMÉTRICO PARA CARRETERAS.

Las normas de proyecto geométrico para carreteras variarán según el volumen de tránsito en el horizonte de proyecto y de las características topográficas del terreno que atraviesen .

De acuerdo al volumen de tránsito las carreteras se clasifican de la siguiente manera:

a) TIPO "A" :

- 1) Tipo "A₁" para un TDPA de 3,000 a 5,000 vehículos.
- 2) Tipo "A₂" para un TDPA de 5,000 a 20,000 vehículos.

b) Tipo "B" para un TDPA de 1,500 a 3,000 vehículos.

c) Tipo "C" para un TDPA de 500 a 1,500 vehículos.

- d) Tipo "D" para un TDPA de 100 a 500 vehículos.
- e) Tipo "E" para un TDPA de hasta 100 vehículos.

Las características topográficas del terreno que atraviesen puede ser del siguiente tipo:

- a) Plano.
- b) Lomerío.
- c) Montañoso.

Los valores de las especificaciones geométricas que se toman en cuenta para el proyecto de caminos en México se muestran en la tabla (7-A). La clasificación está con base en el tránsito diario promedio anual (TDPA) futuro.

7.3 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL CAMINO (CARRETERA), POR PROYECTAR.

El camino por proyectar será del tipo C con un TDPA de 500 a 1,500 vehículos, vamos a suponer que:

- El camino atravesará un terreno del tipo montañoso.
- Que la velocidad de proyecto sea de 40 km/h.

Con estos datos y con las normas de proyecto geométrico para carreteras obtenemos que :

- 1.- La pendiente gobernadora será del 6 %, pero para el compás utilizaremos la del 5 %.
- 2.- La pendiente máxima será del 8 %.
- 3.- El bombeo será del 2 %.
- 4.- La sobreelevación máxima será del 10 %.

7.4 OBTENCIÓN DE LA LÍNEA A PELO DE TIERRA.

Se le da el nombre de línea a pelo de tierra a una línea con una pendiente dada (siempre menor que la gobernadora) que se arrastra adaptándose a las irregularidades del terreno y que por lo tanto no tiene terracerías (ya sean cortes ó terraplenes).

El trazo de la "línea a pelo de tierra" se realiza empleando el "método del compás". La pendiente que se utiliza es un poco menor que la gobernadora ya que en las etapas que siguen se propicia el aumento de la pendiente.

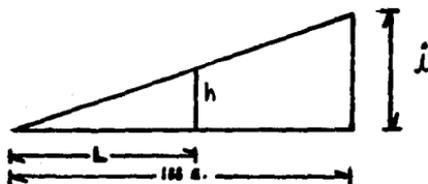
Para el trazo de la línea a pelo de tierra los datos con los que contamos son:

- | | |
|--|-----------|
| a) Escala de los planos topográficos. | 1:2,000 |
| b) Equidistancias entre curvas de nivel. | 2 metros. |
| c) Pendiente que lleva el camino. | 5%. |

Conociendo la equidistancia entre curvas de nivel y la pendiente que se desea para el camino, se calcula la abertura del compás para que al interceptar con sus puntas dos curvas de nivel contiguas, la línea que une estos puntos tenga la pendiente deseada.

Para nuestro proyecto tenemos que:

La equidistancia en el plano entre curvas de nivel es de 2,00 metros, y la pendiente con que se quiere proyectar la línea es del 5 %, cada vez que se pase de una curva a otra se subirán o bajarán dos metros, por lo tanto la abertura entre las puntas del compás se establecerá así: Si para 100 metros se asciende el valor de la pendiente l ó cual será el valor de L para ascender la altura h ?, para ello se establece la proporción:



$$\frac{L}{100} = \frac{h}{i}$$

de donde:

$$L = \frac{100 h}{i}$$

que para nuestro ejemplo da:

$$L = \frac{100 h}{i} = \frac{100 \cdot 2}{5} = \frac{200}{5} = 40 \text{ metros.}$$

Posteriormente se procede a calcular la abertura del compás conociendo la escala del plano y haciendo la siguiente relación:

El plano está a una escala de 1:2,000, por lo tanto:

$$\frac{1}{2000} = \frac{A \text{ compas}}{L} \quad \text{pero} \quad L = 40 \text{ metros.}$$

$$A \text{ compas} = \frac{L}{2000} = \frac{40}{2000} = 0.02 \text{ m.} = 2 \text{ cm.}$$

por lo tanto:

2 cm. equivaldrá a 40 metros en el plano.

1 cm. equivaldrá a 20 metros en el plano.

Ya obtenido esto se procede a ascender o descender marcando en cada curva de nivel consecutiva el punto donde el compás las corta, y uniendo estos puntos obtendremos una línea quebrada llamada "LÍNEA A PELO DE TIERRA".

En la Figura (7.1), se ilustra el método del compás.

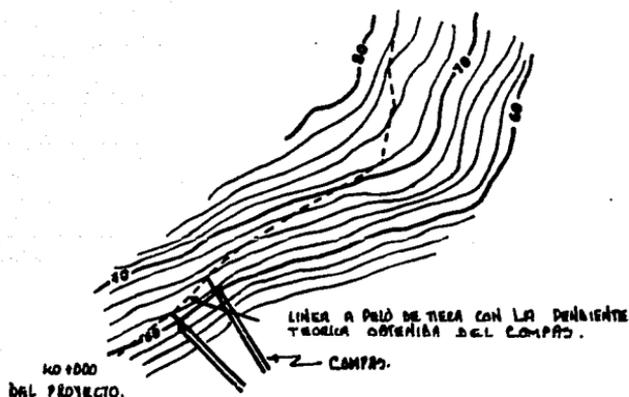


FIGURA 7.1 MÉTODO DEL COMPÁS.

7.5 OBTENCIÓN DE LAS TANGENTES.

La línea quebrada es la base para proyectar el trazo de la línea definitiva que, con las tangentes de mayor longitud posible, deberá apegarse lo más que se pueda a la línea a pelo de tierra. En la práctica, esto se logra con el uso en donde se necesite, de las especificaciones máximas geométricas, principalmente de tipo horizontal; se procurara enderezar el trazo con tangentes lo más largas posibles compensando a izquierda y derecha para obtener la línea de proyecto en base al trazo de la de apelo de tierra, para lograr una primera compensación longitudinal, al compensar a la izquierda y la derecha quiere decir que la tangente que se trace cortara a la de pelo de tierra quedando puntos de está a uno y otro lado de la tangente con desniveles semejantes hacia uno y otro lado.

La forma de apegarse a la línea "a pelo de tierra" dependerá de las especificaciones de G_c que se pueda utilizar, de acuerdo al tipo de terreno y del camino que se este proyectando. La compensación a la izquierda y a la derecha de la línea a pelo de tierra se hará en distancias cortas para terrenos montañosos (Fig. 7.2), y en distancias más grandes para terrenos de lombrío (Fig. 7.2 A).

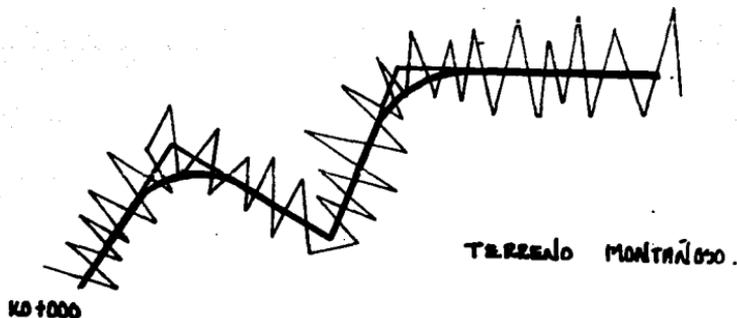


FIGURA 7.2

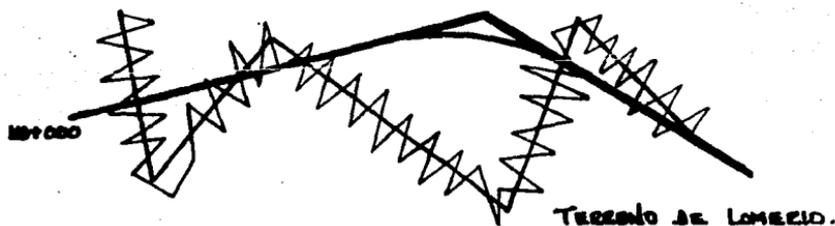


FIGURA 7.2 A

No debe de tomarse como una regla fija que el proyecto sea una línea que compense en planta a derecha e izquierda las ondulaciones de la línea a "pelo de tierra".

Si el terreno tiene una pendiente transversal fuerte conviene que el eje de la línea se encuentre hacia arriba de la línea a pelo de tierra, para que el camino quede en firme al proyectarse posteriormente la rasante; en este caso no habrá compensación lateral de las terracerías sino desperdicio (Fig. 7.3 A).

Si la ladera no es muy inclinada, el ingeniero considerará la posibilidad de construir muros de sostenimiento en las colas de los terraplenes, para que se detengan; la solución es conveniente ya que permite a veces conservar un buen alineamiento. Sin embargo, los muros de contención para sostener la cola de los terraplenes, son frecuentemente costosos; cuando su costo excede de un límite razonable en proporción con la importancia y características del camino es preferible mover el eje del camino hacia adentro de la ladera, para que quede todo en firme (Fig. 7.3 B).



FIGURA 7.3 A

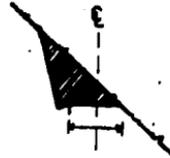


FIGURA 7.3 B

Otra recomendación importante es que en los extremos de tangentes largas no se proyecten curvas cerradas, aunque ello signifique separarse algo de la línea ideal.

7.6 PERFIL DEDUCIDO.

Cuando la configuración topográfica está hecha con cuidado y se tiene la seguridad de que las curvas de nivel que cruza la línea proyectada en el plano corresponde a la topografía del terreno se puede deducir un perfil que diferirá muy poco del que se obtenga nivelando la línea del trazo definitivo.

Este perfil deducido es muy ventajoso porque permite ir modificando el proyecto en el plano antes de hacer el cadenamamiento definitivo de las curvas, lo que se ahorra mucho tiempo. Se puede observar entonces que pequeños cambios pueden significar grandes economías en volumen de terracerías, especialmente si el terreno es muy movido; facilita también la labor de compensar cortes y terraplenes, especialmente en cuestas largas para ver la efectividad de utilizar combinaciones de pendientes incluyendo aquellas mayores a la gobernadora con sus distancias máximas permisibles.

Para dibujar un perfil deducido se procede de la siguiente forma:

Para cada punto marcado como estación en el cadenamamiento, se tendrá que ir leyendo la cota (interpolando lo necesario) que le corresponde según las curvas de nivel .

Si no queremos demasiada precisión, no necesitaremos tomar la lectura de todas y cada una de las estaciones, podemos ser un tanto selectivos y solo tomar en cuenta estaciones cerradas, o puntos de cota redonda, fondos de escurrideros, cimas, e.t.c., o sea considerar todos aquellos puntos que nos permitan dibujar con la mayor precisión posible, el perfil del terreno por el que va pasando la línea de proyecto. Esto se puede hacer en trabajos preliminares como la selección de ruta, pero para el anteproyecto ya se requiere mayor exactitud.

El objetivo de este perfil deducido, es el de trazar sobre el, un anteproyecto de subrasantes, para ver si la proposición hecha en planta, es factible, o es necesario hacer pequeños ajustes en planta para optimizar los costos de la obra.

En la Figura (7.4), se da un ejemplo de como sacar el perfil deducido.

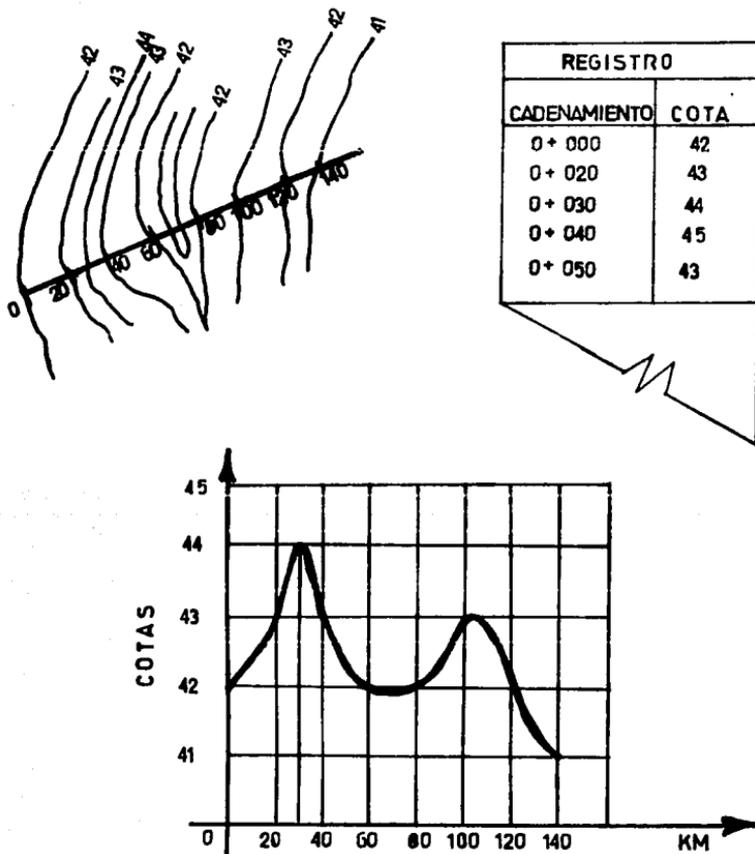


FIGURA 7.4

7.7 ENDEREZADO CON EL USO DE SERCHAS DE CURVAS CIRCULARES, PRIMER CADENAMIENTO DE LA LÍNEA Y PERFIL DEDUCIDO DEL TRAZO CON CURVAS CIRCULARES.

Ya obtenidas las tangentes sucesivas éstas se ligan mediante curvas circulares.

Una forma muy práctica de adaptar las curvas gráficamente a las tangentes propuestas, es la de construir en material transparente (plástico) círculos para el dibujo preliminar de las curvas a la escala de trabajo; estas plantillas se construirán para los grados más usuales.

Las dimensiones de las serchas para nuestro proyecto, se calculan de la siguiente manera:

Sabemos que:

$$R_c = \frac{1145.92}{G_c}$$

por lo tanto para un $G_c = 10^\circ$, se tiene que el $R_c = 114.592$ m. este radio de curvatura se tendrá que expresar a una escala de 1:2,000 la cual es la escala de la planta topográfica, para este ejemplo el R_c es de aproximadamente 5.70 cm., de esta manera se obtienen las dimensiones del R_c para cualquier G_c .

De acuerdo a la longitud de las tangentes y sus deflexiones se colocara la plantilla de la curva circular del mayor grado posible de tal manera que se apegue lo más que se pueda al terreno procurando que entre curvas sucesivas exista una entre tangencia mínima de 20 a 50 m. de acuerdo al tipo de camino; teniendo en mente la economía. Véase Figura (7.5).

Posteriormente, ya con las curvas circulares se procede al primer cadenamiento de la línea, marcando estaciones a cada 20 metros y numerando las marcas correspondientes a los hectómetros y kilómetros.

Este cadenamiento se puede hacer con líneas muy suaves para que posteriormente se facilite el cadenamiento definitivo.

Ya situadas y cadeneadas las curvas circulares en el plano, se procede a sacar el perfil deducido como se indico anteriormente.

Una vez obtenido el perfil deducido de la línea con curvas circulares se procede a realizar ajustes al mismo para obtener la mejor línea posible.

Un ejemplo de ajustes se da en el proyecto, en el que se observo que a partir del kilometro 1+300, se tenía un perfil con una gran pendiente (mayor a la máxima), se busco en el plano la manera de ubicar tangentes, las cuales al unir estas con curvas circulares dieran como resultado un perfil con pendientes menores que la máxima especificada.

Ya realizados todos los ajustes necesarios, se procede a colocar en el plano las curvas horizontales (curvas circulares y con espirales de transición) que mejor se apeguen a las condiciones del terreno, procurando que entre curvas sucesivas exista una entretangencia mínima de $2N$ (N = Longitud necesaria de transición entre bombeo a sobreelevación.).

Una vez que en el plano se ha escogido la curva adecuada se pasa a la etapa del cadenamamiento definitivo y al cálculo y dibujo de las curvas horizontales.

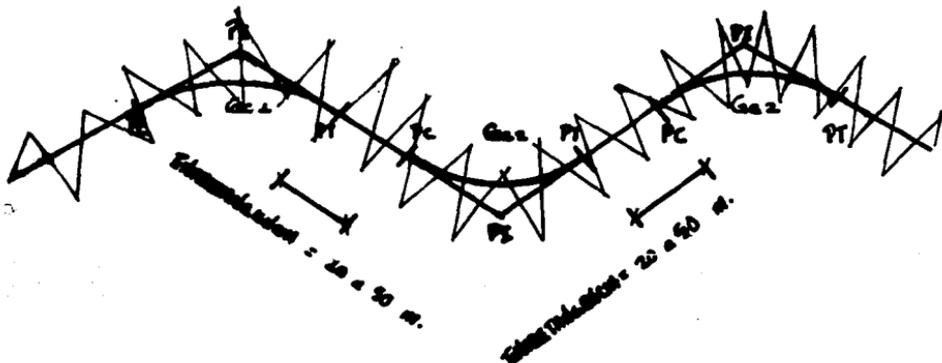


FIGURA 7.5

7.8 CALCULO Y DIBUJO FINAL DE LAS CURVAS HORIZONTALES:

El cálculo y dibujo se hace llevando simultáneamente el cadenamamiento.

- 1.- Se hace el cadenamamiento hasta el primer PI (punto de intersección).
- 2.- Se obtiene la deflexión de las cuerdas por trigonometría.
- 3.- Se procede al cálculo de los elementos de las curvas horizontales correspondientes y se empieza el dibujo a partir del PI.

Uno de los principales elementos de las curvas horizontales es la **STe**, que medida sobre las tangentes a partir del **PI**, determinará los puntos en donde principia y termina la curva, llamados **PC** y **PT** respectivamente si es el caso de una curva circular ó **TE** y **ET** si se trata de una curva circular con espirales de transición.

Ya calculada y dibujada la primera curva, se prosigue el cadenamamiento a partir del ET, hasta llegar al siguiente PI, donde se repiten los pasos ya descritos.

A continuación se presentan las formulas empleadas para el cálculo de los elementos de las curvas circulares y de transición.

A) PARA CURVAS CIRCULARES TENEMOS:

1.- Angulo central:

$$\Delta_c = \sin^{-1} \frac{A}{B}$$

2.- Longitud de la curva:

$$l_c = 20 \frac{\Delta_c}{G_c}$$

3.- Subtangente:

$$ST_c = Rc \tan \frac{\Delta_c}{2}$$

4.- Externa:

$$E = Rc \left[\sec \frac{\Delta_c}{2} - 1 \right] = Rc \left[\frac{1}{\cos \frac{\Delta_c}{2}} - 1 \right]$$

5.- Ordenada media:

$$M = Rc \sin \text{ver} \frac{\Delta_c}{2} = Rc \left[1 - \cos \frac{\Delta_c}{2} \right]$$

6.- Cuerda larga:

$$CL = 2 Rc \text{sen} \frac{\Delta_c}{2}$$

7.- Angulo de la cuerda larga:

$$\phi_c = \frac{G_c l_c}{40}$$

B) PARA CURVAS CIRCULARES CON ESPIRALES DE TRANSICIÓN TENEMOS:

1.- Longitud mínima de la espiral de transición:

$$l_s \text{ min} = 8 \text{ V S}$$

2.- Parámetro de la espiral:

$$K = \sqrt{R_c l_s}$$

3.- Deflexión de la curva:

$$\Delta = \sin^{-1} \left[\frac{A}{B} \right]$$

4.- Deflexión de la espiral, en grados:

$$\theta_s = \frac{G_c l_s}{40}$$

5.- Longitud total de la curva:

$$L = \frac{40 \theta_s + 20 \Delta}{G_c}$$

6.- Coordenadas del EC:

$$x_c = \frac{l_s}{100} [100 - 0.00305 \theta_s^2]$$

$$y_c = \frac{l_s}{100} [0.582 \theta_s - 0.0000126 \theta_s^3]$$

7.- Coordenadas del PC:

$$p = y_c - R_c [1 - \cos \theta_c]$$

$$k = x_c - R_c \sin \theta_c$$

8.- Subtangente:

$$STs = k + [Rc + p] \tan \frac{\Delta}{2}$$

9.- Externa:

$$Ec = [Rc + p] \sec \frac{\Delta}{2} - Rc$$

10.- Cuerda larga:

$$CLs = \sqrt{x_c^2 + y_c^2}$$

11.- Tangente larga:

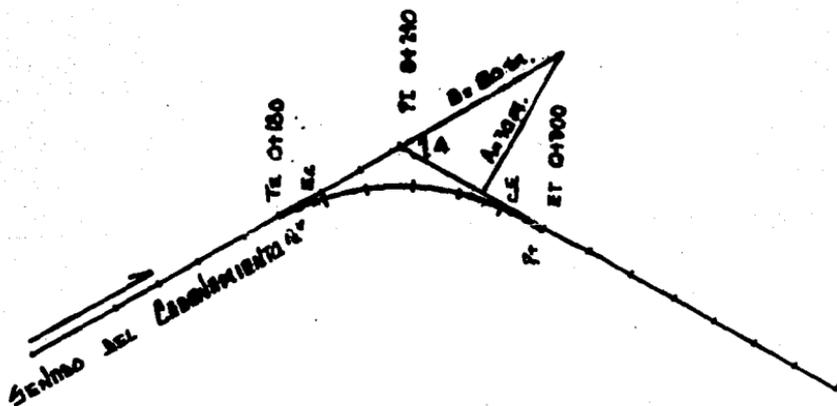
$$TL = x_c - y_c \cot \theta_c$$

12.- Tangente corta:

$$Tc = y_c \operatorname{cosec} \theta_c = y_c \frac{1}{\sin \theta_c}$$

* Δ , se calcula por trigonometría, para que obtengamos la deflexión en grados y minutos.

A continuación, se muestran los dibujos y los resultados obtenidos del cálculo de los elementos de las curvas horizontales (circulares y de transición) del proyecto empleando las formulas anteriores.

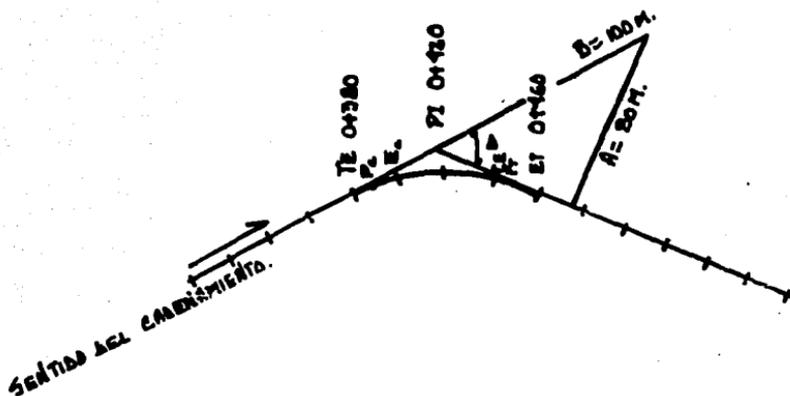


VALORES DE LOS ELEMENTOS DE LA CURVA No. 1

Datos:

$G_c = 15^\circ$ por lo tanto es una curva circular con espirales de transición.
 $R_c = 76.39$ m. Obtenido de la tabla (7-B).

1.-	l_{ms}	= 16.00	m.
2.-	k_p	= 34.96	m.
3.-	Δ	= $61^\circ 02' 41''$	(A = 70 m., B = 80 m.)
4.-	θ_s	= $6^\circ 00' 00''$	
5.-	L	= 97.39	m.
6.- EC:	x_c	= 15.98	m.
	y_c	= 0.55	m.
7.- PC:	p	= 0.13	m.
	k	= 8.00	m.
8.-	STe	= 53.11	m.
9.-	Ec	= 12.44	m.
10.-	CLe	= 4.06	m.
11.-	TL	= 10.74	m.
12.-	Tc	= 5.26	m.



VALORES DE LOS ELEMENTOS DE LA CURVA No. 2

Datos:

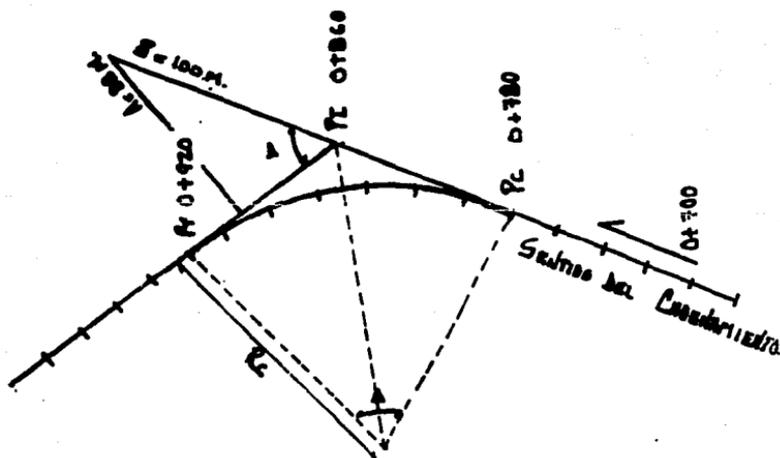
$$G_c = 20^\circ$$

por lo tanto es una curva circular con espirales de transición.

$$R_c = 57.30 \text{ m.}$$

Obtenido de la tabla (7-B).

1.-	$l_{1, m}$	= 21.33	m.
2.-	k_1	= 34.96	m.
3.-	Δ	= $53^\circ 07' 48''$	(A= 80 m., B=100 m.)
4.-	θ_1	= $10^\circ 39' 36''$	
5.-	L	= 75.00	m.
6.- EC:	x_c	= 21.26	m.
	y_c	= 1.32	m.
7.- PC:	p	= 0.33	m.
	k	= 10.65	m.
8.- STe		= 39.76	m.
9.- Ec		= 7.13	m.
10.- CLe		= 4.75	m.
11.- TL		= 14.25	m.
12.- Tc		= 7.13	m.



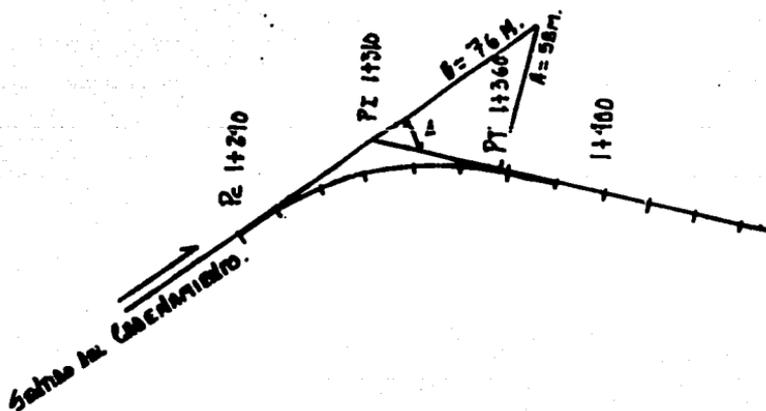
VALORES DE LOS ELEMENTOS DE LA CURVA No.3

Datos:

$G_c = 10^\circ$ Por lo tanto es una curva circular.

$R_c = 114.59$ m.

- | | | | |
|-----|----------|-----------------------|-------------------------|
| 1.- | Δ | = $61^\circ 38' 33''$ | (A = 88 m., B = 100 m.) |
| 2.- | l_c | = 123.28 | m. |
| 3.- | ST_e | = 68.36 | m. |
| 4.- | E | = 18.84 | m. |
| 5.- | M | = 16.18 | m. |
| 6.- | CL | = 117.43 | m. |
| 7.- | ϕ_c | = $30^\circ 49' 16''$ | |



VALORES DE LOS ELEMENTOS DE LA CURVA No.4

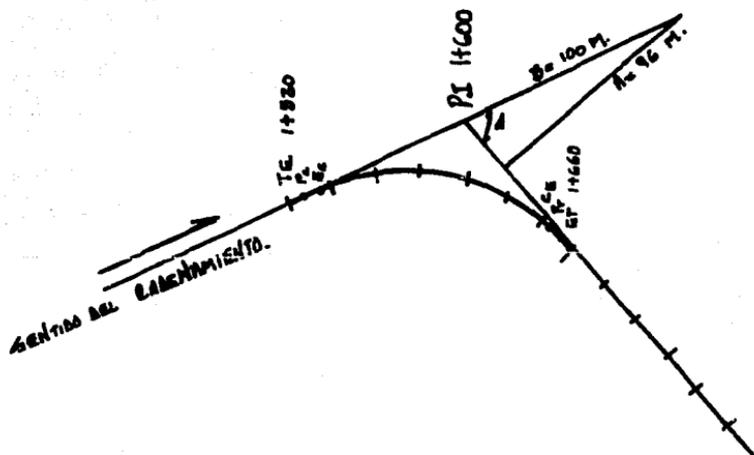
Datos:

$$G_c = 10^\circ$$

Por lo tanto es una curva circular.

$$R_c = 114.59 \text{ m.}$$

- | | | | | |
|-----|----------|---|-------------------|---------------------|
| 1.- | Δ | = | $49^\circ44'36''$ | (A= 58 m, B= 76 m.) |
| 2.- | l | = | 99.48 | m. |
| 3.- | STe | = | 53.12 | m. |
| 4.- | E | = | 11.71 | m. |
| 5.- | M | = | 10.63 | m. |
| 6.- | CL | = | 96.39 | m. |
| 7.- | ϕ_c | = | $24^\circ52'18''$ | |



VALORES DE LOS ELEMENTOS DE LA CURVA No. 5

Datos:

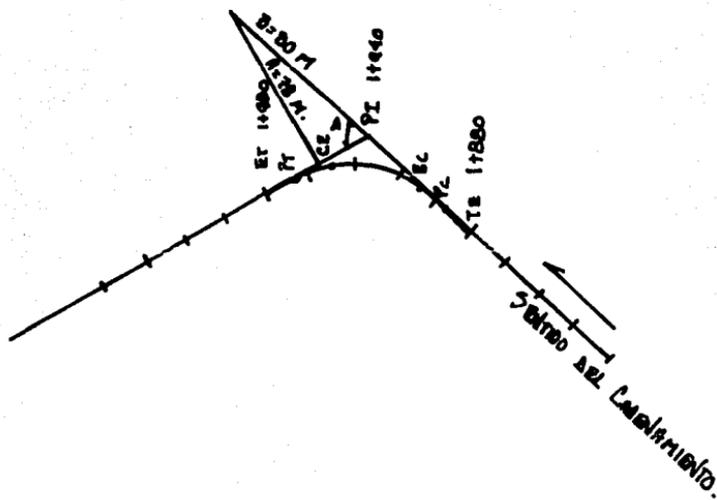
$$Gc = 15^\circ$$

por lo tanto es una curva circular con espirales de transición.

$$Rc = 76.39 \text{ m.}$$

Obtenido de la tabla (7-B).

1.-	l_{ms}	= 16.00	m.
2.-	k_p	= 34.96	m.
3.-	Δ	= $73^\circ44'20''$	(A= 96 m., B=100 m.)
4.-	θ_s	= $6^\circ00'00''$	
5.-	L	= 114.32	m.
6.- EC:	x_c	= 15.98	m.
	y_c	= 0.56	m.
7.- PC:	p	= 0.14	m.
	k	= 8.00	m.
8.-	STe	= 65.39	m.
9.-	Ec	= 19.27	m.
10.-	CLe	= 4.07	m.
11.-	TL	= 10.65	m.
12.-	Tc	= 5.36	m.

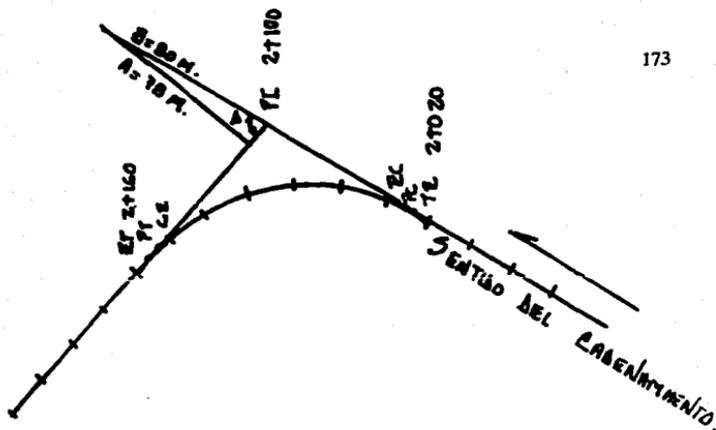


VALORES DE LOS ELEMENTOS DE LA CURVA No. 6

Datos:

$G_c = 30^\circ$ por lo tanto es una curva circular con espirales de transición.
 $R_c = 38.20$ m. Obtenido de la tabla (7-B).

1.-	l_{min}	= 32.00	m.
2.-	k_p	= 34.96	m.
3.-	Δ	= $77^\circ 09' 39''$	(A= 78 m., B= 80 m.)
4.-	θ_p	= $24^\circ 00' 00''$	
5.-	L	= 83.44	m.
6.-	EC:		
	x_c	= 31.43	m.
	y_c	= 4.42	m.
7.-	PC:		
	p	= 1.11	m.
	k	= 15.90	m.
8.-	STe	= 47.26	m.
9.-	Ec	= 12.08	m.
10.-	CLe	= 5.98	m.
11.-	TL	= 21.50	m.
12.-	Tc	= 10.87	m.

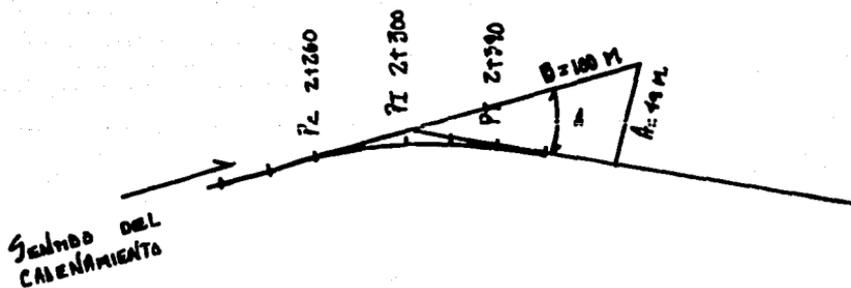


VALORES DE LOS ELEMENTOS DE LA CURVA No. 7

Datos:

$\alpha_c = 15^\circ$ por lo tanto es una curva circular con espirales de transición.
 $R_c = 76.39$ m. Obtenido de la tabla (7-B).

1.-	l_{min}	= 16.00	m.
2.-	k_p	= 34.96	m.
3.-	Δ	= $77^\circ 09' 42''$	(A = 78 m., B = 80 m.)
4.-	θ_c	= $6^\circ 00' 00''$	
5.-	L	= 118.88	m.
6.- EC:	x_c	= 15.98	m.
	y_c	= 0.55	m.
7.- PC:	p	= 0.13	m.
	k	= 8.00	m.
8.-	STe	= 69.04	m.
9.-	Ec	= 21.50	m.
10.-	CLe	= 4.06	m.
11.-	TL	= 10.75	m.
12.-	Tc	= 5.26	m.



VALORES DE LOS ELEMENTOS DE LA CURVA No.8

Datos:

$$G_c = 10^\circ$$

Por lo tanto es una curva circular.

$$R_c = 114.59 \text{ m.}$$

- | | | | | |
|-----|----------|---|---------------------|----------------------|
| 1.- | Δ | = | $26^\circ 06' 00''$ | (A= 44 m., B=100 m.) |
| 2.- | l_c | = | 52.20 | m. |
| 3.- | STe | = | 26.56 | m. |
| 4.- | E | = | 3.04 | m. |
| 5.- | M | = | 2.96 | m. |
| 6.- | CL | = | 51.75 | m. |
| 7.- | ϕ_c | = | $13^\circ 03' 07''$ | |

MEDIDA DE LOS ELEMENTOS DE LAS CURVAS HORIZONTALES.																				
CURVA	R	Δ	Δ/2	Δ/4	Δ/8	Δ/16	Δ/32	Δ/64	Δ/128	Δ/256	Δ/512	Δ/1024	Δ/2048	Δ/4096	Δ/8192	Δ/16384	Δ/32768	Δ/65536	Δ/131072	
1	0+240	15'	76.38	16.03	34.98	81°32'41"	0°30'00"		9°30	18.00	0.50	0.13	0.03	03.11	12.44			4.88	10.74	5.38
2	0+400	20'	87.30	21.20	34.98	82°02'40"	1°30'00"		76.60	21.20	1.30	0.33	10.68	39.76	7.13			4.75	14.25	7.12
3	0+880	10'	114.88			81°38'22"		128.00						68.30	18.66	16.16	117.02		30°00'10"	
4	1+210	10'	114.88			80°04'20"		98.48						62.12	17.71	10.83	88.30		30°00'10"	
5	1+400	15'	76.38	16.03	34.98	72°04'20"	0°00'00"		14.20	18.00	0.80	0.14	0.00	68.30	19.77			4.87	10.66	5.28
6	1+880	30'	36.20	32.00	34.98	77°00'00"	2°00'00"		88.44	31.42	4.42	1.11	18.90	47.26	12.08			8.88	21.88	10.87
7	2+100	15'	76.38	16.03	34.98	77°00'40"	0°00'00"		116.18	18.00	0.80	0.13	0.00	68.04	21.80			4.88	10.75	5.38
8	2+300	10'	114.88			80°00'00"		88.88						68.88	3.04	2.00	81.76		12°00'00"	

7.9 PERFIL DEDUCIDO FINAL.

Una vez calculadas todas las curvas horizontales, se obtiene el perfil deducido del proyecto final del centro de línea, y solamente en casos muy indispensables se realizará alguna corrección, pero generalmente este perfil es el último deducido.

Este perfil deducido se puede ir obteniendo a medida que se calculan y dibujan las curvas, de manera que si es indispensable algún ajuste se deberá realizar antes de continuar con el proyecto definitivo del alineamiento horizontal.

El perfil deducido final se dibuja en papel milimétrico grueso, de tal manera que permita su manejo sin maltratarse y admita borrar los varios proyectos o ensayos de rasante que se hagan.

Las escalas serán:

1:2,000	Para la horizontal y
1:200	Para la vertical.

El perfil del terreno se dibujará con tinta china negra y todos los ensayos de proyecto de rasante se harán con lápiz hasta obtener el mejor proyecto, tanto por lo que hace a pendientes, como a visibilidad, volúmenes, e.t.c.

7.10 PROYECTO DE LA SUBRASANTE.

El costo de construcción, parte integrante de los costos en que se basa la evaluación de un camino, está gobernado por los movimientos de terracerías. Esto implica una serie de estudios que permitan tener la certeza de que los movimientos a realizar sean lo más económicos, dentro de los requerimientos que el tipo de camino fija.

La subrasante a la que corresponden los movimientos de terracerías más económicos se le conoce como subrasante económica (ya vista anteriormente).

Para su proyecto se deben analizar el alineamiento horizontal, el perfil longitudinal, y las secciones transversales del terreno, los datos relativos a la calidad de los materiales, así como la elevación mínima que se requiere para dar cabida a las estructuras como puentes, pasos a desnivel alcantarillas, e.t.c.

7.10.1 Elementos que definen el proyecto de la subrasante.

En primer lugar para el proyecto de la subrasante se deben tomar en cuenta las normas del alineamiento horizontal, principalmente lo relativo a las distancias críticas para pendientes mayores a la gobernadora y a la pendiente máxima.

Los elementos que definen el proyecto de la subrasante económica son:

- a) Condiciones topográficas.
- b) Condiciones geotécnicas.
- c) Subrasante mínima.
- d) Costo de las terracerías.

a) Condiciones topográficas.

Generalmente se puede decir que en terreno plano, el proyecto de la subrasante será en terraplén, sensiblemente paralelo al terreno, con altura suficiente para dar cavidad a las alcantarillas, puentes y quedar a salvo de la humedad propia del suelo y de los escurrimientos laminares en él. En este tipo de configuración la compensación longitudinal o transversal de las terracerías se presenta excepcionalmente, como consecuencia de los terraplenes, estarán formados por material producto de préstamo lateral o bancos. El proyecto con tramos de visibilidad de rebase no presenta dificultades en el alineamiento horizontal como el vertical.

En terreno en lomerío, se estudiará la subrasante combinando las pendientes especificadas, se obtendrá un alineamiento ondulado que permite aprovechar el material de los cortes para formar los terraplenes contiguos.

El proyecto de la subrasante a base de contrapendientes, la compensación longitudinal de las terracerías, y el echo de no presentar problema, dejar el espacio vertical necesario para alojar las alcantarillas o puentes son características de éste tipo de terreno, cuando se requiera considerar la distancia de visibilidad de rebase en el proyecto vertical, se ocasiona un incremento en el volumen de las tierras a mover.

En terreno montañoso como consecuencia de la configuración topográfica, se emplean frecuentemente las especificaciones máximas, tanto en el alineamiento horizontal como vertical; el proyecto de la subrasante queda generalmente condicionada a la pendiente transversal del terreno, en ocasiones dada la excesiva pendiente transversal del terreno, la elevación de la subrasante debe estudiarse considerando la construcción de muros de contención ó un túnel en su caso. Es característico de este terreno la facilidad de disponer de espacio suficiente para alojar alcantarillas y puentes, la presencia en el diagrama de masas de una serie de desperdicios con pequeños tramos compensados, grandes volúmenes de tierra a mover, necesidad de proyectar alcantarillas de alivio y un alto costo si se requiere considerar en el proyecto la distancia de visibilidad de rebase.

b) Condiciones geotécnicas.

La calidad de los materiales que se encuentren en la zona de donde se localiza el camino, es factor muy importante para el proyecto de la subrasante, ya que además del empleo que tendrán en la formación de terracerías, servirá de apoyo al camino.

La elevación de la subrasante está limitada en ocasiones por la capacidad de carga del suelo que servirá de base al camino.

c) Subrasante mínima.

Es la elevación mínima que se le puede dar a la rasante, en un punto determinado del camino, los elementos que fijan ésta elevación mínima son:

- c.1) Obras menores.
- c.2) Puentes.
- c.3) Zonas de inundación.
- c.4) Intersección con otros caminos.

d) Costos de las terracerías.

La posición que debe guardar la subrasante para obtener la más económica en la construcción de las terracerías, depende de los siguientes conceptos:

d.1) Costos unitarios.

Excavación en corte.

Excavación en préstamo.

Compactación en el terraplén del material de corte.

Compactación en el terraplén del material en préstamo.

Sobreacarreo del material de corte a terraplén.

Sobreacarreo del material de corte a desperdicio.

Sobreacarreo del material de préstamo a terraplén.

Corte del terreno afectado para préstamo.

Desmante y despalme dividido entre el volumen de terracerías extraído del mismo.

d.2) Coeficiente de variabilidad volumétrica del material de corte y del material de préstamo.

d.3) Distancia económica de sobreacarreo.

El empleo del material de corte en la formación de terraplenes está condicionado a la calidad del mismo y a la distancia hasta lo que es económicamente posible transportarlo. Esta distancia está dada por:

$$DME = \frac{[P_p + ad] - P_c}{P_m} + AL$$

Donde:

DME = Distancia máxima de sobreacarreo económico.

ad = Costo unitario de sobreacarreo del material de corte de desperdicio.

P_c = Precio unitario de la compactación en el terraplén. Del material producto del corte.

AL = Acarreo libre del material, cuyo costo está incluido en el precio de excavación.

P_f = Costo unitario de terraplén formado con material producto del préstamo.

P_m = Precio unitario de sobreacarreo del material de corte.

Continuando con el proyecto:

El proyecto de la subrasante se realiza en el perfil definitivo del centro de línea.

Primero se trazan las tangentes verticales lo más largas posibles de tal manera que no sobrepasen a la pendiente gobernadora y a la pendiente máxima, la tangente trazada deberá procurar que los volúmenes de corte y los volúmenes de terraplén sean lo menor posible.

Un ejemplo de como trazar la subrasante sería el que se muestra en la Figura (7.6).

Perfil definitivo del C.

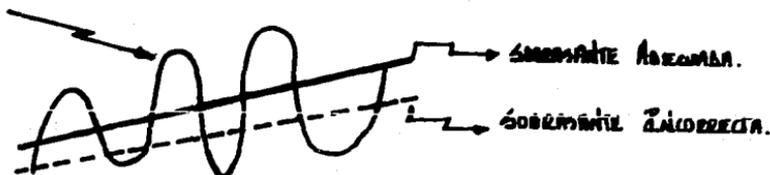


FIGURA 7.6

La línea punteada es de una tangente que no corresponde a las características mencionadas anteriormente porque no se compensan los volúmenes de corte y de terraplén.

La línea continua es de una tangente que nos muestra la manera de hacer el trazo de la subrasante, en esta se compensan los volúmenes de corte y de terraplén.

7.11 CALCULO Y DIBUJO DE LAS CURVAS VERTICALES.

Los elementos que constituyen el perfil longitudinal de la subrasante deben enlazarse por medio de las curvas verticales, convexas o cóncavas, de longitud variable.

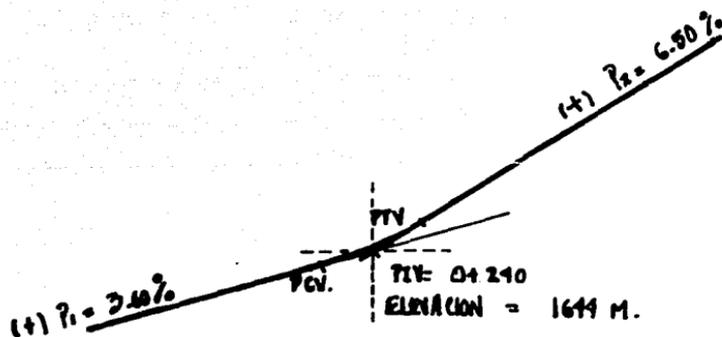
Las características de las curvas verticales se explican más detalladamente en el capítulo IV (Alineamiento Vertical).

Únicamente se proyectará curva vertical cuando la diferencia algebraica entre dos pendientes sea mayor de 0.5%, ya que en los casos de diferencia igual o menor a la indicada, el cambio es tan pequeño que en el terreno se pierde durante la construcción.

Los datos que se deben de tomar en cuenta para el proyecto de las curvas verticales son:

- a) La P_1 (pendiente uno) y la P_2 (pendiente dos).
- b) La ubicación y la elevación del PIV (punto de inflexión vertical).
- c) La velocidad de proyecto.

A continuación se realiza el cálculo y dibujo de las curvas verticales, para el cálculo se muestra el procedimiento a seguir así como la forma de comprobar los resultados obtenidos.



CALCULO DE LA CURVA VERTICAL No. 1

1.- CALCULO DE A:

$$\begin{aligned}
 A &= P_1 - P_2 \\
 A &= 3 - (+6.5) = -3.5 \\
 A &= -3.5
 \end{aligned}$$

2.- CALCULO DE L_{min} .

Como es una curva en columpio, entramos en la gráfica (4.5), con:

$$A = 3.5 \text{ y } V_{prev} = 40 \text{ km/h.}$$

y obtenemos que :

$$L_{min} = 30 \text{ m.}$$

ajustando a una estación par de 20 m., se tiene que :

$$L_{min} = 40 \text{ m.}$$

3.- CALCULO DE LAS COTAS DEL PCV y PTV.

$$ELEV. \quad PCV = 1644 - \frac{20 [3]}{100} = 1643.4 \text{ m.}$$

$$ELEV \quad PTV = 1644 + \frac{20 [6.5]}{100} = 1645.3 \text{ m.}$$

4.- CALCULO DE LAS COTAS INTERMEDIAS.

$$Z_n = Z_{n-1} + \frac{P_1}{5} - \frac{A}{10N} [2n - 1]$$

$$\frac{A}{10N} = \frac{-3.5}{10 [2]} = -0.175$$

$$\frac{P_1}{5} = \frac{3}{5} = 0.60$$

RESULTADO DE LAS COTAS INTERMEDIAS.						
n	A + 10 N [I]	2 n - 1 [II]	I x II [III]	P ₁ + 5 [IV]	IV - III	Z _n
0						1643.400
1	-0.175	1	-0.175	0.60	0.775	1644.175
2	-0.175	3	-0.525	0.60	1.125	1645.300

5.- COMPROBACIÓN.

Se comprueba con la siguiente formula:

$$Z_n = Z_0 + \left[\frac{P_1}{5} - \frac{A}{10} \frac{n}{N} \right] n$$

Para $n = 0$:

$$Z_0 = 1643.4 \text{ m.}$$

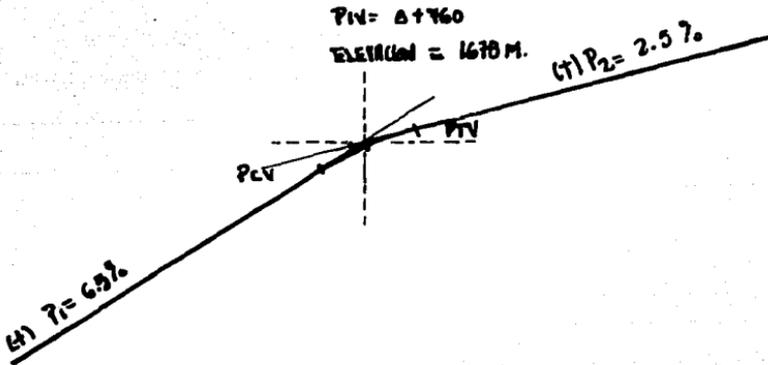
Para $n = 1$:

$$Z_1 = 1643.4 + \left[0.60 - \frac{[(-3.5)(1)]}{10(2)} \right] 1 = 1644.175 \text{ m.}$$

Para $n = 2$:

$$Z_2 = 1643.4 + \left[0.60 - \frac{[(-3.5)(2)]}{10(2)} \right] 2 = 1645.30 \text{ m.}$$

Por lo tanto se comprueban los resultados.



CALCULO DE LA CURVA VERTICAL No. 2

1.- CALCULO DE A:

$$\begin{aligned}
 A &= P_1 - P_2 \\
 A &= 6.5 - (+2.5) = 4 \\
 A &= 4
 \end{aligned}$$

2.- CALCULO DE L_{min} .

Como es una curva en cresta, entramos en la gráfica (4.4), con:

$$A = 4 \text{ y } V_{prev} = 40 \text{ km/h.}$$

y obtenemos que :

$$L_{min} = 30 \text{ m.}$$

ajustando a una estación par de 20 m., se tiene que :

$$L_{min} = 40 \text{ m.}$$

3.- CALCULO DE LAS COTAS DEL PCV y PTV.

$$ELEV. \quad PCV = 1678 - \frac{20 [6.5]}{100} = 1676.7 \text{ m.}$$

$$ELEV. \quad PTV = 1678 + \frac{20 [2.5]}{100} = 1678.5 \text{ m.}$$

4.- CALCULO DE LAS COTAS INTERMEDIAS.

$$Z_n = Z_{n-1} + \frac{P_1}{5} - \frac{A}{10N} (2n - 1)$$

$$\frac{A}{10N} = \frac{4}{10 [2]} = 0.20$$

$$\frac{P_1}{5} = \frac{6.5}{5} = 1.30$$

RESULTADO DE LAS COTAS INTERMEDIAS.						
n	A + 10 N [I]	2 n - 1 [II]	I x II [III]	P ₁ + 5 [IV]	IV - III	Z _n
0						1676.70
1	0.20	1	0.20	1.30	1.10	1677.80
2	0.20	3	0.60	1.30	0.70	1678.50

5.- COMPROBACIÓN.

Se comprueba con la siguiente fórmula:

$$Z_n = Z_0 + \left[\frac{P_1}{5} - \frac{A n}{10 N} \right] n$$

Para $n = 0$:

$$Z_0 = 1676.70 \text{ m.}$$

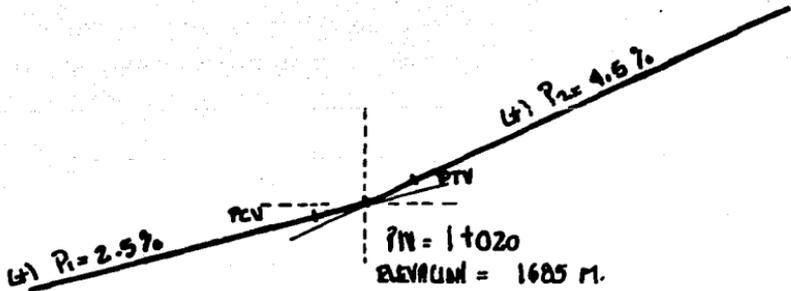
Para $n = 1$:

$$Z_1 = 1676.70 + \left[1.30 - \frac{[(4)(1)]}{10(2)} \right] 1 = 1677.80 \text{ m.}$$

Para $n = 2$:

$$Z_2 = 1676.70 + \left[1.30 - \frac{[(4)(2)]}{10(2)} \right] 2 = 1678.50 \text{ m.}$$

Por lo tanto se comprueban los resultados.



CALCULO DE LA CURVA VERTICAL No. 3

1.- CALCULO DE A:

$$\begin{aligned}
 A &= P_1 - P_2 \\
 A &= 2.5 - (+4.5) = -2 \\
 A &= -2
 \end{aligned}$$

2.- CALCULO DE L_{min} .

Como es una curva en columpio, entramos en la gráfica (4.5), con:

$$A = 2 \text{ y } V_{prev} = 40 \text{ km/h.}$$

y obtenemos que :

$$L_{min} = 30 \text{ m.}$$

ajustando a una estación par de 20 m., se tiene que :

$$L_{min} = 40 \text{ m.}$$

3.- CALCULO DE LAS COTAS DEL PCV y PTV.

$$ELEV. \quad PCV = 1685 - \frac{20 [2.5]}{100} = 1684.5 \text{ m.}$$

$$ELEV \quad PTV = 1685 + \frac{20 [4.5]}{100} = 1685.9 \text{ m.}$$

4.- CALCULO DE LAS COTAS INTERMEDIAS.

$$Z_n = Z_{n-1} + \frac{P_1}{5} - \frac{A}{10N} [2n - 1]$$

$$\frac{A}{10N} = \frac{-2}{10 [2]} = -0.10$$

$$\frac{P_1}{5} = \frac{2.5}{5} = 0.50$$

RESULTADO DE LAS COTAS INTERMEDIAS.

n	A + 10 N [I]	2 n - 1 [II]	I x II [III]	P ₁ + 5 [IV]	IV - III	Z _n
0						1684.50
1	- 0.10	1	- 0.10	0.50	0.60	1685.10
2	- 0.10	3	- 0.30	0.50	0.80	1685.90

5.- COMPROBACIÓN.

Se comprueba con la siguiente formula:

$$Z_n = Z_0 + \left[\frac{P_1}{5} - \frac{A_n}{10 N} \right] n$$

Para $n = 0$:

$$Z_0 = 1684.5 \text{ m.}$$

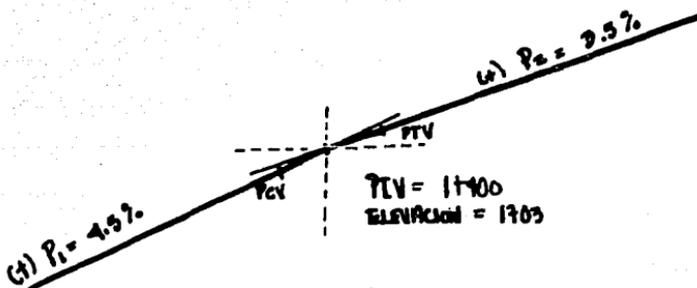
Para $n = 1$:

$$Z_1 = 1684.5 + \left[0.50 - \frac{[(-2)(1)]}{10(2)} \right] 1 = 1685.10 \text{ m.}$$

Para $n = 2$:

$$Z_2 = 1684.5 + \left[0.50 - \frac{[(-2)(2)]}{10(2)} \right] 2 = 1685.90 \text{ m.}$$

Por lo tanto se comprueban los resultados.



CALCULO DE LA CURVA VERTICAL No. 4

1.- CALCULO DE A:

$$A = P_1 - P_2$$

$$A = 4.5 - (+3.5) = 1$$

$$A = 1$$

2.- CALCULO DE L_{min} :

Como es una curva en cresta, entramos en la gráfica (4.4), con:

$$A = 1 \text{ y } V_{prev} = 40 \text{ km/h.}$$

y obtenemos que :

$$L_{min} = 30 \text{ m.}$$

ajustando a una estación par de 20 m., se tiene que :

$$L_{min} = 40 \text{ m.}$$

3.- CALCULO DE LAS COTAS DEL PCV y PTV.

$$ELEV. \quad PCV = 1703 - \frac{20 [4.5]}{100} = 1702.10 \text{ m.}$$

$$ELEV. \quad PTV = 1703 + \frac{20 [3.5]}{100} = 1703.70 \text{ m.}$$

4.- CALCULO DE LAS COTAS INTERMEDIAS.

$$Z_n = Z_{n-1} + \frac{P_1}{5} - \frac{A}{10N} [2n - 1]$$

$$\frac{A}{10N} = \frac{1}{10 [2]} = 0.05$$

$$\frac{P_1}{5} = \frac{4.5}{5} = 0.90$$

RESULTADO DE LAS COTAS INTERMEDIAS.						
n	A + 10 N [I]	2 n - 1 [II]	I x II [III]	P ₁ ÷ 5 [IV]	IV - III	Z _n
0						1702.10
1	0.05	1	0.05	0.90	0.85	1702.95
2	0.05	3	0.15	0.90	0.75	1703.70

5.- COMPROBACIÓN.

Se comprueba con la siguiente formula:

$$Z_n = Z_0 + \left[\frac{P_1}{5} - \frac{A n}{10 N} \right] n$$

Para $n = 0$:

$$Z_0 = 1702.10 \text{ m.}$$

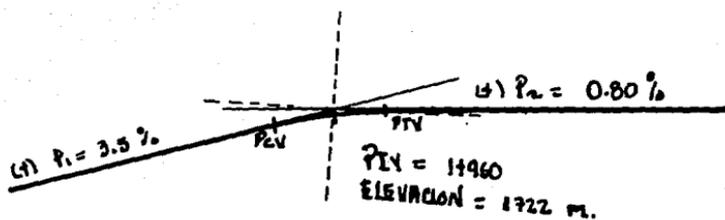
Para $n = 1$:

$$Z_1 = 1702.10 + \left[0.90 - \frac{[(1)(1)]}{10(2)} \right] 1 = 1702.95 \text{ m.}$$

Para $n = 2$:

$$Z_2 = 1702.10 + \left[0.90 - \frac{[(1)(2)]}{10(2)} \right] 2 = 1703.70 \text{ m.}$$

Por lo tanto se comprueban los resultados.



CALCULO DE LA CURVA VERTICAL No. 5

1.- CALCULO DE A:

$$A = P_1 - P_2$$

$$A = 3.5 - (+0.80) = 2.70$$

$$A = 2.70$$

2.- CALCULO DE L_{min} :

Como es una curva en cresta, entramos en la gráfica (4.4), con:

y obtenemos que :

$$A = 2.70 \text{ y } V_{pro} = 40 \text{ km/h.}$$

$$L_{min} = 30 \text{ m.}$$

ajustando a una estación par de 20 m., se tiene que :

$$L_{min} = 40 \text{ m.}$$

3.- CALCULO DE LAS COTAS DEL PCV y PTV.

$$ELEV. \quad PCV = 1722 - \frac{20 [3.5]}{100} = 1721.30 \text{ m.}$$

$$ELEV. \quad PTV = 1722 + \frac{20 [0.80]}{100} = 1722.16 \text{ m.}$$

4.- CALCULO DE LAS COTAS INTERMEDIAS.

$$Z_n = Z_{n-1} + \frac{P_1}{5} - \frac{A}{10N} [2n - 1]$$

$$\frac{A}{10N} = \frac{2.70}{10 [2]} = 0.135$$

$$\frac{P_1}{5} = \frac{3.5}{5} = 0.70$$

RESULTADO DE LAS COTAS INTERMEDIAS.

n	A ÷ 10 N [I]	2 n - 1 [II]	1 x II [III]	P ₁ ÷ 5 [IV]	IV - III	Z _n
0						1721.300
1	0.135	1	0.135	0.70	0.565	1721.865
2	0.135	3	0.405	0.70	0.295	1722.160

5.- COMPROBACIÓN.

Se comprueba con la siguiente formula:

$$Z_n = Z_0 + \left[\frac{P_1}{S} - \frac{A \cdot n}{10 \cdot N} \right] n$$

Para $n = 0$:

$$Z_0 = 1721.30 \text{ m.}$$

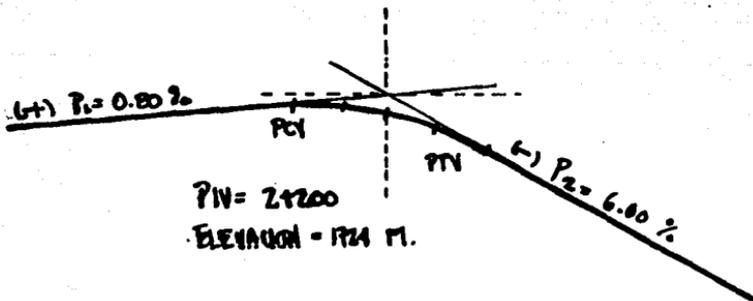
Para $n = 1$:

$$Z_1 = 1721.30 + \left[0.70 - \frac{[(2.70) (1)]}{10 (2)} \right] 1 = 1721.865 \text{ m.}$$

Para $n = 2$:

$$Z_2 = 1721.30 + \left[0.70 - \frac{[(2.70) (2)]}{10 (2)} \right] 2 = 1722.16 \text{ m.}$$

Por lo tanto se comprueban los resultados.



CALCULO DE LA CURVA VERTICAL No. 6

1.- CALCULO DE A:

$$\begin{aligned}
 A &= P_1 - P_2 \\
 A &= 0.80 - (-6) = 6.80 \\
 A &= 6.80
 \end{aligned}$$

2.- CALCULO DE L_{min} .

Como es una curva en cresta, entramos en la gráfica (4.4), con:

$$A = 6.80 \text{ y } V_{prev} = 40 \text{ km/h.}$$

y obtenemos que :

$$L_{min} = 50 \text{ m.}$$

ajustando a una estación par de 20 m., se tiene que :

$$L_{min} = 80 \text{ m.}$$

3.- CALCULO DE LAS COTAS DEL PCV y PTV.

$$ELEV. \quad PCV = 1724 - \frac{40 [0.80]}{100} = 1723.68 \text{ m.}$$

$$ELEV. \quad PTV = 1724 - \frac{40 [6]}{100} = 1721.60 \text{ m.}$$

4.- CALCULO DE LAS COTAS INTERMEDIAS.

$$Z_n = Z_{n-1} + \frac{P_1}{5} - \frac{A}{10N} [2n - 1]$$

$$\frac{A}{10N} = \frac{6.80}{10 [4]} = 0.17$$

$$\frac{P_1}{5} = \frac{0.80}{5} = 0.16$$

RESULTADO DE LAS COTAS INTERMEDIAS.						
n	A ÷ 10 N [I]	2 n - 1 [II]	I × II [III]	P ₁ ÷ 5 [IV]	IV - III	Z _n
0						1723.68
1	0.17	1	0.17	0.16	-0.01	1723.67
2	0.17	3	0.51	0.16	-0.35	1723.32
3	0.17	5	0.85	0.16	-0.69	1722.63
4	0.17	7	1.19	0.16	-1.03	1721.60

5.- COMPROBACIÓN.

Se comprueba con la siguiente formula:

$$Z_n = Z_0 + \left[\frac{P_1}{5} - \frac{A n}{10 N} \right] n$$

Para $n = 0$:

$$Z_0 = 1723.68 \text{ m.}$$

Para $n = 1$:

$$Z_1 = 1723.68 + \left[0.16 - \frac{[(6.80) (1)]}{10 (4)} \right] 1 = 1723.67 \text{ m.}$$

Para $n = 2$:

$$Z_2 = 1723.68 + \left[0.16 - \frac{[(6.80) (2)]}{10 (4)} \right] 2 = 1723.32 \text{ m.}$$

Para $n = 3$:

$$Z_3 = 1723.68 + \left[0.16 - \frac{[(6.80) (3)]}{10 (4)} \right] 3 = 1722.63 \text{ m.}$$

Para $n = 4$:

$$Z_4 = 1723.68 + \left[0.16 - \frac{[(6.80) (4)]}{10 (4)} \right] 4 = 1721.60 \text{ m.}$$

Por lo tanto se comprueban los resultados.

7.12 PROYECTO DE LAS SECCIONES DE CONSTRUCCIÓN.

Como se menciono anteriormente las secciones transversales (secciones de construcción), pueden representarse a lo largo del camino en cualquiera de sus tres formas.

- a) Sección en corte.
- b) Sección en terraplén.
- c) Sección en balcón ó mixta.

La diferencia entre las elevaciones de la línea de proyecto de la subrasante y el perfil del terreno nos da el espesor ya sea en corte o en terraplén que corresponde a cada estación completa de 20 m. ó a cualquier punto intermedio que haya sido nivelado.

Por medio de una plantilla, preferentemente de material transparente, que represente la sección del camino con sus cunetas, se dibuja está en la sección de construcción correspondiente, con la diferencia de elevación que haya resultado según sea corte o terraplén.

Para los cortes se escogerán plantillas que tengan el talud correspondiente al terreno que se cortará, para nuestro proyecto se utilizará un talud de $T_c = 1/4:1$.

Para los terraplenes se utilizará un talud de $T_t = 1.5:1$.

Se tendrá así en cada estación de 20 m. ó puntos intermedios para los que se hayan levantado secciones de construcción, un corte del camino tal como quedara cuando se construya.

En la Figura (7.7), se representan las secciones del camino que se utilizaran para el proyecto; la escala empleada por comodidad es de 1:250, pero la real tendría que ser de 1:100.

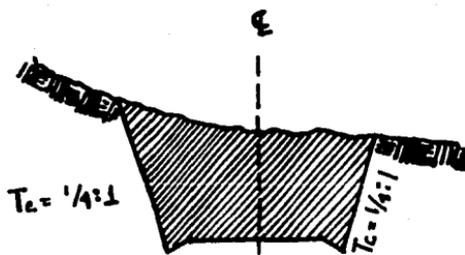
7.13 MEDICIÓN DE AREAS DE LAS SECCIONES DE CONSTRUCCIÓN.

Para los fines de presupuesto y pago de obra, es necesario determinar los volúmenes tanto de corte como de terraplén.

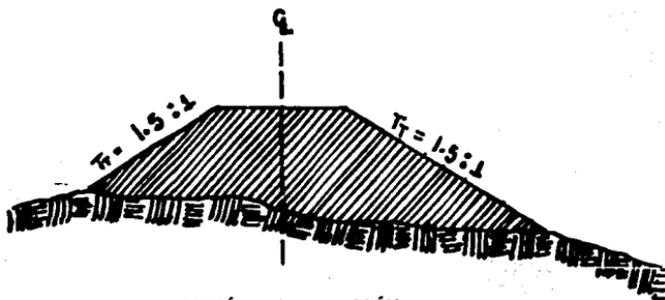
Para lograr lo anterior es preciso calcular el área de las distintas porciones consideradas en el proyecto de las secciones de construcción.

Dentro de los distintos procedimientos empleados para está fin, los métodos más empleados ó comunes son:

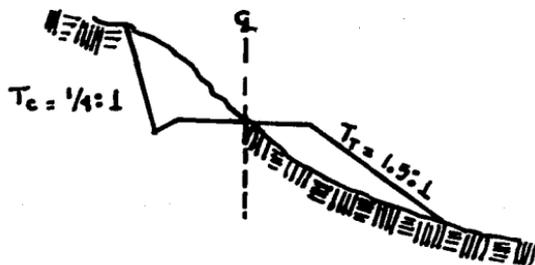
- A) Método analítico.
- B) Método gráfico.
- C) Método del planimetro.



a) SECCIÓN EN CORTE.



b) SECCIÓN EN TERRAPLÉN



c) SECCIÓN MIXTA O EN BALCÓN.

A) Método analítico.

Este método se basa en la descomposición de la sección de construcción en figuras regulares, por ejemplo si se tiene una sección en corte como la mostrada en la Figura (7.8), referida a un sistema de ejes cartesianos; el área de la sección será la suma de las áreas de los trapecios: A23CA, C34DC y D45FD, menos la suma de los trapecios A21BA, B16EB y E65FE, puesto que el área de un trapecio es la semisuma de las bases por la altura se tendrá:

$$A = \frac{Y_3 + Y_2}{2} (X_3 - X_2) + \frac{Y_4 + Y_3}{2} (X_4 - X_3) + \frac{Y_5 + Y_4}{2} (X_5 - X_4) -$$

$$- \left[\frac{Y_1 + Y_2}{2} (X_1 - X_2) + \frac{Y_6 + Y_1}{2} (X_6 - X_1) + \frac{Y_5 + Y_6}{2} (X_5 - X_6) \right]$$

Desarrollando y ordenando:

$$A = \frac{1}{2} [Y_1 X_2 + Y_2 X_3 + Y_3 X_4 + Y_4 X_5 + Y_5 X_6 + Y_6 X_1 -$$

$$- (Y_1 X_6 + Y_2 X_1 + Y_3 X_2 + Y_4 X_3 + Y_5 X_4 + Y_6 X_5)]$$

Expresando matricialmente:

$$A = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} Y_1 & Y_2 & Y_3 & Y_4 & Y_5 & Y_6 & Y_1 \\ X_1 & X_1 & X_3 & X_4 & X_5 & X_6 & X_1 \end{vmatrix}$$

Por la naturaleza de este método, es muy útil cuando las áreas se calculan con la ayuda de una computadora.

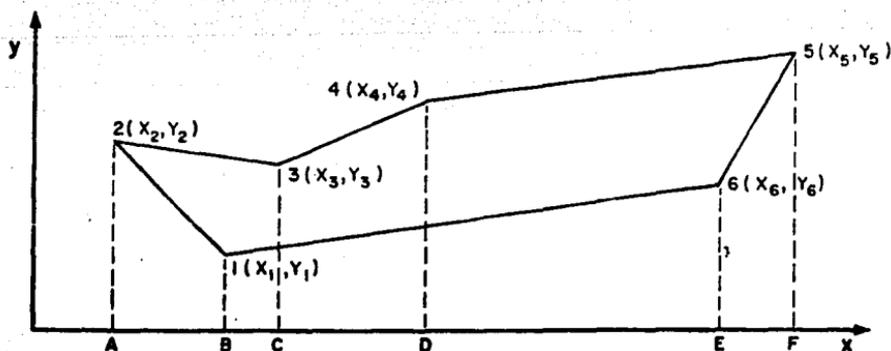


FIGURA 7.8 DETERMINACIÓN DE ÁREAS, MÉTODO ANALÍTICO.

B) Método gráfico.

Este método se basa en que para obtener el área de la sección correspondiente, se divide la sección en figuras regulares, directamente sobre el dibujo a escala; obteniéndose el área de cada una de las figuras regulares, el área total de la sección será igual a la suma de las áreas parciales.

Por ejemplo : Obsérvese la sección mostrada en la Figura (7.9), la cual se ha dividido en trapecios y triángulos, su área será igual a la suma de las áreas parciales, la cual se representa por:

$$AT = S (a+b+c+d+e+f+g+\dots)$$

S = Separación entre áreas ó base.

Este método es el que emplearemos para calcular las áreas de nuestras secciones de construcción.

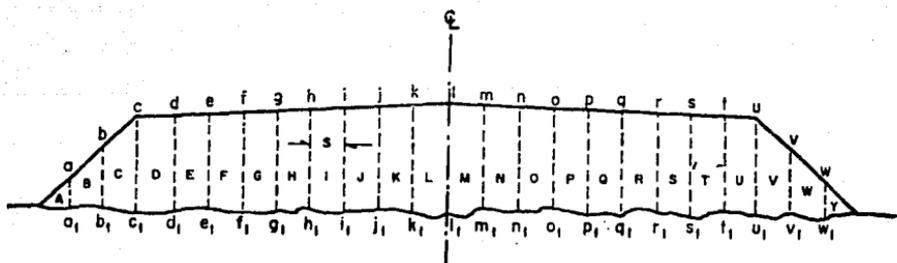


FIGURA 7.9 DETERMINACIÓN DE ÁREAS, MÉTODO GRÁFICO.

C) método del planímetro.

Este método, llamado también mecánico, se basa en la obtención de áreas por medio de un aparato denominado planímetro.

Existen dos clases de planímetros; el polar y el rodante, el polar es el que más se emplea por su sencillez de operación, consta principalmente de un polo fijo, una punta trazadora, brazo fijo y brazo trazador, un tambor graduado, una rueda que contiene un vernier, un disco acoplado que registra vueltas completas y un dispositivo que permite ajustar el brazo a la escala del dibujo. (Figura 7.10).

El funcionamiento del planímetro a grandes rasgos consiste en colocar el dibujo para el cual se desea obtener su área, ajustar el planímetro a su escala, se coloca el polo fijo dentro ó fuera de la figura según convenga, si se coloca fuera, será necesario calcular la constante del aparato, ya que el área registrada será mayor que la real, se coloca la punta trazadora en un punto del perímetro del dibujo y se recorre este en el sentido de las manecillas del reloj, al llegar al punto de partida se obtiene la lectura final que será aproximadamente el área de la figura afectada por la constante del planímetro.

Cuando la superficie es muy grande, es conveniente dividir la figura y calcular el área de cada una separadamente.

Por su rapidez en su operación y la precisión obtenida, es el método que más se presta para la determinación del área.

Existen otros métodos, los cuales muestran ciertos artificios para el cálculo de las áreas, estos métodos son empleados a veces cuando la precisión requerida no es muy importante y la rapidez para saber aproximadamente el área de las secciones es preponderante, entre estos métodos prácticos se encuentran:

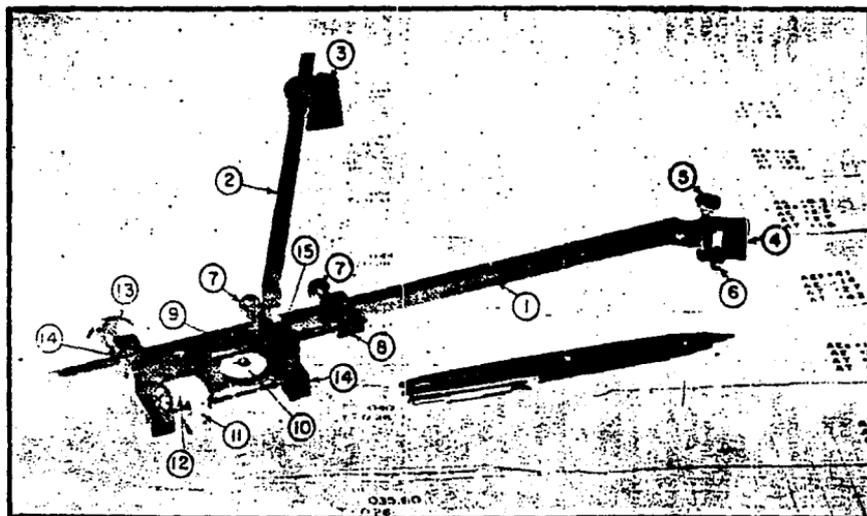
a) Contar materialmente todos los cuadros del papel milimétrico comprendidos dentro de la sección, los centímetros cuadrados representaran metros cuadrados, agrupando los cuadros se tendrá aproximadamente el área.

b) Dividir la superficie verticalmente en fajas del mismo ancho las cuales se miden con una tira de papel, en el cual se van marcando sucesivamente las longitudes, al terminar se mide toda la longitud acumulada la cual multiplicada por su ancho constante nos dará el área aproximada.

Continuando con el proyecto:

Enseguida se obtienen las secciones de construcción, el área de corte y de terraplén de las mismas en cada estación cerrada de 20 metros.

NOTA: Para sacar las secciones de construcción se tomaron las cotas que existen en la planta a cada lado del centro de línea (izquierda y derecha), a una distancia de 10 m.

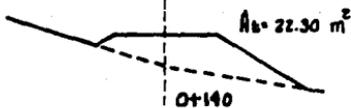
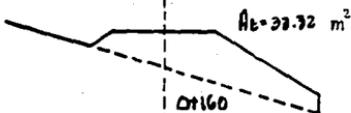
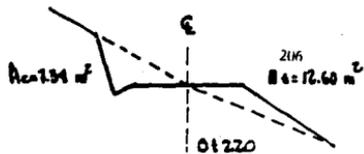
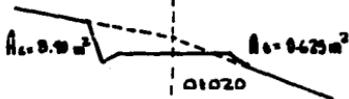
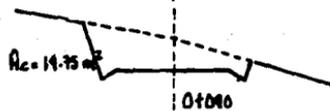
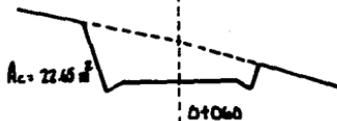
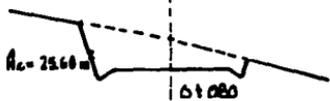
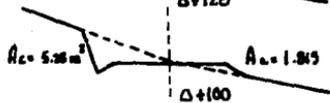
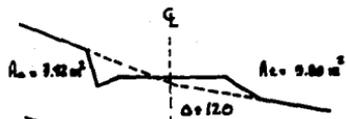


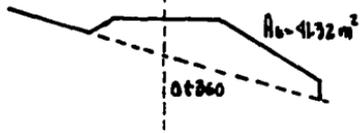
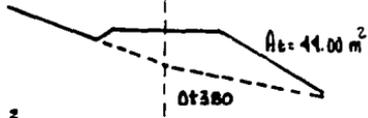
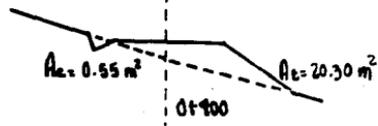
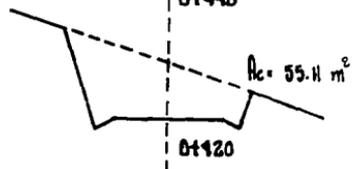
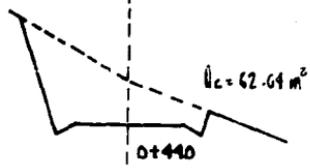
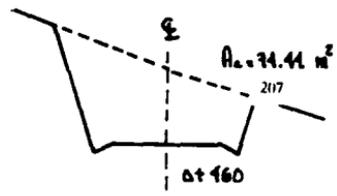
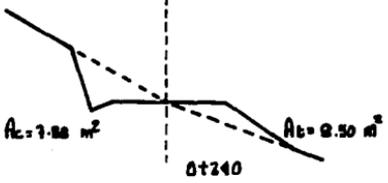
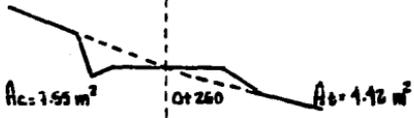
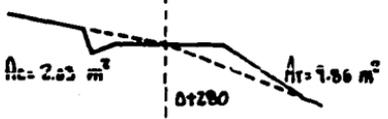
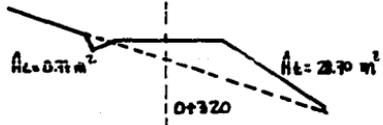
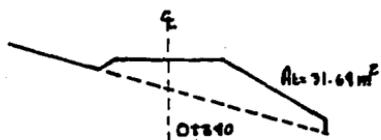
- 1. Brazo trazador
- 2. Brazo polar
- 3. Polo
- 4. Perilla móvil
- 5. Guía trazadora

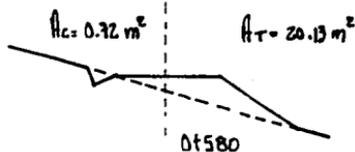
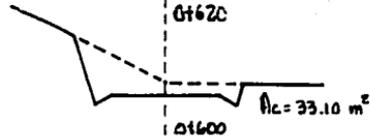
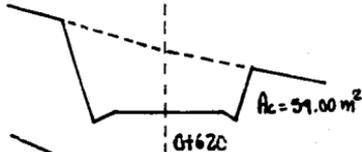
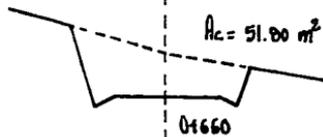
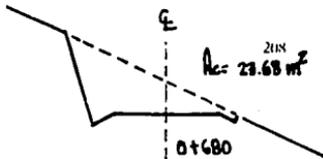
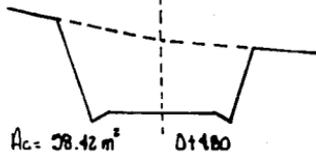
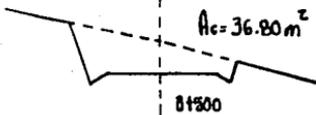
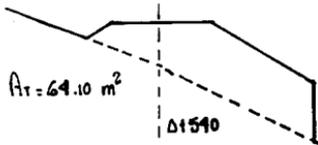
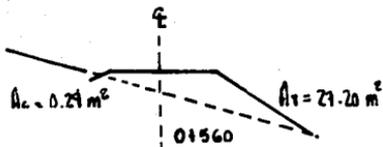
- 6. Tornillo protector
- 7. Tornillos de sujeción
- 8. Tornillo de ajuste
- 9. Control de vernier
- 10. Contador de carátula

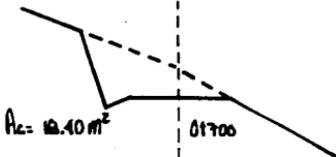
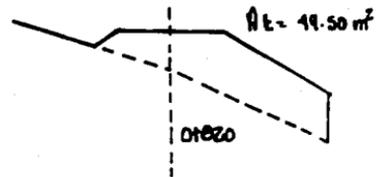
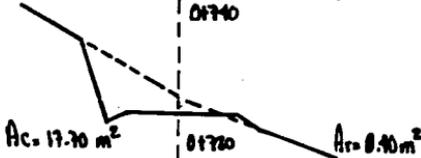
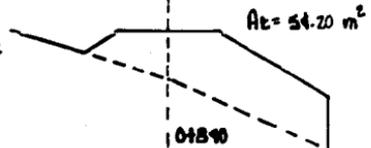
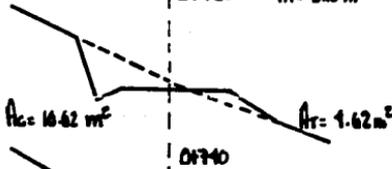
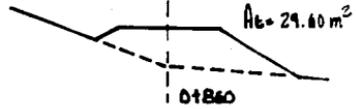
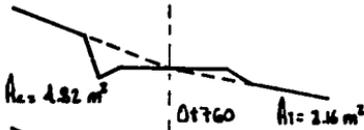
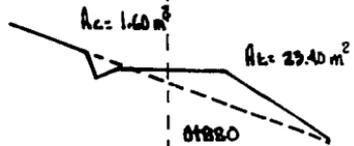
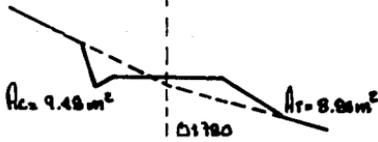
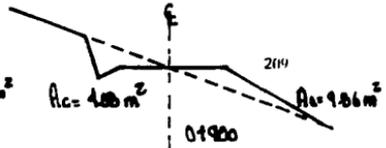
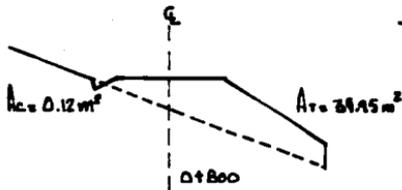
- 11. Tambor medidor
- 12. Nonio
- 13. Rueda de balanceo y deslizamiento
- 14. Soporte
- 15. Articulación

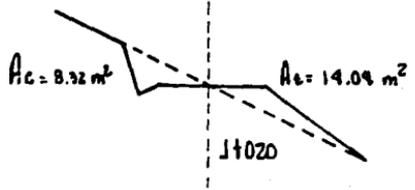
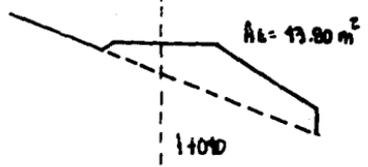
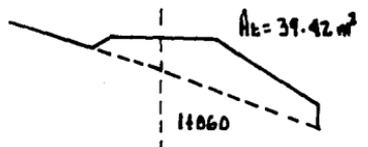
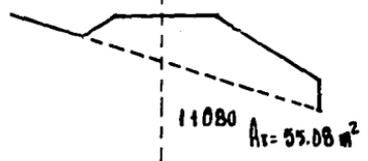
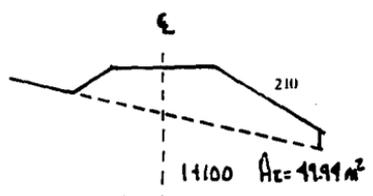
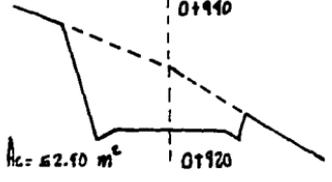
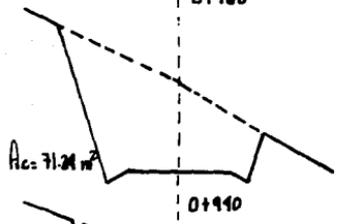
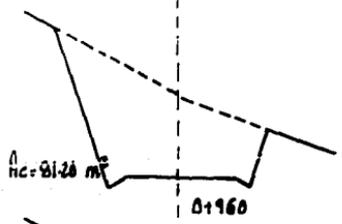
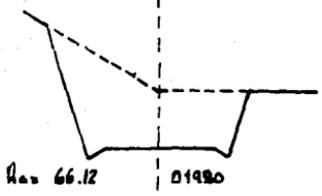
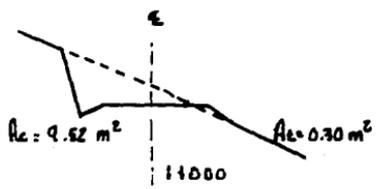
FIGURA 7.10 PLANIMETRO POLAR.

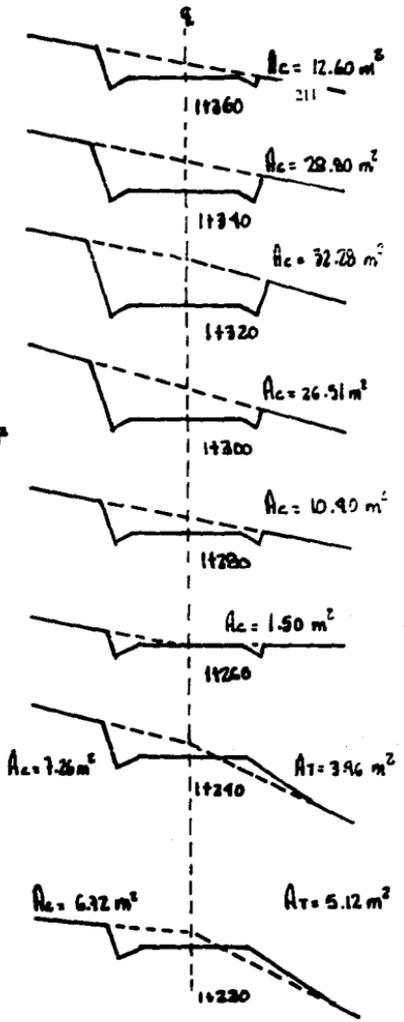
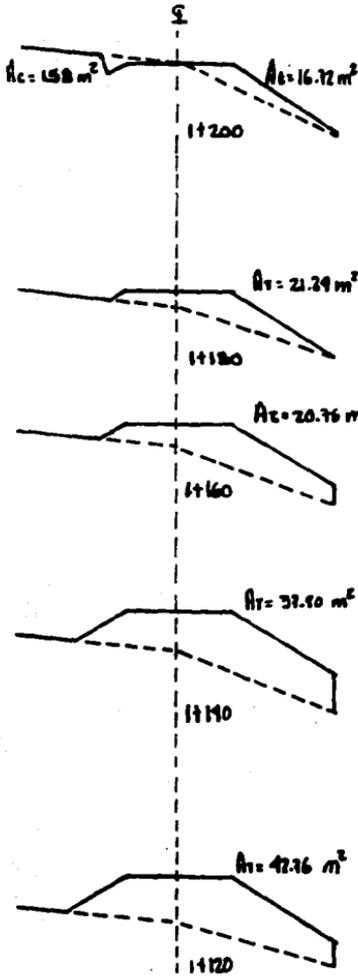


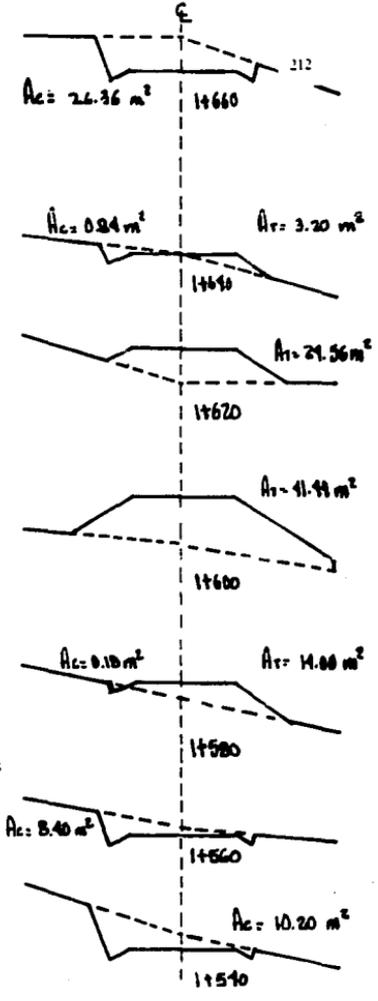
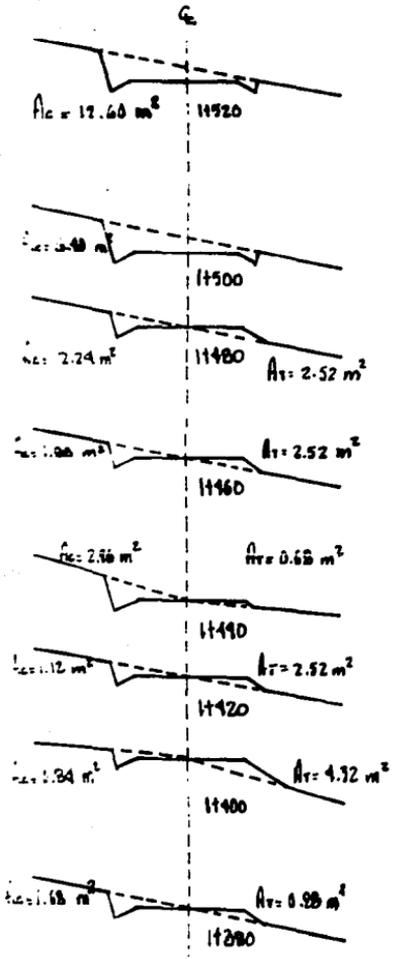


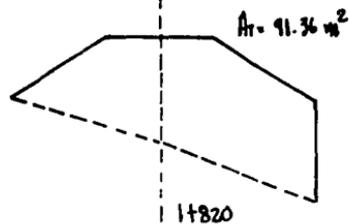
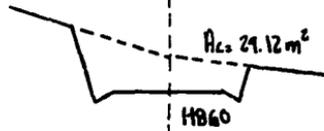
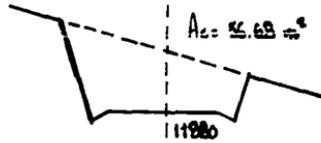
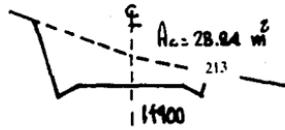
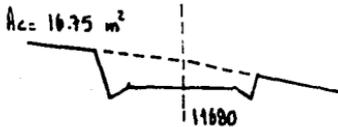
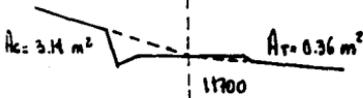
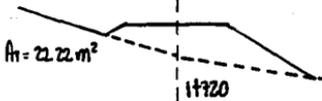
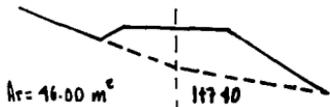
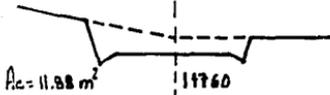
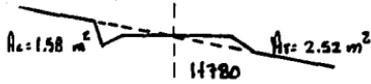
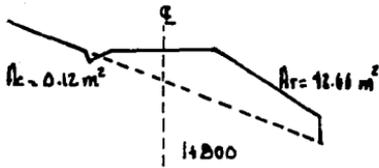


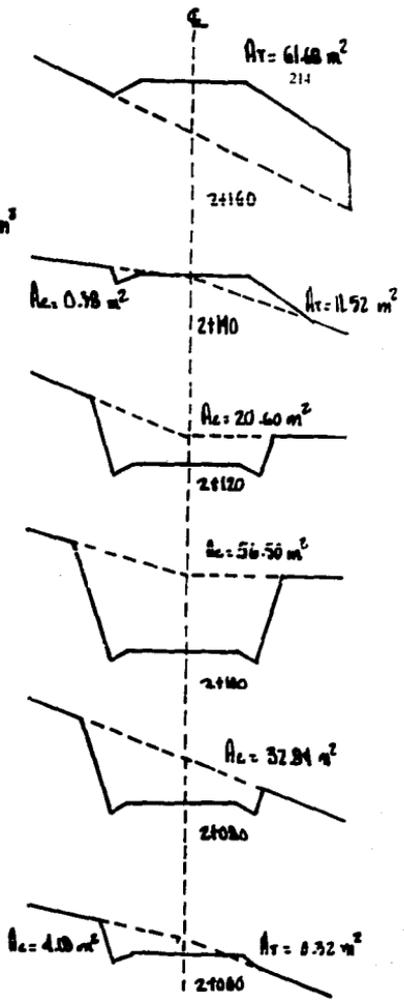
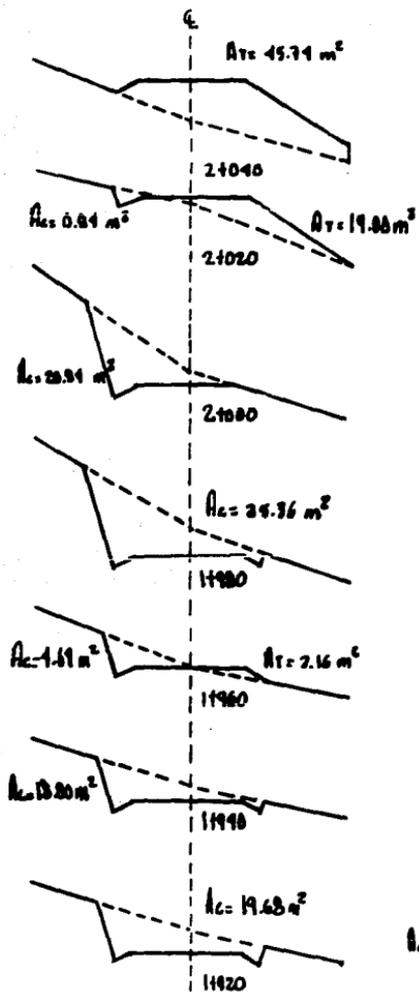


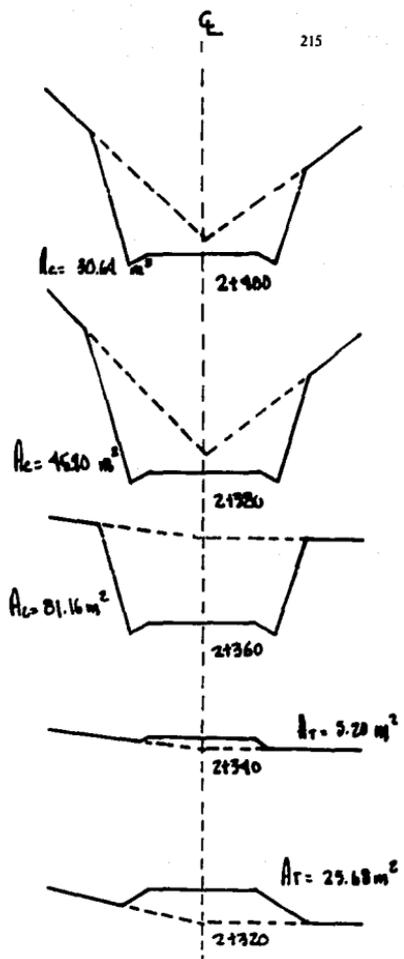
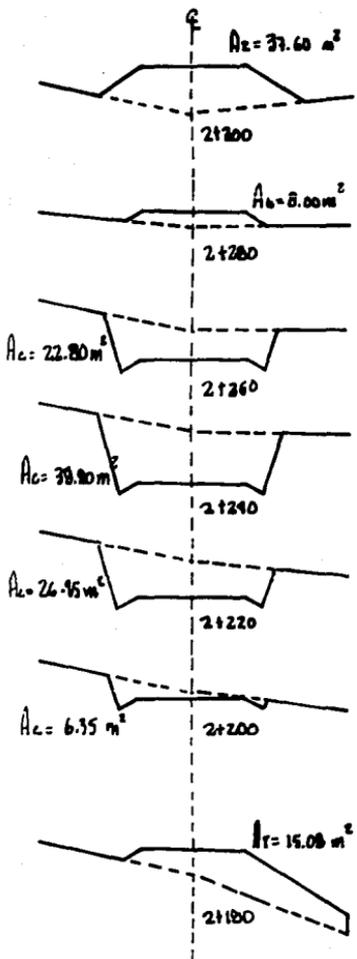


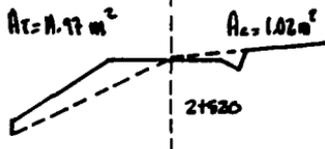
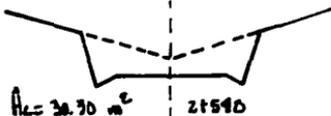
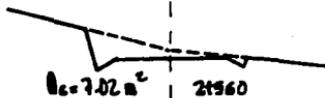
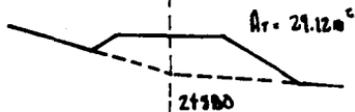
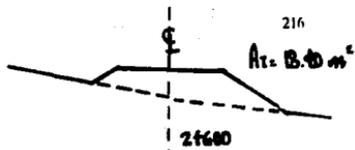
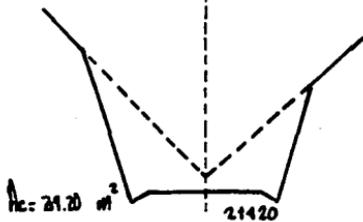
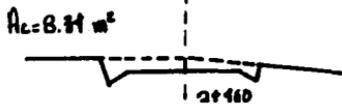
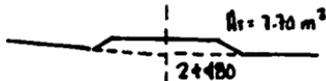


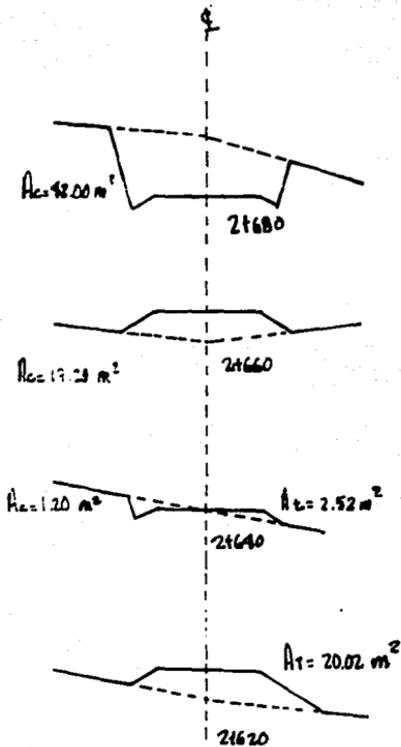












7.14 CALCULO DE LOS VOLÚMENES DE TERRACERIAS ENTRE ESTACIONES.

Conociendo las áreas de las diferentes secciones transversales por medio de cualquiera de los procedimientos ya indicados, vamos a ver como se determina el volumen de las tierras a mover.

7.14.1 Cálculo del volumen de terracerías en tangente.

Una vez calculadas las áreas de las secciones transversales de construcción se procede a calcular los volúmenes de tierra, para ello se presupone que el camino está formado por una serie de prismoides tanto en corte como en terraplén, estos prismoides estarán limitados en sus extremos por dos superficies paralelas verticales, representadas por las secciones de construcción y lateralmente por los planos de los taludes.

Con tal consideración es necesario realizar un estudio sobre las propiedades de los prismoides.

Fórmula del prismoide.

Para deducirla se considera un prismoide de bases triangulares, los triángulos no son iguales ni semejantes.

De la Figura (7.11), se tiene:

$$A_1 = \frac{1}{2} b_1 h_1 \quad ; \quad A_2 = \frac{1}{2} b_2 h_2 \quad ; \quad A_x = \frac{1}{2} b_x h_x$$

Pero:

$$b_x = b_1 + (b_2 - b_1) \frac{X}{L}$$

$$h_x = h_1 + (h_2 - h_1) \frac{X}{L}$$

Con lo cual:

$$A_x = \frac{1}{2} [b_1 h_1 + (b_1 h_2 - b_1 h_1 + b_2 h_1 - b_1 h_1) \frac{x}{L} + \\ + (b_2 h_2 - b_2 h_1 - b_1 h_2 + b_1 h_1) \frac{x^2}{L^2}]$$

El volumen del prismoide puede calcularse como:

$$V = \int_0^L A_x dx$$

sustituyendo A_x en la expresión anterior, e integrando y simplificando:

$$V = \frac{L}{6} [\frac{b_1 h_1}{2} + 4 \frac{\frac{b_1 + b_2}{2} \frac{h_1 + h_2}{2}}{2} + \frac{b_2 h_2}{2}]$$

pero:

$$\frac{b_1 + b_2}{2}, \quad \frac{h_1 + h_2}{2}$$

son la base y altura media de un triángulo que se encuentra a la mitad de la longitud L considerada, si se llama A_m al área de un triángulo se tendrá:

$$V = \frac{L}{6} (A_1 + 4 A_m + A_2) \quad \dots(1)$$

que es conocida como la fórmula del prismoide, si se introduce la hipótesis:

$$A_m = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

y se sustituye en (1), se tendrá:

$$V = \frac{L}{2} (A_1 + A_2) \quad \dots(2)$$

que es la expresión conocida como la **fórmula de las áreas medias** y que por su simplicidad es muy útil para el cálculo de los volúmenes.

El menor error introducido por esta fórmula se calcula con la siguiente expresión:

$$E = \frac{L}{3} (A_1 + A_2 - 2 A_m)$$

para el prismoide triangular:

$$E = \frac{L}{12} (b_1 - b_2) (h_1 - h_2)$$

Aunque los prismoides definidos por las secciones transversales se asemejen más a un prismoide trapecial que aún triangular, las expresiones anteriores siguen siendo válidas ya que los errores inducidos al aplicar esta fórmula son relativos con la precisión deseada.

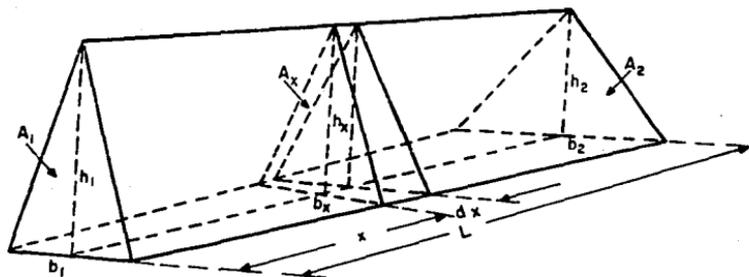


FIGURA 7.11 VOLUMEN DE UN PRISMOIDE TRIANGULAR.

7.14.2 Cálculo de volúmenes de terracerías en curva.

En el inciso anterior se ha analizado y deducido las fórmulas para calcular el volumen de terracerías, considerando prismoides en tramos rectos del camino; cuando el camino va en curva horizontal, las secciones transversales no son paralelas entre sí y las expresiones anteriores no son válidas.

Para el cálculo de volúmenes en curva, se hace uso del teorema de PAPPUS y GULDINUS, según el cual el volumen de un sólido engendrado por una superficie plana que gira alrededor de un eje contenido en el plano de su superficie, es igual al producto del área por la distancia recorrida por el centro de gravedad de la superficie durante el giro.

Si todas las secciones del camino en curva fueran iguales sería fácil calcular el volumen con el teorema anterior, sin embargo el caso más común es que sean diferentes con lo cual el cálculo exacto del volumen es complejo, requiriéndose introducir algunas hipótesis simplificatorias.

De la Figura (7.12), se tiene que:

- L = Distancias entre las secciones 1 y 2 medidas en el eje.
- R = Radio de la curvatura en el eje del camino.
- G_1, G_2 = Posición del centro de gravedad de la sección 1 y 2.
- e_1, e_2 = Distancia del centro de gravedad en la sección 1 y 2 al eje del camino.
- A_1, A_2 = Areas de las secciones 1 y 2.

Aplicando el teorema de Pappus y Guldinus, suponiendo que la sección 1 se mantiene constante.

$$V_1 = A_1 l_1$$

Si se acepta como aproximación suficiente .

$$V = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

se tendrá:

$$V = \frac{A_1 l_1 + A_2 l_2}{2}$$

por otro lado se establece que:

$$\frac{L}{R} = \frac{l_1}{R + e_1} \quad l_1 = \frac{L}{R} (R + e_1)$$

sustituyendo:

$$V = \frac{L}{2R} (A_1 (R + e_1) + A_2 (R + e_2))$$

por lo tanto la corrección por curvatura será:

$$E = \frac{L}{2R} (A_1 e_1 + A_2 e_2)$$

La S.C.T. no considera las correcciones prismoidales y por curvatura, debido a la laboriosidad que representa, en cambio considera el mayor número de secciones posibles.

El material empleado ya sea de corte ó de préstamo empleado en la formación de terraplenes, o como material de desperdicio, experimenta un cambio de volumen al pasar de su estado natural a formar parte del terraplén, este cambio es importante para la determinación de los volúmenes y movimientos de tierras correspondientes.

Este cambio que se expresa como la relación que existe entre el peso volumétrico del material en su estado natural y el peso volumétrico que ese mismo material tiene al formar el terraplén se llama **COEFICIENTE DE VARIABILIDAD VOLUMETRICA** y se aplica al material en su estado natural para obtener su volumen en terraplén.

Su determinación es importancia de un estudio de mecánica de suelos, el cual nos proporciona este dato importante para conocer el volumen real del material.

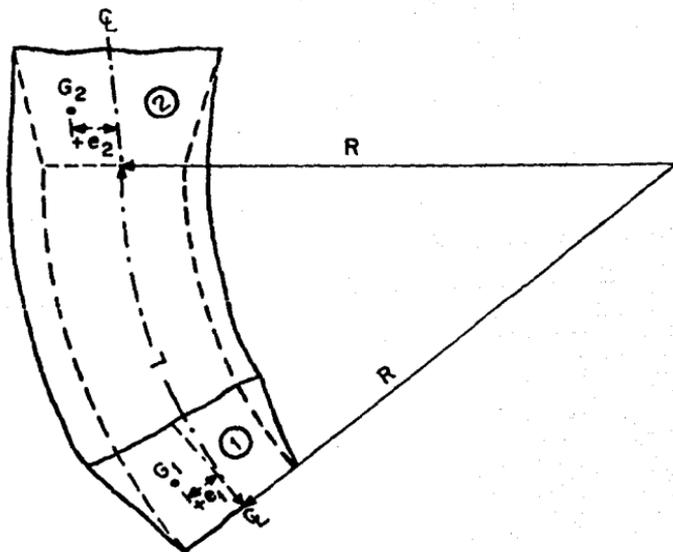


FIGURA 7.12 CORRECCIÓN DE VOLUMEN POR CURVATURA.

Continuando con el proyecto:

Para el cálculo de los volúmenes se utilizará la fórmula de las áreas medias, las cuales son:

Para corte:

$$V_c = \left[\frac{L}{2} (Ac_1 + Ac_2) \right] C.V.V$$

Para terraplén:

$$V_t = \left[\frac{L}{2} (At_1 + At_2) \right]$$

Donde:

- Ac_1 = Área de corte de la sección 1.
- Ac_2 = Área de corte de la sección 2.
- At_1 = Área de terraplén de la sección 1.
- At_2 = Área de terraplén de la sección 2.
- L = Distancia entre la sección 1 y 2.
- V_c = Volumen de corte.
- V_t = Volumen de terraplén.
- $C.V.V$ = Coeficiente de variabilidad volumétrica.

7.15 OBTENCIÓN DEL DIAGRAMA DE CURVA MASA.

RECORDANDO:

La curva masa es un diagrama en el cual las ordenadas representan volúmenes acumulados algebraicamente de las terracerías y las abscisas el cadenamamiento correspondiente. Este diagrama se dibuja en el mismo papel donde se dibujo el perfil del terreno y se proyecto la subrasante.

Las ordenadas de la curva masa en una estación determinada es la suma algebraica de los volúmenes de terraplén y de corte, estos últimos afectados por su C.V.V., considerados los volúmenes desde su origen hasta la estación en estudio, estableciendo que los volúmenes de corte son positivos y los de terraplén negativos.

La secuela a seguir para el proyecto de la curva masa es como sigue:

1.- Se proyecta la subrasante sobre el dibujo del perfil del terreno y se calculan las cotas de las curvas verticales.

2.- Se determina en cada estación, o en los puntos que lo ameriten, los espesores de corte o de terraplén.

3.- Se dibujan las secciones transversales de construcción marcando el centro de línea.

4.- Utilizando plantillas de corte o de terraplén con los taludes escogidos según el tipo de material y tomando en cuenta el centro de línea y los espesores de corte o terraplén, se dibujan todos los elementos de las secciones tipo, quedando así proyectadas cada una de las secciones de construcción.

5.- Se calculan las áreas de las secciones de construcción en corte y terraplén del camino por cualquiera de los métodos ya conocidos, y se anotan ordenadamente en una tabla.

6.- Se calculan los volúmenes abundando cortes, multiplicando estos por el C.V.V. El volumen del material se calcula por tramos entre estaciones consecutivas.

7.- Se suman algebraicamente los volúmenes de corte (+) y terraplén (-).

8.- Se dibuja el diagrama de curva masa colocando para cada estación la coordenada de curva masa correspondiente.

En la tabla (7-C), se muestra de una manera ordenada el mecanismo a seguir para obtener las ordenadas de la "CURVA MASA".

ESTACIÓN	ELEVACIONES		ÁREAS		Σ ÁREAS		L	VOLUMEN		C.V.V	VOLUMENES ABUNDANCIA		SUMA ALGEBRAICA DE VOLUMENES		ORO. DE LA CURVA MASA
	TERMINO	SUB-PASANTE	C	T	C	T		C	T		C	T	+C	+T	
D+000	1634	1634	0.10	3.10											90,000.000
D+020	1638	1637	8.40	0.625	8.50	3.725	20	85	37.25	1.15	97.75	37.25	60.50		50,080.500
D+040	1640	1638	14.75		23.15	0.625	20	231.50	6.25	1.15	288.225	6.25	259.975		51,320.475
D+060	1641	1638.5	22.65		37.40		20	374		1.15	430.10		430.10		50,730.575
D+080	1641	1639	25.60		48.25		20	482.50		1.15	554.90		554.90		51,285.475
D+100	1640	1640	5.22	1.815	30.82	1.815	20	308.20	18.15	1.15	354.43	18.15	336.28		51,844.965
D+120	1640	1640.5	3.42	5.80	6.64	7.615	20	86.40	76.15	1.15	99.36	76.15	23.21		51,844.965
D+140	1639	1641		22.30	3.42	28.10	20	34.20	281.00	1.15	39.33	281.00		241.67	51,403.295
D+160	1639	1641.5		33.32		55.62	20		556.20			556.20		556.20	50,487.095
D+180	1640	1642		28.08		61.43	20		614.00			614.00		614.00	50,233.095
D+200	1640	1643		38.08		66.13	20		661.80			661.80		661.60	45,571.495
D+220	1643	1643	7.34	12.80	7.34	50.81	20	73.40	506.80	1.15	84.41	506.80		422.38	49,148.105
D+240	1644	1644	7.88	8.50	15.22	21.111	20	152.20	211.00	1.15	175.03	211.00		35.97	49,113.735
D+260	1645	1645	7.55	4.42	15.43	12.92	20	154.30	129.20	1.15	177.45	129.20		48.25	49,161.985
D+280	1646	1646	2.03	9.86	9.58	14.22	20	95.80	142.80	1.15	110.17	142.80		32.63	49,129.355
D+300	1646	1647.5	0.56	17.50	2.58	27.36	20	25.90	273.80	1.15	28.58	273.63		244.62	48,884.735
D+320	1648	1649	0.77	25.70	1.33	46.20	20	13.30	462.00	1.15	15.30	462.00		446.70	48,438.035
D+340	1648	1650		31.64	0.77	60.34	20	7.70	603.40	1.15	8.860	603.41		594.54	47,843.495
D+360	1649	1651.5		41.32		72.98	20		729.80			729.81		729.60	47,113.895
D+380	1650	1652.5		44.00		85.32	20		853.20			853.20		853.20	46,260.895
D+400	1653	1654	0.55	20.30	0.55	64.30	20	5.50	643.00	1.15	6.325	643.00		636.675	45,624.020
D+420	1659	1655	55.11		55.88	20.30	20	556.80	203.00	1.15	640.090	203.00		437.09	46,061.110
D+440	1660	1657	62.64		117.75		20	1177.50		1.15	1354.125			1354.125	47,415.225

ESTACIÓN	ELEVACIONES		AREAS		Z AREAS		L	VOLUMEN		C.V.V	VOLUMENES ABONADOS		SUMA ALDEBRACA DE VOLUMENES		ORD. DE LA CURVA MASA
	TERRENO	SUB- SABANTE	C	T	C	T		C	T		C	T	+C	+T	
D+460	1953	1956	74.44		137.08		20	1370.80		1.15	1576.42		1576.42		48,881.885
D+480	1964	1959	58.42		132.86		20	1328.60		1.15	1527.89		1527.89		50,519.545
D+500	1963	1960.5	39.80		98.22		20	982.20		1.15	1095.03		1095.03		51,614.800
D+520	1980	1962		46.48	36.80	46.48	20	368.00	464.80	1.15	423.20	464.80		41.80	51,573.000
D+540	1980	1963		64.10		110.88	20		1105.80			1105.83		1105.80	50,487.175
D+580	1983	1964.5	0.24	27.20	0.84	81.30	20	2.40	813.00	1.18	2.76	813.00		810.24	48,556.835
D+580	1985	1966	0.72	20.13	0.88	47.33	20	9.60	473.30	1.15	11.04	473.30		482.28	49,094.875
D+600	1986	1967	33.10		33.82	20.13	20	338.20	201.30	1.18	388.93	201.30	187.83		48,282.305
D+620	1972	1968	54.00		87.10		20	871.00		1.15	1001.85		1001.85		50,583.955
D+640	1974	1970	53.50		107.30		20	1075.00		1.15	1236.25		1236.25		51,530.205
D+660	1974	1971	51.80		106.30		20	1063.00		1.15	1210.95		1210.95		52,731.155
D+680	1975	1973	23.88		75.48		20	754.80		1.15	888.02		888.02		52,539.175
D+700	1978	1974	18.40		42.08		20	420.80		1.15	483.92		483.92		54,083.000
D+720	1978	1975	17.70	0.40	36.10	0.40	20	361.00	4.00	1.15	415.15	4.00	411.15		54,684.845
D+740	1977	1976.5	10.82	4.82	28.32	5.02	20	283.20	50.20	1.15	325.88	50.20	275.48		54,789.725
D+760	1978	1976	4.82	2.18	15.44	6.78	20	154.40	67.80	1.15	177.58	67.80	109.78		54,879.685
D+780	1979	1978.5	9.48	8.80	14.30	10.98	20	143.00	109.80	1.15	164.45	109.80	54.85		54,834.325
D+800	1977	1979	0.12	39.95	9.90	43.75	20	96.00	487.50	1.15	110.40	487.50		377.10	54,987.235
D+820	1977	1979.5		49.50	0.12	83.45	20	1.20	894.50	1.15	1.38	894.50		893.12	53,088.115
D+840	1977	1580		54.20		103.70	20		1037.00			1037.00		1037.00	52,627.115
D+860	1978	1980.5		29.50		83.70	20		837.00			837.00		837.00	51,780.115
D+880	1980	1981	1.80	23.40	1.80	52.90	20	18.00	529.00	1.15	18.40	529.00		510.00	51,279.515
D+900	1982	1982	4.08	9.86	5.68	33.26	20	56.80	332.60	1.15	65.32	332.60		267.28	51,012.235

ESTACIÓN	ELEVACIONES		AREAS		Σ AREAS		L	VOLUMEN		C.V.V	VOLUMENES ABUNDADOS		SUMA ALGEBRAICA DE VOLUMENES		ORD. DE LA CURVA MASA
	TERRENO	SUB- RASANTE	C	T	C	T		C	T		C	T	+C	+T	
0+920	1686	1682	52.90		56.98	9.86	20	569.80	98.60	1.15	655.27	98.60	556.67		51,563.900
0+940	1689	1683	71.24		124.14		20	1241.40		1.15	1427.61		1427.61		52,996.515
0+960	1688	1683.5	81.20		152.44		20	1524.40		1.15	1753.06		1753.06		54,749.575
0+980	1688	1684	66.12		147.32		20	1473.20		1.15	1694.18		1694.18		56,443.755
1+000	1686	1684.5	9.52	0.30	75.64	0.30	20	756.40	3.00	1.15	869.86	3.00	866.86		57,310.615
1+020	1685	1685	8.32	14.04	17.84	14.34	20	178.40	143.40	1.15	205.18	143.40	61.76		57,372.375
1+040	1684	1686		43.08	8.32	57.12	20	83.20	571.20	1.15	95.66	571.20		475.52	56,896.855
1+060	1685	1687		39.42		82.50	20		825.00			825.00		825.00	56,071.855
1+080	1685	1688		55.08		94.50	20		945.00			945.00		945.00	55,126.855
1+100	1686	1688		49.94		105.02	20		1050.20			1050.20		1050.00	54,078.855
1+120	1687	1690		42.78		92.70	20		927.00			927.00		927.00	53,149.855
1+140	1688	1690.5		37.90		80.66	20		806.60			806.60		806.60	52,343.255
1+160	1690	1691.5		20.78		58.66	20		586.60			586.60		586.60	51,756.855
1+180	1691	1692		21.24		42.00	20		420.00			420.00		420.00	51,336.655
1+200	1693	1693	1.58	16.72	1.58	37.96	20	15.80	379.60	1.15	18.17	379.60		361.43	50,975.225
1+220	1695	1694	6.72	5.12	8.30	21.84	20	83.00	218.40	1.15	95.45	218.40		122.95	50,852.275
1+240	1696	1695	7.26	3.96	13.89	9.08	20	139.80	90.80	1.15	160.77	90.80		69.97	50,822.245
1+260	1696	1696	1.50		8.70	3.96	20	87.60	39.60	1.15	100.74	39.60		61.14	50,883.385
1+280	1698	1697	10.40		11.90		20	119.00		1.15	136.85			136.85	51,120.235
1+300	1700	1698	26.51		36.91		20	369.10		1.15	424.465			424.465	51,544.700
1+320	1702	1699	32.28		58.79		20	587.90		1.15	676.085			676.085	52,220.785
1+340	1702	1700	28.80		61.08		20	610.80		1.15	702.42			702.42	52,923.295
1+360	1702	1701	12.60		41.40		20	414.00		1.15	476.10			476.10	53,399.305

ESTACION	ELEVACIONES		AREAS		I AREAS		L	VOLUMEN			C.V.V	VOLUMENES AJUSTADOS		SUMA ALDEBRANCA DE VOLUMENES		ORD. DE LA CURVA MASA
	TERRENO	SUB-RASANTE	C	T	C	T		C	T	C		T	+C	+T		
1+380	1702	1702	1.64	0.95	14.28	0.83	20	142.80	8.80	1.15	144.22	8.80	155.42		53,554.725	
1+400	1703	1703	0.84	4.32	2.52	5.23	20	25.20	52.00	1.15	28.98	52.00		23.02	53,531.705	
1+420	1704	1704	1.12	2.52	1.96	6.84	20	19.60	68.40	1.15	22.54	68.40		45.86	53,485.845	
1+440	1704	1704	2.95	0.68	4.08	3.23	20	40.80	32.00	1.15	46.92	32.00	14.92		53,500.765	
1+460	1705	1705	1.88	2.52	4.84	3.23	20	48.40	32.00	1.15	55.66	32.00	23.66		53,524.425	
1+480	1706	1706	2.24	2.52	4.12	5.04	20	41.20	50.40	1.15	47.38	50.40		3.02	53,521.405	
1+500	1707	1706	6.40		8.64	2.52	20	86.40	25.20	1.15	99.36	25.20	74.16		53,555.555	
1+520	1708	1707	12.60		19.00		20	190.00		1.15	218.50		218.50		53,814.955	
1+540	1709	1708	10.20		22.80		20	228.00		1.15	262.20		262.20		54,076.265	
1+560	1709	1706.5	8.40		18.80		20	186.00		1.15	213.90		213.90		54,299.165	
1+580	1708	1709	0.18	14.00	8.58	14.00	20	85.80	140.00	1.15	98.67	140.00		41.33	54,248.835	
1+600	1707	1710		41.44	0.18	55.44	20	1.80	554.40	1.15	2.07	554.40		542.33	53,708.505	
1+620	1708	1710.5		24.96		86.00	20		660.00			660.00		660.00	53,046.505	
1+640	1711	1711	0.84	3.20	0.84	27.76	20	8.40	277.60	1.15	9.66	277.60		267.94	52,778.565	
1+660	1714	1712	26.36		27.20	3.20	20	272.00	32.00	1.15	312.80	32.00	280.80		53,059.165	
1+680	1714	1712	16.75		43.11		20	431.10		1.15	495.765		495.765		53,555.130	
1+700	1713	1713	3.14	0.36	19.89	0.36	20	198.90	3.60	1.15	228.735	3.60	225.135		53,780.265	
1+720	1712	1714		22.22	3.14	22.58	20	31.40	225.80	1.15	36.11	225.80		189.69	53,590.575	
1+740	1712	1714.5		46.00		68.22	20		682.20			682.20		682.20	52,908.375	
1+760	1716	1715	11.88		11.88	48.00	20	118.80	480.00	1.15	136.62	460.00		323.38	52,584.995	
1+780	1716	1716	1.58	2.52	13.46	2.52	20	134.60	25.20	1.15	154.79	25.20	129.59		52,714.585	
1+800	1714	1716	0.12	42.66	1.70	45.18	20	17.00	451.80	1.15	19.55	451.80		432.25	52,282.335	
1+820	1710	1717		91.36	0.12	134.02	20	1.20	1340.20	1.15	1.38	1340.20		1338.82	50,943.515	

ESTACIÓN	ELEVACIONES		ÁREAS		I ÁREAS		L	VOLUMEN		C.V.V	VOLUMENES ADJUNGADOS			SUMA ALGEBRAICA DE VOLUMENES		ORD. DE LA CURVA MASA
	TERRENO	SUB- PARANTE	C	T	C	T		C	T		C	T	+C	+T		
1+840	1714	1718		63.30		154.01	20		1546.60			1546.60		1546.60		49,396.915
1+880	1721	1718.5	29.12		29.12	63.30	20	291.20	633.00	1.15	334.88	633.03		298.12		49,096.795
1+860	1723	1719	56.88		65.80		20	658.00		1.15	986.70		986.70			50,085.485
1+900	1722	1720	28.84		65.52		20	655.20		1.15	963.48		963.48			51,088.875
1+920	1722	1720.5	19.68		48.52		20	485.20		1.15	557.98		557.98			51,626.980
1+940	1722	1721	18.80		38.48		20	384.80		1.15	442.52		442.52			52,069.475
1+980	1722	1722	4.84	2.16	23.44	2.16	20	234.40	21.60	1.15	299.56	21.60	247.96			52,317.435
1+980	1724	1722	35.36		40.00		20	400.00		1.15	480.00		480.00			52,777.435
2+000	1723	1722	20.84		56.20		20	562.00		1.15	646.30		646.30			53,423.735
2+020	1722	1722.5	0.84	19.00	21.88	19.00	20	216.80	190.00	1.15	249.32	190.00	59.32			53,483.055
2+040	1720	1720.5		45.74	0.84	64.74	20	8.40	647.40	1.15	9.86	647.40		637.74		52,645.315
2+060	1724	1723	4.18	0.32	4.18	48.06	20	41.80	460.80	1.15	48.07	460.80		412.56		52,432.755
2+080	1726	1723	32.84		37.02	0.32	20	370.20	3.20	1.15	425.73	3.20	422.53			52,655.285
2+100	1728	1723	56.50		88.34		20	893.40		1.15	1027.41		1027.41			53,682.895
2+120	1725	1723	20.80		77.10		20	771.00		1.15	886.65		886.65			54,789.340
2+140	1724	1724	0.38	11.52	20.96	11.52	20	209.80	115.20	1.15	241.27	115.20	126.07			54,895.415
2+160	1720	1723.5		61.66	0.38	73.20	20	3.80	732.00	1.15	4.37	732.00		727.63		54,167.785
2+180	1722	1723.5		15.08		78.76	20		787.60			787.60		787.60		53,600.185
2+200	1724	1723.5	6.35		6.35	15.08	20	63.50	150.80	1.15	73.025	150.80		77.775		53,322.410
2+220	1725	1722.5	26.95		33.30		20	333.00		1.15	382.95		382.95			53,705.380
2+240	1725	1721.5	38.30		65.75		20	657.50		1.15	756.125		756.125			54,461.485
2+260	1722	1720	22.80		61.80		20	616.00		1.15	706.40		706.40			55,168.885
2+280	1718	1719		8.00	22.80	8.00	20	228.00	80.00	1.15	262.20	80.00	182.20			55,352.085

ESTACION	ELEVACIONES		AREAS		Z AREAS		L	VOLUMEN		C.V.V.	VOLÚMENES ABUNDADOS		SUMA ALORRANA DE VOLÚMENES		ORD. DE LA CURVA MABA
	TERRENO	SUB- RASANTE	C	T	C	T		C	T		C	T	+C	+T	
2+300	1715	1718		37.80		45.80	20		456.00			456.00	456.00	54,886.085	
2+320	1715	1717		25.68		63.38	20		636.80			636.80	636.80	54,259.285	
2+340	1715	1715.5		8.80		30.18	20		308.80			308.80	308.80	53,990.485	
2+360	1715	1704	81.18		81.16	51.0	20	811.80	52.00	1.15	933.34	52.00	861.34	54,631.685	
2+380	1704	1702	45.80			127.06	20	1270.06		1.15	1480.57		1480.57	54,388.585	
2+400	1702	1702	30.84		79.54		20	785.40		1.15	880.21		880.21	57,172.835	
2+420	1702	1701	39.20		88.74		20	887.40		1.15	880.01		880.01	57,874.615	
2+440	1709	1709.5	0.72	2.44	38.82	2.41	20	389.20	24.40	1.15	458.08	24.40	435.08	54,469.685	
2+460	1709	1708	8.34		9.06		20	80.80		1.15	104.19		104.19	54,512.885	
2+480	1708	1707		7.70	8.34	7.70	20	83.40	77.00	1.15	95.91	77.00	18.91	58,532.785	
2+500	1708	1708	3.71		3.71		20	37.10		1.15	42.885		42.885	58,575.680	
2+520	1705	1705	1.02	11.87	4.73	11.87	20	47.30	119.70	1.15	84.365	119.70	66.305	58,510.195	
2+540	1705	1704	30.30		31.32		20	312.20		1.15	380.18		380.18	58,670.335	
2+560	1702	1702.5	7.02		37.32		20	373.20		1.15	428.18		429.18	58,889.515	
2+580	1699	1701.5		88.12	7.02	29.12	20	70.20	291.20	1.15	80.73	291.21	210.47	58,888.048	
2+600	1698	1700		18.40		47.52	20		475.20			475.21	475.20	58,613.848	
2+620	1697	1699		20.02		38.42	20		384.20			384.21	384.20	58,229.848	
2+640	1698	1698	1.12	2.52	1.12	22.54	20	11.20	225.40	1.15	12.88	225.40	212.52	58,017.128	
2+660	1699	1697		17.20		19.72	20		197.20			197.20	197.20	57,819.828	
2+680	1699	1695	42.00		42.00	17.20	20	420.00	172.00	1.15	483.00	172.00	311.00	58,130.928	
2+700	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	

TABLA 7-C

7.16 OBTENCIÓN DE LA COMPENSADORA ECONÓMICA (COMPENSADORA GENERAL) Y DE LAS COMPENSADORAS AUXILIARES.

Ya obtenidas las ordenadas de la curva masa, se procede a dibujar el diagrama de masas, y se proyecta sobre esta la posición más económica de las compensadoras generales y auxiliares como se indico en el capítulo VI, en el tema de movimientos de terracerías.

7.17 CALCULO DE LOS VOLÚMENES DE SOBRECARRERO.

El área comprendida entre la curva masa y una compensadora (general ó auxiliar), es el producto de un volumen por una distancia y nos representa el volumen por la longitud media de sobrecarreos, esta puede estar expresada en (m³ [Estación, Hectómetros, Kilómetros]).

Para calcular estos volúmenes de sobrecarreos se emplean las siguientes formulas:

$$\text{Para triángulos: } V_s = \frac{b \cdot h}{2} \quad \text{Para rectángulos: } V_s = b \cdot h$$

En donde:

- V_s = Volumen de sobrecarreos, en m³ [Estación, Hectómetros, Kilómetros].
- b = Es la distancia de acarreo, en [Estación, Hectómetros, Kilómetros].
- h = Es el volumen, en m³.

A continuación se muestran los resultados que se obtuvieron del calculo de los volúmenes de sobrecarreos del diagrama de masas.

MEMORIA DE CALCULO DE LOS VOLUMENES DE SOBRECARRERO							
PUNTO	DISTANCIAS DE ACARREO		$\Sigma (b_1 + b_2)$ (m)	DISTANCIAS DE ACARREO EN EST. Hm. KM.	VOLUMEN h (m ³)	VOLUMEN DE ACARREO	UNIDADES DE MEDIDA EST. Hm. Km.
	b ₁ (m)	b ₂ (m)					
1	100	69	169	1.69 Hm.	1600	1352	m ³ Hm.
2	132	132	264	2.64 Hm.	800	2112	m ³ Hm.
3	10	8	18	0.90 Est.	40	18	m ³ Est.
4	134	50	184	1.84 Hm.	3400	3128	m ³ Hm.
5	26	30	56	2.80 Est.	1580	2212	m ³ Est.
6	20	26	46	2.30 Est.	820	943	m ³ Est.
7	94	50	144	1.44 Hm.	1920	1382.40	m ³ Hm.
8	56	32	88	0.88 Hm.	1900	836	m ³ Hm.
9	64	100	164	1.64 Hm.	4400	3608	m ³ Hm.
10	86	108	194	1.94 Hm.	2140	2078.80	m ³ Hm.
11	14	20	34	1.70 Est.	80	68	m ³ Est.
12	130	134	264	2.64 Hm.	500	1320	m ³ Hm.
13	130	26	156	1.56 Hm.	220	824	m ³ Hm.
14	8	8	16	0.80 Est.	120	48	m ³ Est.
15	32	26	58	2.90 Est.	720	1044	m ³ Est.
16	134	115	249	2.49 Hm.	260	647.40	m ³ Hm.
17	100	108	208	2.08 Hm.	3540	3648.20	m ³ Hm.
18	14	16	30	1.50 Est.	460	360	m ³ Est.
19	14	15	29	1.45 Est.	420	304.50	m ³ Est.
20	23	18	41	2.05 Est.	800	820	m ³ Est.
21	35	30	65	3.25 Est.	300	975	m ³ Est.
22	6	20	26	1.30 Est.	360	234	m ³ Est.
23	10	2	12	0.80 Est.	100	30	m ³ Est.
24	16	50	66	3.30 Est.	1240	2046	m ³ Est.
25	70	80	150	1.50 Hm.	120	180	m ³ Hm.
26	30	10	40	2.00 Est.	50	50	m ³ Est.
27	35	35	70	3.50 Est.	680	1190	m ³ Est.
28	38	30	68	3.40 Est.	500	850	m ³ Est.

VOLUMENES TOTALES:

Σ = 11,192.50	m ³ Est.
Σ = 20,911.80	m ³ Hm.

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES

El presente trabajo pretende que los alumnos que cursan la materia de vías terrestres, tengan una guía para realizar el proyecto de un camino, lo cual está contemplado en el programa vigente de la materia.

Así pues podemos concluir brevemente el trabajo visto aquí de la siguiente manera.

1.- Las vías de comunicación son un factor fundamental para lograr el crecimiento y desarrollo de un país. La carretera como vía de comunicación es empleada principalmente para el transporte.

2.- La evolución de la red carretera nacional en los últimos años, se ha venido dando a un ritmo muy rápido, por eso surgió la necesidad de reglamentar y fijar, sobre bases sólidas, normas para la planeación, proyecto, construcción y conservación de los caminos.

3.- De acuerdo a lo anterior el proyecto de caminos sigue una secuencia de pasos bien definidos que llevan a la realización del objetivo deseado en forma racional y acorde con las condiciones existentes de la zona.

4.- Para este tipo de proyectos se describen en este trabajo una metodología de tres etapas.

- a) Selección de ruta.
- b) Proyecto preliminar y
- c) Proyecto definitivo.

5.- La selección de ruta es de gran importancia en el proyecto de caminos, ya que el éxito del mismo depende de gran medida de la realización adecuada de ésta etapa.

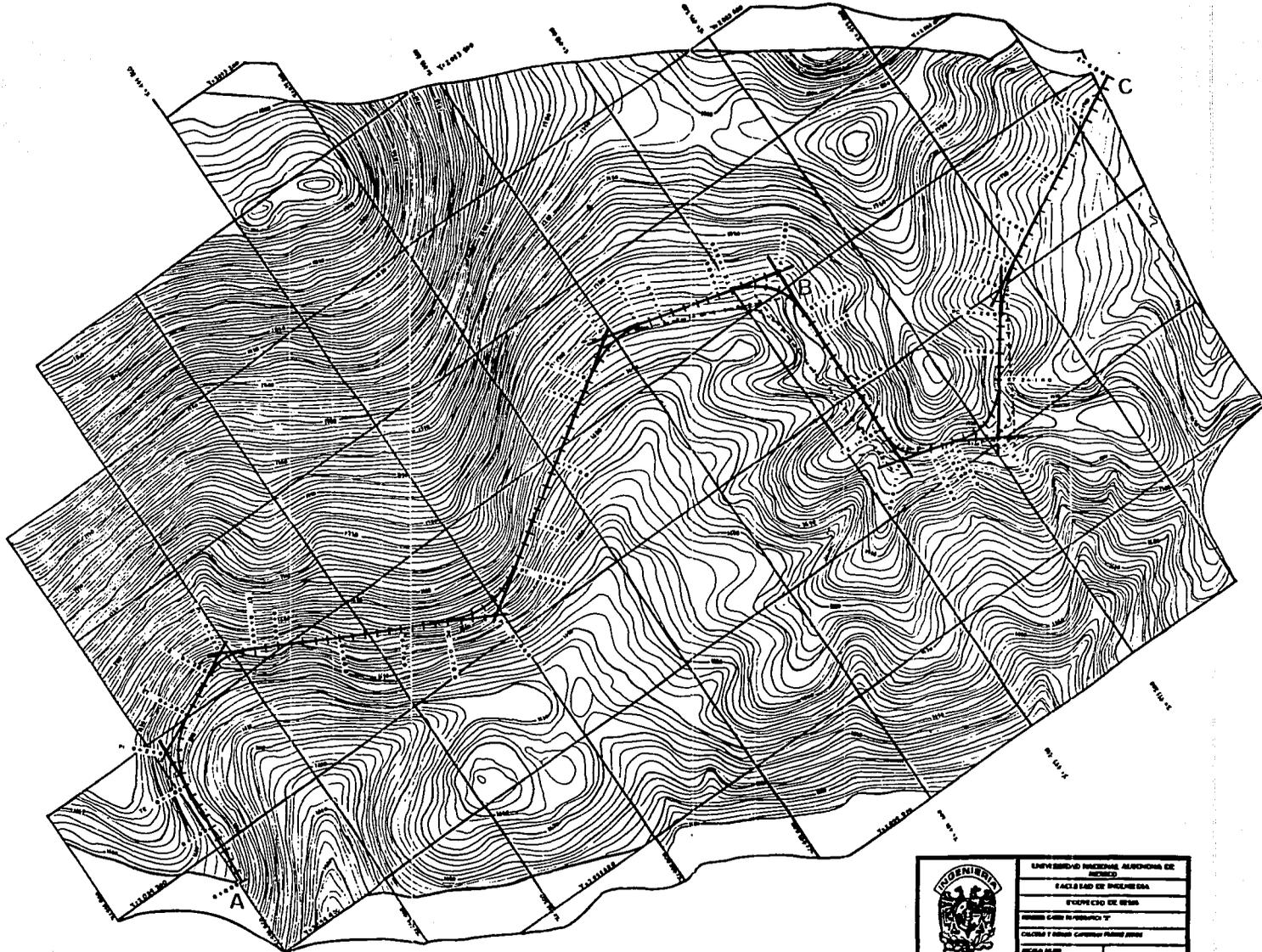
6.- La selección de ruta y el anteproyecto pueden llevarse a cabo por dos métodos diferentes:

- a) El método convencional y
- b) El método fotogramétrico-electrónico.

El método a utilizar se elige de acuerdo a la vegetación, configuración topográfica, plazo de ejecución y de la accesibilidad a la zona.

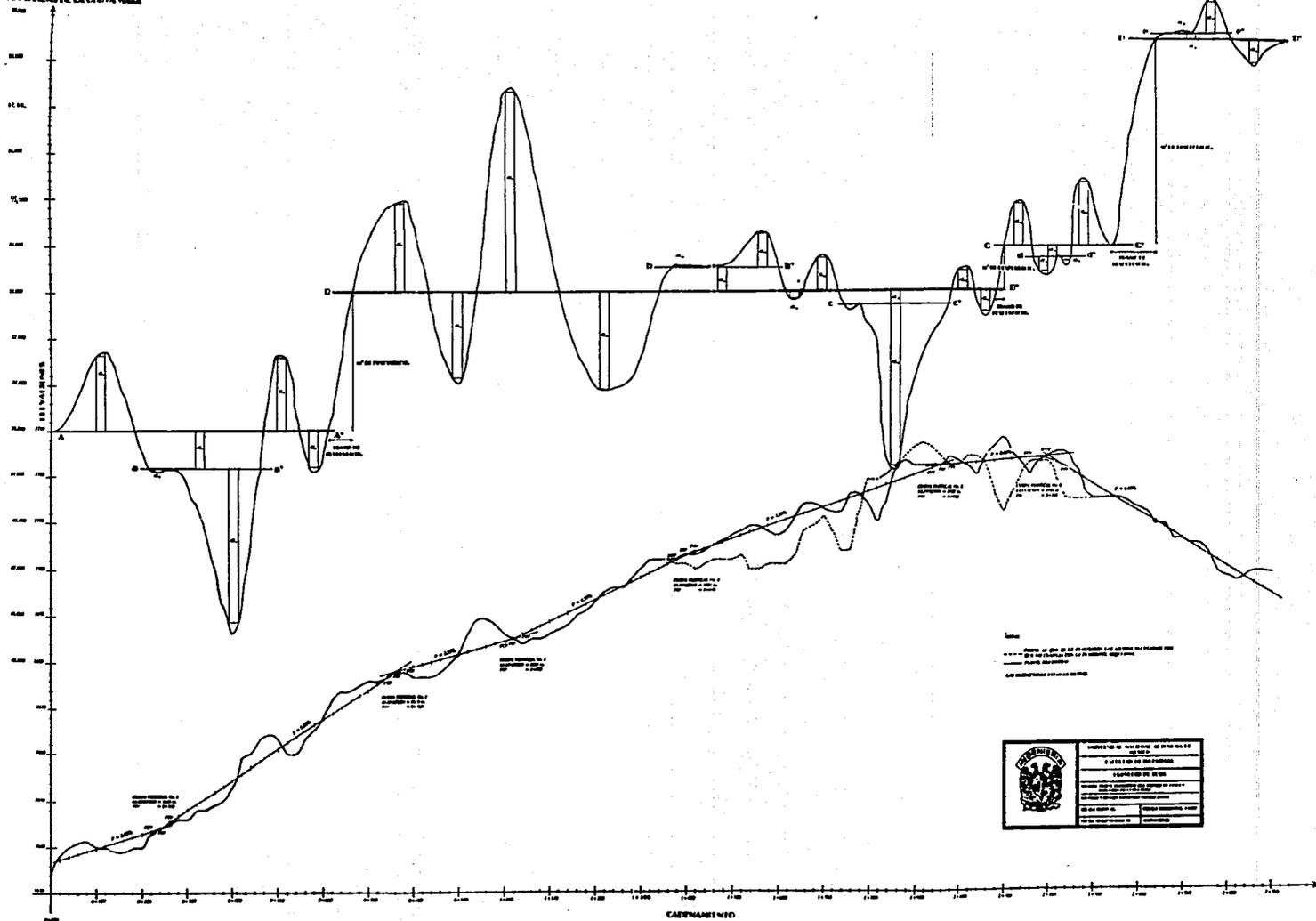
En el anteproyecto se toman los datos necesarios de campo, para proyectar en el gabinete el centro de línea del camino.

En el proyecto definitivo se realizan los estudios complementarios para obtener los planos detallados del camino que servirán para la construcción del mismo, incluyendo lo correspondiente a movimiento de terracerías, drenaje, pavimentos, y obras complementarias como puentes y pasos a desnivel, e.t.c.



	ESTADOS UNIDOS MEXICANOS
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
	FACULTAD DE INGENIERÍA
	CUERPO DE ESTUDIOS
	INGENIERÍA CIVIL
	CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESTACIONES DE LA CERRA HABA



	INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS DE CUBA INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS DE CUBA
	INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS DE CUBA INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS DE CUBA

BIBLIOGRAFÍA.

- 1) **CARLOS CRESPO VILLALAZ.** Vías de comunicación, caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos.
Editorial limusa, segunda edición, 1989.
- 2) **FERNANDO OLIVERA BUSTAMANTE.** Estructuración de vías terrestres.
C.E.C.S.A, primera edición, 1986, tercera reimpresión, mayo de 1991.
- 3) **FERNANDO OLIVERA BUSTAMANTE.** Apuntes de la clase de vías terrestres.
Segundo semestre de 1991.
- 4) **HEINEN.** Vías de comunicación I, apuntes del I.P.N.
- 5) **MANUAL DE PROYECTO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS.**
Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
Primera edición, cuarta reimpresión.
- 6) **NORMAS DE SERVICIOS TÉCNICOS.** Proyecto geométrico para carreteras.
Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
México, 1984.
- 7) **MONTES DE OCA MIGUEL.** Topografía.
R.S.I.S.A., México, 1981.
- 8) **RENE ETCHARREN GUTIÉRREZ.** Manual de caminos vecinales.
Asociación mexicana de caminos, A.C.
Representaciones y servicios de ingeniería, S.A.
segunda edición.
México, 1991.
- 9) **TOSCANO RICARDO.** Métodos topográficos.
Editorial Porrúa, S.A., México, 1981.

ESTE TRABAJO FUE ELABORADO EN:

" IMPRETEXT 2000 "

PALMA NORTE No. 519 Interior 103

(PRIMER PISO)

ESQUINA CON BELISARIO DOMINGUEZ

COL. CENTRO, C.P. 06010

MEXICO, D.F.