

36
20y



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

“ARAGON”

“PROYECTO DEFINITIVO PARA CAMINOS”

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO CIVIL

Presenta:

ARTURO SANCHEZ NIETO

Asesor de Tesis

M. en I. Fernando Olivera Bustamante

México, D. F.

1988



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.

PROYECTO DEFINITIVO PARA CAMINOS.

INTRODUCCION.

CAPITULO	1	PROYECTO HORIZONTAL.	12
	1.1	Alineamiento horizontal.	
	1.2	Tangentes.	
	1.3	Distancias de visibilidad.	
	1.3.1	Distancia de visibilidad de parada.	
	1.3.2	Distancia de visibilidad de rebase.	
	1.3.3	Distancia de visibilidad de encuentro.	
	1.4	Curvas circulares.	
	1.4.1	Curvas circulares simples.	
	1.4.2	Curva circular compuesta.	
	1.5	Curvas de transición.	
	1.5.1	Curva circular simple con espirales de transición.	
	1.5.2	Transición mixta.	
	1.6	Distancia de visibilidad en curvas horizontales.	
CAPITULO	2	PROYECTO VERTICAL.	46
	2.1	Alineamiento vertical.	
	2.2	Tangentes.	
	2.2.1	Pendiente gobernadora.	
	2.2.2	Pendiente máxima.	
	2.2.3	Pendiente mínima.	

2.2.4	Longitud mínima de tangentes.
2.3	Curvas verticales.
2.3.1	Curvas verticales en cresta.
2.3.2	Curvas verticales en columpio.
2.3.3.	Elementos de la curva vertical.
2.4	Longitud mínima en curvas verticales.
2.4.1	Criterio de comodidad.
2.4.2	Criterio de apariencia.
2.4.3	Criterio de drenaje.
2.4.4.	Criterio de seguridad.
2.4.5	Longitud de curvas verticales en cresta.
2.4.6	Longitud de curvas verticales en columpio.

CAPITULO	3	PROYECTO DE CURVA MASA.	72
	3.1	Sección transversal del camino.	
	3.1.2	Elementos que integran la sección transversal.	
	3.2	Proyecto de la subrasante económica.	
	3.2.1	Elementos que definen la subrasante económica	
	3.3	Volúmenes de terracerías.	
	3.3.1	Métodos empleados para la determinación de áreas.	
	3.3.2	Cálculo de volúmenes de terracerías en tangente.	
	3.3.3	Cálculo de volúmenes de terracerías en curva.	
	3.4	Diagrama de masas.	
	3.4.1	Propiedades y características del diagrama de curva masa.	

- 3.5 Movimiento de terracerías.
- 3.5.1 Acarreos.
- 3.5.2 Compensadora económica.
- 3.5.3 Compensadora auxiliar.

CAPITULO	4	GENERALIDADES DE DRENAJE.	127
	4.1	El drenaje en el camino.	
	4.1.1	Consideraciones hidrológicas en el estudio del drenaje.	
	4.2	Clasificación del drenaje.	
	4.2.1	Drenaje superficial.	
	4.2.2	Drenaje longitudinal.	
	4.2.3	Drenaje transversal.	
	4.3	Alcantarillas.	
	4.3.1	Proyecto de alcantarillas.	
	4.3.2	Diseño hidráulico.	
	4.3.3	Cálculo dimensional y estructural de una alcantarilla.	
	4.4	Puentes.	
	4.4.1	Cálculo del área hidráulica.	
	4.4.2	Diseño estructural del puente.	
	4.5	Drenaje subterráneo.	
	4.5.1	Drenes longitudinales.	
	4.5.2	Drenes transversales.	
	4.6	Funcionamiento del drenaje.	

CAPITULO	5	METODO TRADICIONAL Y FOTOGRAFICO PARA PROYECTO DEFINITIVO.	159
	5.1	Antecedentes. Elección de ruta.	
	5.2	Métodos empleados para la determinación del proyecto definitivo.	
	5.3	Selección del método a seguir para el levantamiento topográfico.	
	5.4	Método tradicional terrestre.	
	5.4.1	Proyecto preliminar por método tradicional.	
	5.4.2	Obtención de proyecto definitivo.	
	5.5	Método fotogramétrico.	
	5.5.1	Proyecto preliminar.	
	5.5.2	Proyecto definitivo.	

Bibliografía.

INTRODUCCION .

Las vías de comunicación son utilizadas por el hombre para su desarrollo económico, político y social. La carretera como vía de comunicación es empleada principalmente para el transporte .

La evolución que trae consigo los cambios en los diferentes aspectos de la vida del hombre, motivó la necesidad de reglamentar y fijar sobre bases sólidas, normas para la planeación, proyecto, construcción y conservación de caminos.

Tomando en cuenta 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.

Según la finalidad que se busca, los caminos pueden ser de integración nacional, de tipo social, caminos para el desarrollo y caminos entre zonas desarrolladas; éstos últimos construidos para disminuir los costos de operación y mejorar el tránsito en caminos rurales.

Por lo tanto un primer paso en el proyecto de un camino es determinar la clasificación que tomará en base a la finalidad que se desea, las posibilidades económicas de la región, las dificultades de construcción y la estimación del tránsito en cuanto a tipo y cantidad; esta clasificación es importante para definir aspectos básicos de proyecto, que servirán como parámetros para realizar el estudio definitivo del camino.

La S.C.T. propone la siguiente clasificación de caminos y sus respecti -

vos parámetros básicos de proyecto.

TIPO DE CAMINO	T.D.P.A. MAX. (VEHICULOS)	VELOCIDAD DE PROYECTO MAXIMA.	GR. DE CURVATURA	PENDIENTE MAXIMA	ANCHO DE CORONA	SUP.DE RODAMIENTO.
Especial	Mas de 3000	90-100 Km/h	3° 30' Max.	4%	Variable	Carp. de concreto asfáltica.
Tipo A ó 1er. ord.	3000	60-100	11°	6%	12.00	Carp. de concreto Asf. ó riegos.
Tipo B	1500	50-80	16° 30'	6.5%	9.00	Carpeta de riego.
Tipo C	1000	35-70	35°	7%	7.00	Carpeta de revestimiento
Tipo D	500	25-50	67°	11%	6.00	Capa de revestimiento
Tipo E	100	25-30	67°	12-16%	4.0 a 4.50	Capa de re - vestimiento.

El proyecto geométrico de un camino, básicamente se realiza en tres etapas:

- 1) Elección de ruta.
- 2) Proyecto preliminar.
- 3) Proyecto definitivo.

Elección de ruta.- Es la primera etapa del proyecto y consiste en la búsqueda de todas las soluciones posibles para unir los puntos obligados del proyecto y determinar mediante un estudio la ruta mas conveniente que seguirá estudiandose con mas detalle para proyectar sobre ésta el eje que seguirá el camino.

Esta etapa se realiza principalmente con los siguientes pasos:

- a) Recopilación de datos de la zona.
- b) Reconocimiento aéreo.
- c) Estudio de rutas en fotografías aéreas a Esc. 1: 50, 000 .
- d) Reconocimiento de rutas.
- e) Evaluación de rutas.

Al final de esta etapa se tendrá marcada la ruta mas conveniente sobre los mosaicos fotográficos y planos para comenzar con el estudio preliminar.

Proyecto preliminar.- Esta segunda etapa de proyecto consiste principalmente en obtener la configuración del terreno en un ancho de aproximadamente 100 metros a cada lado de la ruta aprobada en la etapa anterior.

Esta etapa se realiza en campo con el auxilio de las técnicas topográficas. En esta fase se realizan también los estudios preliminares del drenaje y geología a lo largo de la ruta.

Al finalizar esta etapa se tendrán los planos en la planta de la ruta aprobada, con curvas de nivel a cada metro y dibujada la poligonal que sirvió de apoyo para el levantamiento, sobre estos planos se proyectará el

eje definitivo del camino.

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 de proyecto definitivo se inicia una vez obtenida la faja de terreno en la etapa preliminar y se realiza totalmente en gabinete y comprende:

- a) Proyecto en planta del eje del camino, con planos a escala 1: 2000 ó 1: 1000.
- b) Perfil del eje del camino y proyecto de la subrasante con planos a escala 1: 2000 horizontal y 1: 200 vertical.
- c) Cálculo de áreas y volúmenes de las secciones transversales de construcción.
- d) Proyecto de la curva masa y movimiento de tierras con los acarreos correspondientes.
- e) Proyecto del drenaje, incluyendo posición, tipo y dimensiones de las obras.

El proyecto definitivo se basa principalmente en las especificaciones requeridas para que el camino cumpla 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 ancho de carriles necesarios para determinar la sección transversal de construcción.

La precipitación pluvial, así como los datos de las corrientes afectadas en la zona son indispensables para dimensionar y detallar las obras de drenaje como cunetas, contracunetas, lavaderos, alcantarillas, etc. La localización exacta de cruce de las obras de drenaje mayor deben estar perfectamente definidas.

Es necesario conocer perfectamente las características y propiedades de los materiales atravesados por el camino, para poder especificar los taludes de corte y terraplén ó para conocer la capacidad de carga del suelo en aquellos lugares donde se requiera cimentar algunas estructuras como puentes, muros de retención u obras auxiliares y también para tener conocimiento de los materiales con que se dispone para formar los terraplenes .

Contando con todos estos datos se procederá a calcular con detalle todos aquellos elementos del camino sujetos a las especificaciones tales como longitud de tangentes, curvas horizontales , curvas verticales, inclinación de taludes, diámetro de alcantarillas, etc.

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.

CAPITULO I

PROYECTO HORIZONTAL

1.1 Alineamiento horizontal.

El alineamiento horizontal es la proyección sobre un plano horizontal del eje de la subcorona del camino. Los elementos que lo integran son las tangentes, las curvas circulares y las curvas de transición .

Trazo del alineamiento horizontal.

Sobre la configuración del terreno obtenido en la etapa preliminar se llevará el trazo de la línea que con la pendiente dada una los puntos obligatorios del proyecto. Esta línea se traza utilizando un compás de puntas; conociendo la equidistancia entre curvas de nivel y la pendiente que se desea para el camino, se calcula la abertura del compás con la misma escala utilizada en los planos para que al interceptar sus puntas dos curvas de nivel contiguas la línea imaginaria que une estos puntos tenga la pendiente deseada.

La unión de estos puntos daría una línea " A pelo de tierra " , esta línea quebrada es la base para proyectar el trazo definitivo,

que con las mayores tangentes posibles deberá pegarse lo mas que se pueda a la línea a pelo de tierra, compensando a la izquierda o derecha de dicha línea

1.2 Tangentes .

Las tangentes son la proyección sobre un plano horizontal de las rectas que unen las curvas.

La longitud máxima de una tangente esta condicionada por la seguridad .

Las tangentes excesivamente largas, son causa de accidentes, por la somnolencia que produce al conductor mantener concentrada su atención en puntos fijos del camino, durante mucho tiempo, o bien porque favorecen los deslumbramientos durante la noche, por tal razón conviene limitar la longitud de las tangentes.

Longitud mínima de tangente entre dos curvas consecutivas, está definida por la longitud necesaria para proporcionar la sobreelevación y ampliación necesaria a esas curvas.

1:3 Distancia de Visibilidad.

El camino deberá poseer en todos sus puntos, las condiciones de

visibilidad precisa para que el conductor pueda tomar a tiempo las decisiones necesarias.

Se consideran dos distancias de visibilidad; la distancia de visibilidad de parada y la distancia de visibilidad de rebase.

- 1.3.1 Distancia de visibilidad de parada.- Es la distancia de visibilidad mínima necesaria para que un conductor que transita a o cerca de la velocidad de proyecto, vea un objetivo en su trayectoria y pueda parar su vehículo antes de llegar a él .

La siguiente fórmula propuesta por S.C.T. nos determina la distancia de visibilidad de parada:

$$D_p = 0.278 Vt + \frac{V^2}{254 (f + p)}$$

Donde :

D_p = Distancia de visibilidad de parada en metros.

V = Velocidad de proyecto en Kilómetros / hora.

f = Coeficiente de fricción longitud, que varia de 0.40 para una velocidad de 30 Km/ h , hasta 0.29 para una velocidad de 110 km/h, estos coeficientes pertenecen a pavimentos mojados y a nivel .

t = Tiempo de reacción, después de numerosos experimentos se ha establecido un tiempo de reacción de 2.5seg.

p = Pendiente de la carretera.

La Instrucción Española propone para la distancia de visibilidad de parada:

$$D_p = 0.00492 \frac{v^2}{f} + \frac{1}{3.6} Vt$$

Si el camino en vez de ser horizontal, tiene la pendiente p, la fórmula a aplicar será:

$$D_p = 0.00492 \frac{v^2}{f \pm p}$$

Donde el significado de cada término ya ha sido descrito .

La AASHO establece la siguiente fórmula parecida a la de S.C.T.

$$D_p = 0.28 vt + \frac{v^2}{251.8 f}$$

- 1.3.2 Distancia de visibilidad de rebase.- Es la distancia de visibilidad en un tramo de carretera, suficiente para que el conductor de un vehículo pueda adelantar a otro que circula por el mismo carril, sin peligro de interferir con

un tercer vehículo que venga en sentido contrario y se haga visible al iniciarse la maniobra.

La distancia de visibilidad de rebase se aplica a carreteras de dos carriles.

La S.C.T. recomienda 500 metros como límite para la distancia de visibilidad de rebase a velocidad de proyecto de 110 km/ hr para velocidades menores de 110 km/ hr, las distancias de visibilidad de rebase se reducirán proporcionalmente.

$$D_R = \frac{500}{110} V = 4.545 V$$

Donde:

D_R = Distancia de visibilidad de rebase en metros.

V = Velocidad de proyecto en km/ hr.

La Instrucción Española propone:

$$D_R = 30 + V + (V - 8) \sqrt{\frac{0.7 V}{j}}$$

Donde:

j = Parámetro que depende de la velocidad

$$j = 2.75 \text{ km / h / s} \text{ --- } v = 65 \text{ km/ hr.}$$

$$j = 2.30 \text{ km/ h / s} \text{ --- } v = 80 \text{ km/ hr.}$$

$$j = 2.35 \text{ km / h / s} \text{ --- } v = 100 \text{ km/ hr.}$$

La AASHO recomienda las siguientes distancias de visibilidad de rebase:

Velocidad de proyecto km/hr.	2 Vías Dist.de rebase	3 Vías Dist.de rebase
48	183	-
64	320	-
80	487	316
96	701	458
112	975	610

1.3.3 Distancia de visibilidad de encuentro.-- Es la distancia de seguridad mínima necesaria para que los conductores de dos vehículos que circulan por el mismo carril y en sentido contrario, puedan detener sus vehículos antes de encontrarse; se aplica al proyecto de caminos de tipo E y es el doble de la distancia de visibilidad de parada.

1.4 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.

1.4.1 Curvas circulares simples. - Cuando dos tangentes están unidas entre sí por una sola curva circular, se le denomina curva circular simple, según el cadenamamiento las curvas simples pueden ser hacia la derecha ó hacia la izquierda.

Elementos característicos de una curva circular simple.

Ver figura 1.2 Elementos de la curva circular simple

Donde;

P.I. = Punto de intersección de la prolongación de las tangentes.

P.C. = Punto donde comienza la curva circular simple.

P.T. = Punto donde termina la curva circular simple.

P.S.T. = Punto sobre tangente.

P.S.S.T. = Punto sobre Subtangente.

P.S.C. = Punto sobre curva circular.

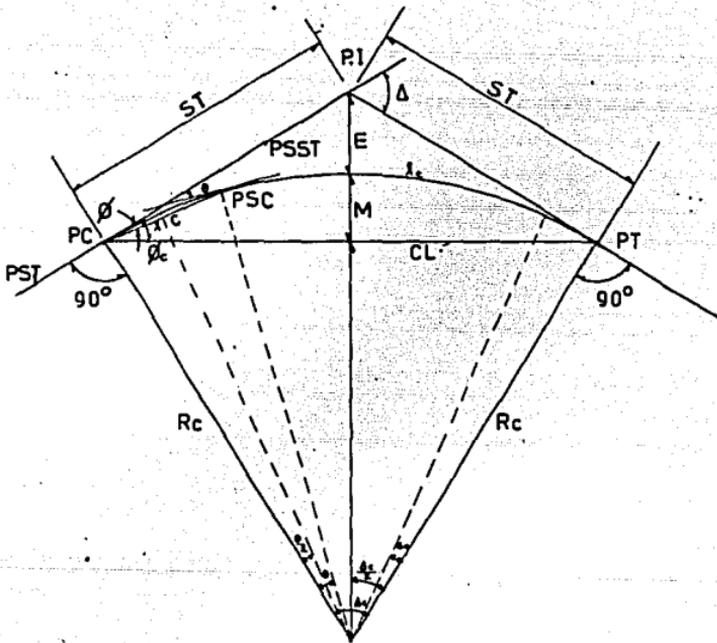


FIG. 1.2 CURVA CIRCULAR SIMPLE.

O	= Centro de la curva circular.
Δ	= Angulo de deflexión de las tangentes.
Δ_c	= Angulo central de la curva circular.
θ	= Angulo de deflexión a un PSC.
\emptyset	= Angulo de una cuerda cualquiera.
\emptyset_c	= Angulo de la cuerda larga.
G c	= Grado de curvatura.
R c	= Radio de la curva circular.
S.T.	= Subtangente.
E	= Externa.
M	= Ordenada media.
C	= Cuerda.
CL	= Cuerda larga.
λ	= Longitud de un arco
λ_c	= Longitud de la curva circular.

Cálculo de los elementos principales de la curva circular simple.

- 1) Grado de curvatura.- Es el ángulo subtendido por un arco de 20 m, se representa por Gc.

$$G c = \frac{1145.92}{R_c}$$

El grado máximo de curvatura que puede tener una curva, es el

que permite al vehículo recorrer con seguridad la curva, con la sobreelevación máxima a la velocidad de proyecto.

La S.C.T. propone:

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

Donde:

G_{\max} = Grado de curvatura máximo

μ = Coeficiente de fricción lateral (ver grafica 1.3).

S_{\max} = Sobreelevación máxima en valor absoluto.

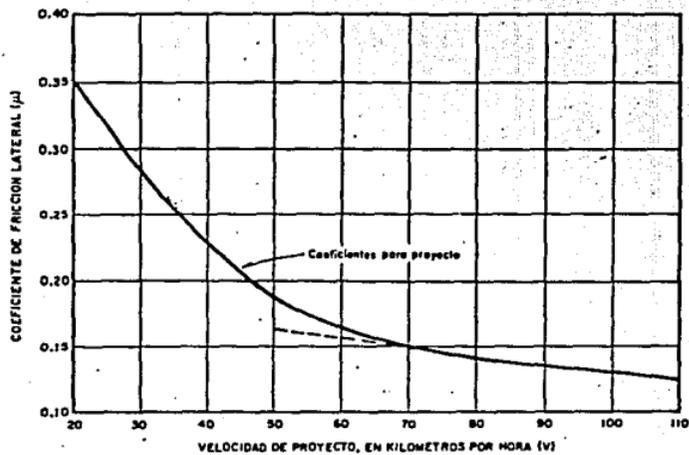
V = Velocidad de proyecto en Km/hr.

2) Radio de la curva.

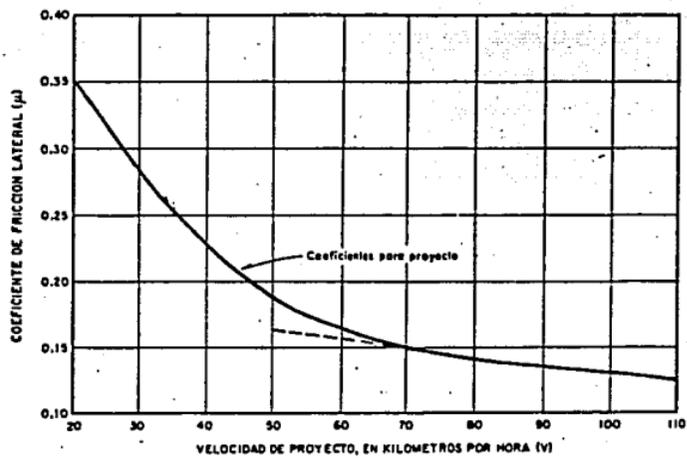
$$R_c = \frac{1145 \cdot 92}{G_c} \quad \text{ó} \quad R_c = \frac{10}{\text{Sen} \frac{G}{2}}$$

Como puede observarse el radio de la curva, está limitado por el grado de curvatura máximo.

Según la Instrucción Española, el radio necesario por condiciones de seguridad está dado por :



GRAFICA 1.3 COEFICIENTES DE FRICCIÓN LATERAL PARA PROYECTO A DIFERENTES VELOCIDADES



GRÁFICA 1.3 COEFICIENTES DE FRICCIÓN LATERAL PARA PROYECTO A DIFERENTES VELOCIDADES

$$R_c = \frac{v^2}{127 (Tg S_{max} + \mu)}$$

Donde:

R_c = Radio de la curva en metros.

v = Velocidad de proyecto en km/ hr.

S_{max} = Sobreelevación

μ = Coeficiente de fricción lateral.

La misma fórmula propone la AASHO para limitar el radio de las curvas.

- 3) Angulo central.- Es el ángulo subtendido por la curva circular (Δc). En curvas simples, es igual a la deflexión de las tangentes.
- 4) Longitud de la curva.- Es la longitud del arco entre el P.C. Y EL P.T.

$$l_c = \frac{\pi \Delta c}{180^\circ} \quad R_c \quad . \quad l_c = 20 \frac{\Delta c}{G_c}$$

- 5) Subtangente.- Es la distancia entre el P.I. y el P.C. ó

P.T. medida sobre la prolongación de las tangentes.

$$ST = R c \operatorname{Tán} \frac{\Delta c}{2}$$

6) Externa.- Es la distancia mínima entre el P.I. y la curva

$$E = R c \left(\sec \frac{\Delta c}{2} - 1 \right)$$

7) Ordenada media.- Es la longitud de la flecha en el punto medio de la curva.

$$M = R c \left(1 - \cos \frac{\Delta c}{2} \right)$$

8) Deflexión a un punto.- Es el ángulo entre la prolongación de la tangente en P.C. y la tangente en el punto considerado.

$$\theta = \frac{G c l}{20}$$

9) Cuerda.- Es la recta comprendida entre dos puntos de la curva. Si estos puntos son P.C. y P.T. se le denomina cuerda larga.

$$C = 2 R_c \frac{\theta}{2} \quad ; \quad Cl = 2 R_c \text{ Sen } \frac{\Delta c}{2}$$

10) Angulo de cuerda.- Es el ángulo entre la prolongación de la tangente y la cuerda considerada.

$$\theta = \frac{G c \ell}{40} \quad ; \quad \theta c = \frac{G c L_c}{40}$$

Para fines de trazo se considera que la cuerda C tiene la misma longitud del arco ℓ . Para minimizar este error se toman cuerdas de 20m, con curvas con $G \leq 8^\circ$; de 10 m, con curvas con $8^\circ < G \leq 22^\circ$ y de 5 m, para curvas de $22^\circ < G \leq 62^\circ$.

1.4.2 Curvas circulares compuestas.- Son aquellas que están formadas por dos o mas curvas circulares simples del mismo sentido y diferente radio o de diferente sentido cualquier radio, pero siempre con un punto de tangencia común entre dos consecutivas.

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

En caminos deben evitarse este tipo de curvas, porque involucran cambios de curvatura peligrosos sin embargo , pueden emplearse en intersecciones.

Elementos de la curva circular compuesta.

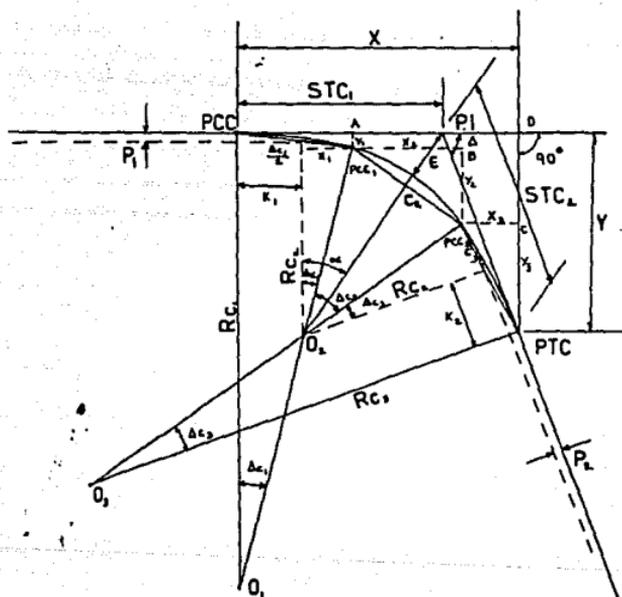


FIG. 1.4 CURVA CIRCULAR COMPUESTA

- P.I. = Punto de intersección de las tangentes.
- P.C.C. = Punto donde se inicia la curva circular compuesta.
- P.T.C. = Punto en donde termina una curva circular compuesta.
- P.C.C.₁ y P.C.C.₂ = Punto en donde termina una curva circular simple y empieza otra.
- O1, O2, O3 = Centro de las curvas circulares simples que integran la curva circular compuesta.
- Δ = Angulo de deflexión entre las tangentes.
- Rc₁, Rc₂, Rc₃ = Radios de cada una de las curvas simples.
- STC1, STC2 = Subtangentes de la curva circular compuesta.
- P1, P2, K1, K2 = Desplazamiento de la curva central para curva compuesta de tres centros.

Cálculo de los elementos de la curva circular compuesta.

Para su cálculo se utilizan los elementos de las curvas circulares simples que la integran y los resultados obtenidos pueden extrapolarse para curvas de más de tres centros.

$$C1 = 2 Rc_1 \cdot \text{Sen} \frac{\Delta c1}{2}$$

$$C2 = 2 Rc_2 \cdot \text{Sen} \frac{\Delta c2}{2}$$

$$C_3 = 2 R c_3 \operatorname{Sen} \frac{\Delta c_3}{2}$$

De la figura: $X_1 = R c_1 \operatorname{Sen} \Delta c_1$

$$Y_1 = R c_1 (1 - \operatorname{Cos} \Delta c_1)$$

$$X_2 = C_2 \operatorname{Cos}(\Delta c_1 + \frac{\Delta c_2}{2}) = 2 R c_2 \operatorname{Sen} \frac{\Delta c_2}{2} \operatorname{Cos}(\Delta c_1 + \frac{\Delta c_2}{2})$$

$$Y_2 = C_2 \operatorname{Sen}(\Delta c_1 + \frac{\Delta c_2}{2}) = 2 R c_2 \operatorname{Sen} \frac{\Delta c_2}{2} \operatorname{Sen}(\Delta c_1 + \frac{\Delta c_2}{2})$$

$$X_3 = C_3 \operatorname{Cos}(\Delta c_1 + \Delta c_2 + \frac{\Delta c_3}{2}) = 2 R c_3 \operatorname{Sen} \frac{\Delta c_3}{2} \operatorname{Cos}(\Delta c_1 + \Delta c_2 + \frac{\Delta c_3}{2})$$

$$Y_3 = C_3 \operatorname{Sen}(\Delta c_1 + \Delta c_2 + \frac{\Delta c_3}{2}) = 2 R c_3 \operatorname{Sen} \frac{\Delta c_3}{2} \operatorname{Sen}(\Delta c_1 + \Delta c_2 + \frac{\Delta c_3}{2})$$

$$X = X_1 + X_2 + X_3 + \dots \quad \Delta = \Delta c_1 + \Delta c_2 + \Delta c_3 + \dots$$

$$Y = Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots$$

Y las subtangentes de la curva circular compuesta serán :

$$STC_1 = X - STC_2 \operatorname{Cos} \Delta$$

$$STC_2 = Y \operatorname{csc} \Delta$$

En donde:

$$X = (1 + \text{Cos } \Delta c_1)ST_1 + \left[\text{Cos } \Delta c_1 + \text{Cos } (\Delta c_1 + \Delta c_2) \right] ST_2 \\ + \left[\text{Cos } (\Delta c_1 + \Delta c_2) + \text{Cos } (\Delta c_1 + \Delta c_2 + \Delta c_3) \right] ST_3$$

$$Y = (\text{Sen } \Delta c_1)ST_1 + \left[\text{Sen } \Delta c_1 + \text{Sen } (\Delta c_1 + \Delta c_2) \right] ST_2 \\ + \left[\text{Sen } (\Delta c_1 + \Delta c_2) + \text{Sen } (\Delta c_1 + \Delta c_2 + \Delta c_3) \right] ST_3$$

Con las expresiones anteriores pueden calcularse y trazarse curvas circulares compuestas de cualquier número de centros.

Los desplazamientos correspondientes se calculan como:

$$P_1 = (Rc1 - Rc2) (1 - \text{Cos } \Delta c_1) \\ K_1 = (Rc1 - Rc2) \text{Sen } \Delta c_1 \\ P_2 = (Rc3 - Rc2) (1 - \text{Cos } \Delta c_3) \\ K_2 = (Rc3 - Rc2) \text{Sen } \Delta c_3$$

La externa se calcula con la siguiente fórmula:

$$E = (Rc_2 + P_1) \text{Sec } \alpha - Rc_2$$

Donde:

$$\alpha = \text{ang. tan.} \quad \frac{STC_1 - K_1}{Rc_2 + P_1}$$

1.5 CURVAS DE TRANSICION.

Cuando un vehículo pasa de un tramo en tangente a otro en curva circular, requiere hacerlo en una forma gradual, por lo tanto para lograr este cambio gradual se usan las curvas de transición.

Además de enlazar una tangente con una curva circular, teniendo como característica que en su longitud el cambio en el valor del radio de curvatura desde infinito para la tangente hasta el que corresponde a la curva circular, se realiza gradualmente, sirven para desarrollar en ellas la sobre elevación y ampliación necesaria para la curva.

Con lo expuesto anteriormente la curva de transición debe proyectarse para que la variación de la curvatura y por lo tanto de la aceleración centrífuga sean constantes a lo largo de ella.

por lo tanto la aceleración centrífuga valdrá $v^2 \cdot l / Rc \cdot l e$,

por otro lado la curvatura en el punto considerado es $1/R$ y la aceleración centrífuga en ese mismo punto valdrá v^2 / R ; por

lo cual :

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

Simplificando $R l = R_c l e$

Donde: $R_c l e = k^2$; puesto que R_c y $l e$ son constantes.

$$R \cdot l = k^2$$

La expresión anterior es la ecuación de la curva conocida como clotoide o espiral de euler, existen otras curvas que pueden servir como espiral de transición como la parábola cúbica, o la lemniscata de Bernoulli.

Ecuación de la Clotoide.

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 cte de proporcionalidad.

$$R = \frac{k^2}{l} ; \text{ como } R d\theta = d l ; d\theta = \frac{d l}{R}$$

Substituyendo el valor de R e integrando:

$$\theta = \frac{l^2}{2 R_c l e}$$

θ ésta en radianes si lo expresamos en grados tenemos

$$\theta = \frac{57.3 l^2}{40 l e}$$

Por otra parte:

$$dx = d l \cos \theta$$

$$dy = d l \sin \theta$$

Desarrollando en serie $\sin \theta$ y $\cos \theta$ y teniendo en cuenta que

$$\theta = \frac{l^2}{2k^2} = \frac{l^2}{c} \quad \text{tenemos:}$$

$$\begin{aligned} x &= \int_0^l \left(1 - \frac{l^4}{c^2 2!} + \frac{l^8}{c^4 4!} - \frac{l^{12}}{c^6 6!} + \dots \right) dl \\ &= l \left(1 - \frac{l^4}{5c^2 2!} + \frac{l^8}{9c^4 4!} - \frac{l^{12}}{13c^6 6!} + \dots \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y &= \int_0^l \left(\frac{l^2}{c} - \frac{l^6}{c^3 3!} + \frac{l^{10}}{c^5 5!} - \frac{l^{14}}{c^7 7!} + \dots \right) dl \\ &= l \left(\frac{l^2}{3c} - \frac{l^6}{7c^3 3!} + \frac{l^{10}}{11c^5 5!} - \frac{l^{14}}{15c^7 7!} + \dots \right) \end{aligned}$$

Expresando el resultado en función de θ , en grados queda:...

$$X = \frac{l}{100} \left[100 - 0.304617 \theta^2 (10)^{-2} + 0.429591 \cdot \theta^4 (10)^{-7} - 0.301987 \theta^6 (10)^{-12} \right]$$

$$Y = \frac{l}{100} \left[0.581776 \theta + 0.126585 \theta^3 (10)^{-4} + 0.122691 \theta^5 (10)^{-9} - 0.652559 \theta^7 (10)^{-15} \right]$$

De la fig. puede deducirse.

$$C = \sqrt{x^2 + y^2} = Y \operatorname{CSC} \phi' = X \operatorname{sec} \phi'$$

$$T_1 = x - y \operatorname{cot} \theta$$

$$T_2 = y \operatorname{CSC} \theta$$

$$\phi' = \operatorname{ang.} \tan \frac{y}{x}$$

En la práctica se ha llegado a;

$$\phi' = \frac{\theta}{3} - z$$

$$z = 3.1 \times 10^{-3} \theta^3 + 2.3 \times 10^{-8} \theta^5$$

θ ésta expresando en grados y para $\theta < 16^\circ$, el valor de z puede despreciarse.

- 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 la curvatura de la espiral en el punto P
- X,Y = Coordenadas del punto P
- T1 = Tangente larga al punto P
- T2 = Tangente corta al punto P

1.5.1 Curva circular simple con espiral de transición .

Las curvas circulares con espiral 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.

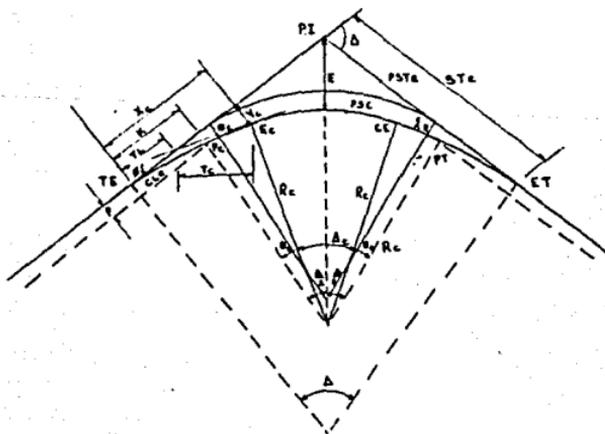


FIG.16 CURVA CIRCULAR CON ESPIRALES

Elementos de la curva circular con espirales.

PI = Punto de intersección de las tangentes.

TE = Punto donde termina la tangente y empieza la espiral

EC = Punto donde termina la espiral y comienza 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 sobre la curva circular

PSTe = Punto sobre la subtangente .

Δ = Angulo de deflexión de las tangentes.

θ_e = Deflexión de la espiral.

θ'_c = Angulo de la cuerda larga de la espiral.

STe = Subtangente.

Xc, Yc = Coordenadas del Ec o del CE

K, P = Coordenadas del PC o del PT (desplazamiento)

TL = Tangente larga

TC = Tangente corta.

CLe = Cuerda larga de la espiral.

E = Externa

Rc = Radio de la curva circular.

λ_e = Longitud de la espiral de entrada o salida .

λ_c = Longitud de la curva circular.

Cálculo de los elementos de una curva simétrica .

1) Grado de curvatura de la curva circular.

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

R_c = radio de la curva circular.

2) Longitud de la espiral.- Es la longitud medida sobre la curva entre el TE y el EC o el CE y el ET.

Su valor mínimo se determina como sigue:

Fórmula propuesta por Smirnoff.

$$l_e = \frac{0.0214}{C} V \left(\frac{V^2}{R_c} - 127 S \right)$$

Donde:

l_e = Longitud mínima de la espiral en metros.

V = Velocidad de proyecto en km/hr.

R_c = Radio de la curva en metros,

S = Sobreelevación de la curva circular en valor absoluto.

C = Coeficiente de comodidad, varía entre 0.305 y 0.610 m/s^3

La AASHO recomienda otra manera de calcular la longitud mínima de la espiral, consiste en igualar la longitud de la espiral a la longitud necesaria para dar la sobreelevación correspondiente a la curva circular.

$$l_e = \frac{as}{p} \text{ m a s}$$

Donde:

$$p = 1/m; \quad m = 1.5625 \quad V + 75$$

V = Velocidad de proyecto (Km/hr)

P = Pendiente longitudinal de la orilla de la calzada con respecto al eje del camino en valor absoluto.

a = Semiancho de la calzada en tangente para caminos de dos carriles

S = Sobreelevación de la curva circular en valor absoluto.

El AASHO establece empíricamente que para caminos de más de dos carriles, la longitud obtenida con la fórmula para dos carriles, se multiplique por 1.2 si es de tres carriles y por 2.0 si es de seis carriles sin dividir.

La S.C.T. propone la siguiente fórmula:

$$l_e = 2.22 \text{ Vas.}$$

Se recomienda para una velocidad de proyecto de 112 Km/hr. y un semiancho de calzada de 3.65 m.

Para cualquier semiancho de calzada aplíquese:

$$l_e = 8 \text{ V S}$$

Donde:

l_e = Longitud mínima de la espiral en metros.

V = Velocidad de proyecto en km/hr.

S = Sobreelevación en valor absoluto.

Por razones prácticas la longitud mínima absoluta de transición será: $l_e = 0.56 V$, ésta se refiere a caminos de dos carriles.

Comparación de los diferentes métodos para caminos de dos carriles y sobre elevación del 10% .

VELOCIDAD DE PROYECTO km/hr	SMIRNOFF $l_e = 0.035 V$ $\frac{(V^2 + 1275)}{R}$	A A S H O $l_e = mas$ $m = 1.5625 V + 75$				S.C.T. $l_e = 8VS$
		a=2.75	a=3.05	a=3.35	a=3.65	
30	37	34	37	41	44	24
40	46	38	42	46	50	32
50	56	42	47	51	56	40
60	65	46	51	57	62	48
70	74	51	56	62	67	56
80	82	55	61	67	73	64
90	90	59	66	72	79	72
100	97	64	71	77	84	80
110	104	68	75	83	90	88

3) Parámetro de la espiral.- Es la magnitud que define las

dimensiones : $k = \sqrt{Rc \lambda e}$

4) Deflexión de la curva .- Es el ángulo comprendido entre las tangentes (Δ)

5) Deflexión a un punto de la espiral.

$$\theta = \left(\frac{\lambda}{\lambda e} \right)^2 \theta e$$

6) Deflexión de la espiral.

$$\theta e = \frac{\lambda e}{2 Rc}$$

Si θe se expresa en grados y tomando en cuenta que

$$Rc = \frac{1145.92}{Gc}$$

$$\theta e = \frac{Gc \lambda e}{40}$$

7) Longitud total de la curva.

$$L = 2 \lambda e + \lambda c$$

$$L = 2 \left(\frac{40 \theta e}{Gc} \right) + \frac{20 \Delta c}{Gc} = 2 \lambda e + \frac{20 \Delta}{G}$$

8) Coordenadas de Ec de la curva.

$$X_c = \lambda e \left(1 - \frac{\theta e^2}{10} \right)$$

$$Y_c = \lambda e \left(\frac{\theta e}{3} + \frac{\theta e^3}{42} \right)$$

Donde:

θe está expresado en radianes.

9) Coordenadas de P.C. de la curva circular

$$P = Y_c - R_c \operatorname{Sen} \theta e$$

$$K = X_c - R_c \operatorname{Sen} \theta e$$

10) Subtangente.

$$STe = K + (R_c + p) \tan \frac{\Delta}{2}$$

11) Externa.- $E = (R_c + p) \operatorname{Sec} \frac{\Delta}{2} - R_c$

12) Cuerda larga.- $Cl_e = \sqrt{X_c^2 + Y_c^2}$

13) Angulo de la cuerda larga.- $\phi'_c = \frac{\theta e}{3} - z$

$$z = 3.1 \times 10^{-3} \theta e^3 + 2.3 \times 10^{-8} \theta e^5$$

14) Tangente Larga y Tangente Corta.-

$$TL = Xc - Yc \cot \theta e$$

$$TC = Yc \csc \theta e$$

Existe que para determinado valor de la velocidad grado de curvatura y deflexión, la suma algebraica de las deflexiones de la espiral sobrepasa a la deflexión entre las tangentes, traslapándose las espirales, entonces habrá un valor de deflexión abajo del cual no podrán insertarse espirales de transición.

La condición necesaria para que las espirales no se traslapen es: $\Delta c \geq 0$

$$\text{o sea : } \Delta \geq 2 \theta e = \frac{G \cdot l e}{20}$$

para el caso que $l e = 8VS$ y como $S = \frac{S \max}{G \max} G$

$$\Delta \geq \frac{8VSG}{20} = \frac{8VS \max G^2}{20 G \max} \quad \text{si } K = \frac{8VS \max}{20 G \max}$$

$$K G^2 \leq \Delta$$

1.5.2 Transición mixta.- Es la técnica utilizada para efectuar el cambio gradual de la sección en tangente a la sección en curva circular o viceversa, o sea que realiza las veces de una espiral de transición .

La transición mixta se utiliza en todas la carreteras clasificadas como de tipo D y E y en las curvas con sobreelevación menor de 7% y clasificados como tipo A,B, y C.

Su longitud se alojará en un 50% en la curva circular simple y el otro 50% en la tangente.

Longitud mínima de la transición mixta.

En las carreteras tipo A,B, y C, será igual a:

$$L_t = 0.56 V$$

Y en las carreteras tipo D y E, será igual a la mayor longitud resultante de:

$$L_t = 0.32 V \quad \text{ó} \quad L_t = 8 VS$$

L_t = Longitud de transición mixta en metros.

V = Velocidad de proyecto en km/hr.

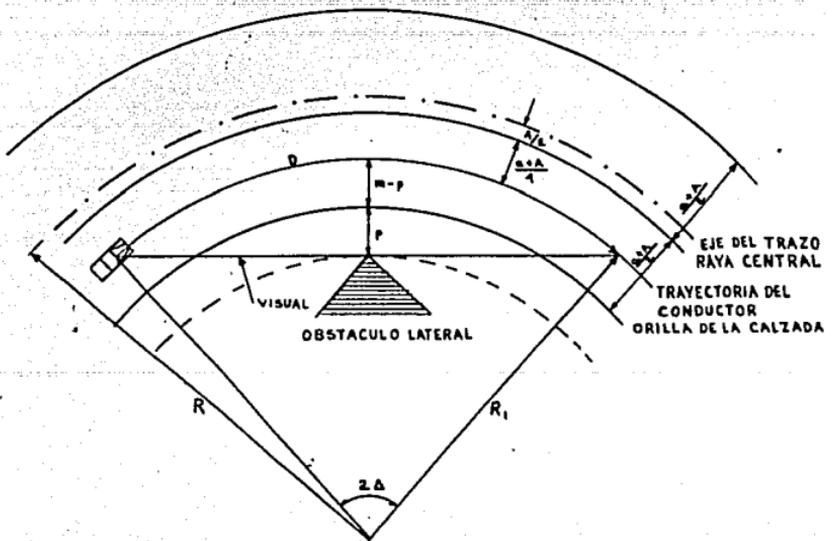
S = Sobreelevación de la curva circular.

1.6 Distancia de visibilidad en curvas horizontales.

En las curvas horizontales que queden alojadas en corte o tengan obstáculos laterales en su parte interior que limiten la visibilidad debe tenerse presente que cuando menos se tenga la distancia de

visibilidad de parada, si las curvas no cumplen este requisito, deben tomarse las providencias necesarias para satisfacerlas.

Distancia a obstáculos laterales.



Donde:

a = Ancho de la calzada en tangente (metros)

A = Ampliación de la calzada en curva (metros)

R_1 = Radio de la trayectoria del conductor (metros)

m = Distancia del obstáculo al eje de la trayectoria del conductor
(metros).

P = Distancia del obstáculo a la orilla de la calzada (metros)

D = Distancia de visibilidad de parado o rebase (metros)

$$m = R_1 - R_1 \cos \Delta \quad ; \quad 2 \Delta = \frac{D}{R_1} \quad \therefore \quad \Delta = \frac{D}{2R_1}$$

$$m = R_1 - R_1 \left(1 - \frac{D^2}{8R_1^2} + \dots \right) \approx \frac{D^2}{8R_1}$$

$$P = \frac{D^2}{8R_1} - \frac{a + A}{4} \quad \text{En donde} \quad R_1 = R - \frac{a + 3A}{4}$$

La visibilidad horizontal se mide en el plano con una regla transparente.

CAPITULO - 2

PROYECTO VERTICAL

2.1 Alineamiento vertical.

Es la proyección sobre un plano vertical del desarrollo del eje de la subcorona del camino; a este eje en el alineamiento vertical se le llama línea subrasante.

Los elementos que integran el alineamiento vertical son las tangentes y las curvas verticales.

2.2 Tangentes.

Las tangentes se caracterizan por su longitud y su pendiente; la longitud de una tangente es la distancia horizontal entre el fin de la curva anterior y el principio de la siguiente. La pendiente de la tangente, es la relación entre el desnivel y la distancia entre dos puntos de la misma.

2.2.1 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, sirve de norma reguladora a la

serie de pendientes que se deben proyectar para ajustarse lo más posible al terreno.

2.2.2 Pendiente máxima.- Es la mayor pendiente que se permite en el proyecto, queda determinada por el volumen y la composición del tránsito previsto así como de la configuración del terreno.

La AASHO recomienda las siguientes pendientes máximas para caminos principales, para caminos secundarios con volúmenes de tránsito escaso, pueden incrementarse los valores dados por la tabla en un 2%.

TIPO DE TERRENO	PORCIENTO EN PENDIENTE MAXIMA PARA DIVERSAS VELOCIDADES DE PROYECTO EN KM/ HR.						
	50	60	70	80	90	100	110
PLANO	6	5	4	4	3	3	3
LOMERIO	7	6	5	5	4	4	4
MONTAÑOSO	9	8	7	7	6	5	5

La Instrucción Española recomienda las siguientes pendientes máximas.

TERRENO	250	I. M. D.		
		250-500	500-2000	2000
PENDIENTE EN %				
LIANO	5	4	3	2
ONDULADO	6	5	4	4
ACCIDENTAL	7	6	5	5
MUY ACCIDENTAL	8	7	6	5

2.2.3 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.

2.2.4 Longitud crítica de una tangente.- Es la longitud máxima que un camión cargado puede ascender sin reducir su velocidad más allá de un límite previamente establecido.

Los elementos fundamentales que intervienen para determinar la longitud crítica de una tangente son:

El vehículo de proyecto, la configuración del terreno.

el volumen y composición del tránsito.

El vehículo interviene con su relación peso/potencia que define las características de operación que determina la velocidad con que es capaz de recorrer una pendiente dada.

La configuración del terreno impone condiciones económicas que obligan a veces a utilizar pendientes fuertes que reducen la velocidad de los vehículos pesados, y hace que éstos interfieran en los otros vehículos.

El volumen y composición del tránsito son importantes para el estudio económico del tramo.

Existen dos criterios para determinar la longitud crítica de una tangente vertical.

- 1.- Cuando se trata con volúmenes de tránsito alto en cualquier tipo de terreno o bien con cualquier volumen de tránsito en terreno plano o lomerío suave. En este criterio se ha determinado que la longitud crítica de cualquier pendiente. es aquella, que ocasiona una reducción de 25 km/hr en la velocidad de marcha del vehículo de proyecto.

- 2.- Este segundo criterio desarrollado por la S.C.T., se basa en los tiempos de recorrido, el cual se aplica a caminos con bajos volúmenes de tránsito alojados en terrenos con lomerío fuerte o montañoso, en donde

por razones de configuración es necesario considerar una pendiente gobernadora.

Para este criterio se realiza un análisis considerando en el tramo en estudio varias pendientes para salvar el desnivel; se obtiene de cada una de ellas su longitud y su tiempo de recorrido, se realizan otros tanteos con otras pendientes o con la pendiente gobernadora, en cada caso se obtienen los tiempos de recorrido, comparandose los tiempos empleados para obtener el alineamiento vertical aceptable.

2.3 Curvas verticales.

Las curvas verticales, son las curvas que enlazan dos tangentes consecutivas del alineamiento vertical para que en su longitud se efectue el paso gradual de la pendiente, de la tangente de entrada a la tangente de salida.

Deben dar por resultado un camino de operación seguro y confortable además de agradable apariencia y drenaje adecuado.

Forma de la curva.- La condición óptima para la conducción de un vehículo, es aquella que corresponde a un movimiento cuya componente horizontal de la velocidad sea constante.

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

Y por lo tanto la aceleración :

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2 x}{dt^2} = 0$$

Si llamamos U a la velocidad del vehículo al entrar a la curva se tendrá para $t = 0$; $V_x = U_x$

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

Integrando $X = U_x t + C_2$

$$\text{para } t = 0 ; x = 0 \quad \text{y } C_2 = 0 \quad t = \frac{x}{U_x}$$

$$\text{Por otra parte: } a_y = \frac{dV_y}{dt} = -g$$

Despejando dV_y e Integrando $V_y = -gt + C_3$

Si $t = 0$; $V_y = U_y$ y $C_3 = U_y$ por lo que :

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

$$\text{Integrando: } Y = -\frac{gt^2}{2} + U_y t \quad \text{como } t = \frac{X}{U_x}$$

$$Y = -\frac{g x^2}{2U_x^2} - \frac{U_y X}{U_x}$$

$\frac{Uy}{Ux} = P$; pendiente de la tangente de entrada.

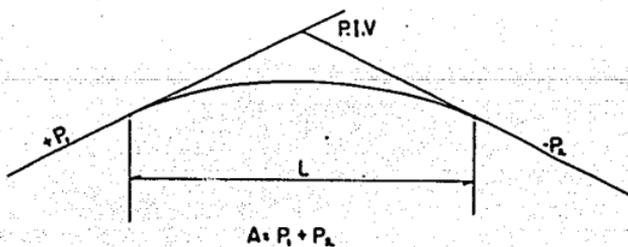
$$K = \frac{-g}{2Ux^2} ; K = cte$$

por lo que:

$$Y = Kx^2 + P \cdot x$$

Que corresponde a la ecuación de una parábola que es la mas recomendada para curvas verticales.

2.3.1. Curvas verticales en cresta. Son aquellas curvas que poseen su concavidad hacia abajo, y existen los siguientes tipos.



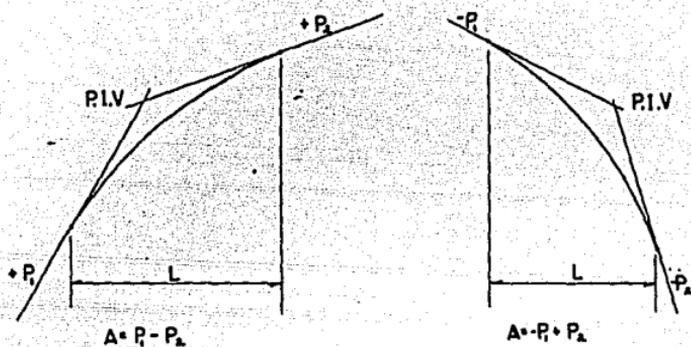


FIG. 2.1 CURVAS VERTICALES EN CRESTA

Donde:

P_1 = Pendiente de entrada.

P_2 = pendiente de salida.

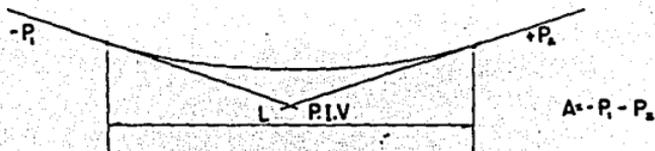
A = Diferencia de pendiente.

L = Longitud de la curva.

K = Variación de la longitud por unidad de pendiente

$$K = L / A$$

2.3.2 Curvas en columpio.- Son aquellas curvas que tienen su concavidad hacia arriba.



- PIV = Punto de intersección de las tangentes.
PCV = Punto donde comienza la curva vertical.
PTV = Punto donde termina la curva vertical
n = Punto cualquiera sobre la curva.
P1 = Pendiente de la tangente de entrada en por ciento.
P2 = Pendiente de la tangente de salida en por ciento.
P = Pendiente en un punto cualquiera en por ciento.
P' = Pendiente de una cuerda a un punto en por ciento.
A = Diferencia algebraica entre las pendientes de la tangente de entrada y salida en por ciento.
L = Longitud de la curva.
E = Externa
f = Flecha.
 λ = Longitud de curva a un punto cualquiera.
t = Desviación respecto a la tangente de un punto cualquiera.
K = Variación de la longitud por unidad de pendiente
 $K = L/A$.
Z = Elevación del PCV
Zn = Elevación de un punto cualquiera.

Cálculo de los elementos de la curva parabólica (vertical).

- 1.- Longitud de la curva.- Es la distancia medida entre el PCV y el PTV ; para su determinación se toman en cuenta cuatro criterios ; criterio de comodidad,

criterio de apariencia, criterio de drenaje y criterio de seguridad, posteriormente se detallarán estos aspectos . .

2.- Pendiente en un punto cualquiera de la curva .-

Para determinar esta pendiente, 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.

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

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

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

3.- Pendiente de la cuerda en un punto cualquiera.- Para determinar esta pendiente, se establece:

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

Y teniendo en cuenta $P = P_1 - \frac{A l}{L}$

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

4.- Desviación respecto a la tangente.- Es la diferencia de ordenadas entre la prolongación de la tangente y la curva, se representa por (t).

$$t = a l^2$$

pero en el PTV $t' = a L^2$

$$y : t' = \frac{P1L}{200} + \frac{P2L}{200} = \frac{L}{200} (p1 + P2) = \frac{AL}{200}$$

$$\frac{AL}{200} = a L^2 \quad \therefore \quad a = \frac{A}{200L}$$

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

5.- Externa.- Es el punto entre el PIV y la curva medida verticalmente, se le representa por (E).

$$E = \frac{A}{200L} \left(\frac{L}{2} \right)^2 \quad \therefore \quad E = \frac{AL}{800}$$

6.- Flecha.- Es la distancia vertical entre la curva PTV PCV multiplicada por 1/2

$$P' = P1 - \frac{A l}{2L}$$

Se tendrá :

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

De donde:

$$f = \frac{P_2 L}{200} - \frac{AL}{800} + \frac{P_1 L}{200} - \frac{AL}{400} = \frac{P_1 + P_2}{200} L - \frac{3 AL}{800}$$

$$= \left(\frac{1}{200} - \frac{3}{800} \right) AL$$

$$f = \frac{AL}{800} \quad \text{Se observa que } f = E$$

7.- Elevación de un punto cualquiera de la curva. (Z_n)

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

Substituyendo el valor de t y agrupando:

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

Expresando a l y L en estaciones de 20 m, y llamando n y N a las longitudes l y L en estaciones se tiene:

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

Con esta expresión se calcula las elevaciones de la curva vertical, no es autocomprobable, para lograr ésto, se realiza un artificio en la fórmula resultando la siguiente ecuación que permite realizar el cálculo autocomprobable:

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

2.4 Longitud mínima de una curva vertical.

La longitud mínima de una curva vertical, es aquella distancia medida horizontalmente entre el punto de comienzo de curva vertical (P.C.V.) y el punto de terminación de dicha curva (P.T.C.) que resulta de considerar ciertos criterios para obtener una curva comoda y con un alto grado de seguridad; respetando la distancia de visibilidad de parada.

Existen cuatro criterios principales para la determinación de la longitud mínima de las curvas y son: Criterio de comodidad, Criterio de apariencia, Criterio de drenaje y Criterio de seguridad.

2.4.1 Criterio de comodidad .- Se aplica al proyecto de curvas verticales en columpio, en donde la fuerza centrífuga que aparece en el vehículo al cambiar de dirección se suma al peso del propio vehículo.

Por experiencia se recomienda que la aceleración centrífuga

en la curva no exceda de 0.305 m/seg.^2 ó sea que:

$$c = \frac{v^2}{R} \leq 0.305 \text{ m/seg}^2$$

Donde: $R \geq 3.28 v^2$

Si se asimila la parábola a un círculo se tendrá .

$$L = R \Delta \quad \text{y} \quad \Delta = A$$

Por lo que: $L \geq 3.28 v^2 \Delta \quad \therefore L \geq 3.28 v^2 A$

Si expresamos v en (km/h) y A en por ciento

$$K = \frac{L}{A} \geq \frac{v^2}{395} \quad \text{Siendo } K \text{ el recíproco de la variación de la pendiente por unidad de longitud.}$$

$$L = \frac{AV^2}{395}$$

2.4.2 Criterio de apariencia.- Se aplica al proyecto de curvas verticales en columpio , o sea en aquellas curvas con visibilidad completa, para evitar al usuario la impresión de un cambio súbito de pendiente. Empíricamente la AASHO ha determinado.

$$L = 30 A$$

A = Diferencia algebraica de pendientes en por ciento

2.4.3 Criterio de drenaje.- Este se aplica al proyecto de curvas verticales en cresta o en columpio cuando están alojadas en corte.

Para permitir que el agua en cualquier punto dela curva pueda escurrir facilmente la AASHO ha determinado que para que ésto ocurra, se debe cumplir :

$$L \leq 43 A$$

2.4.4. Criterio de seguridad.- Se aplica a curvas en cresta o en columpio, la longitud de la curva en este criterio debe ser tal, que en toda la curva la distancia de visibilidad sea mayor o igual a la de parada. En algunos casos por el tipo de carretera o nivel de servicio, se obligue a diseñar curvas verticales con la distancia de visibilidad de rebase.

Para obtener las distancias de visibilidad de parada y de rebase, se parte de la propiedad de la parábola.

$$\frac{d^2y}{dx^2} = r = \text{cte} \quad \text{integrando} \quad \frac{dy}{dx} = rx + c \quad \text{--- (1)}$$

$$\text{Cuando: } x = 0 \quad \frac{dy}{dx} = P_1 \quad \text{y cuando } x = L \quad \frac{dy}{dx} = P_2$$

$$\text{Por lo que } P_1 = c \quad \text{y } P_2 = rL + c$$

$$r = \frac{P_2 - P_1}{L}$$

$$\frac{dy}{dx} = \left(\frac{P_2 - P_1}{L} \right) X + P_1$$

$$\text{Integrando: } Y = \frac{1}{2} \left(\frac{P_2 - P_1}{L} \right) X^2 + P_1 X + C_1 \text{ --- (2)}$$

Cuando $x = 0$, $y = 0$ y $C_1 = 0$

$$\frac{Y + y}{X} = P_1 \text{ substituyendo en 2 tenemos:}$$

$$Y = \frac{P_1 - P_2}{2L} X^2$$

Si $P_1 - P_2 = A$ de la fórmula general $Y = Kx^2$

$$K = \frac{A}{2L} = \frac{P_1 - P_2}{2L}$$

Donde:

L = Longitud de curva vertical.

P1= Pendiente de entrada a la curva.

P2= Pendiente de salida a la curva.

A = Diferencia algebraica de pendientes.

2.4.5. Longitud de curvas verticales en cresta.- Pueden presentarse dos casos: Primer caso, cuando el conductor y el objeto están en tangente vertical, fuera de la curva ($D > L$).

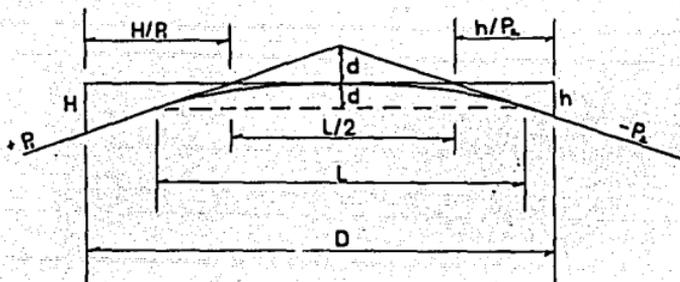


FIG. 2.3 LONGITUD DE CURVA VERTICAL EN CRESTA ($D > L$)

$$D = L/2 + H/P_1 + h/P_2$$

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

$$D = L/2 + H/P_1 + h/(A - P_1)$$

En el vértice de la curva la visual es horizontal por lo tanto:

$$\frac{dD}{dP1} = -\frac{H}{P1^2} + \frac{h}{(A - P1)^2} = 0$$

$$\frac{H}{P1^2} = \frac{h}{P2^2}$$

Despejando P1 y P2

$$P1 = P2 \sqrt{\frac{H}{h}} \quad \text{y} \quad P2 = P1 \sqrt{\frac{h}{H}}$$

$$A = P1 + P2 = P1 \left(\sqrt{\frac{h}{H}} + 1 \right) = P2 \left(\sqrt{\frac{H}{h}} + 1 \right)$$

$$P1 = \frac{A}{\sqrt{\frac{h}{H}} + 1}; \quad P2 = \frac{A}{\sqrt{\frac{H}{h}} + 1}$$

Substituyendo P1 y P2 y arreglando términos :

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

Despejando "L"

$$L = 2D - \frac{2(\sqrt{H} + \sqrt{h})^2}{A}$$

Para la distancia de visibilidad de parada, se substituye los siguientes valores.

$$D = D_p ; \quad H = 1.14 \text{ m} ; \quad h = 0.15 \text{ m}$$

considerando A en por ciento

$$L = 2D_p - 425 / A.$$

Para la distancia de visibilidad de rebase.

$$D = D_R ; \quad H = 1.14 \text{ m} ; \quad h = 1.37 \text{ m} ; \quad A \text{ en por ciento}$$

$$L = 2 D_R - \frac{1000}{A}$$

Segundo caso: Cuando el vehiculo y objeto se encuentran en la curva ($D < L$).

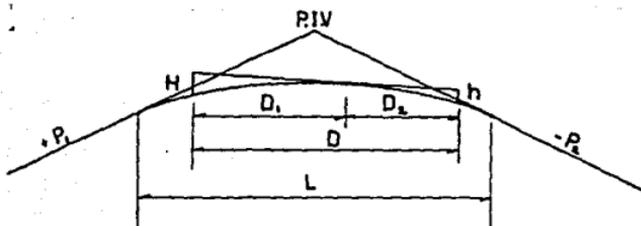


FIG. 2.4 LONGITUD DE CURVA VERTICAL EN CRESTA (D < L)

$$D^2 = \frac{2L}{A} (\sqrt{H} + \sqrt{h})^2 ; L = \frac{AD^2}{2(\sqrt{H} + \sqrt{h})^2}$$

Para la distancia de visibilidad de parada, se substituye:

$D = D_p$; $H = 1.14$ m ; $h = 0.15$ m ; "A" en por ciento

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

Para la distancia de visibilidad de rebase, se tiene :

$D = D_r$; $H = 1.14$ m ; $h = 1.37$ m, "A" por ciento.

$$L = \frac{A D_r^2}{1000}$$

La técnica francesa recomienda que la altura de los ojos del conductor desde el nivel del pavimento sea igual a 1.25 m, y la altura del objeto de $h = 10$ cm.

El AASHO, técnica Americana propone una altura de los ojos del conductor $H = 1.37$ m, y una altura de objeto de $h = 0.10$ m, además de las siguientes fórmula para el cálculo de las distancias de visibilidad de parada y rebase en curvas verticales en cima.

Para $H = 1.37$ m, ; $h = 0.10$ m

Distancia de parada:

$$\text{Cuando } S > L \quad S = \frac{7.28}{A} + \frac{L}{2}$$

$$\text{Cuando } S < L \quad S = 3.82 \sqrt{L/A}$$

A= diferencia algebraica de pendientes ; % + 100

Distancia de rebase

$$\text{Cuando } S > L \quad S = \frac{18}{A} + \frac{L}{2}$$

$$\text{Cuando } S < L \quad S = 6 \sqrt{L/A}$$

En este caso la altura del ojo y del objeto son iguales a 1.37 m.

El AASHO a recomendado que por experiencia ninguna curva vertical tenga una longitud menor de 305 Mts.

- 2.4.6 Longitud de curvas verticales en columpio .- El problema de la visibilidad en curvas verticales en columpio, no existe en el día , solamente es preciso que la curva tenga una longitud suficiente para asegurar la estabilidad de los vehículos que la cruzan.

De noche, la longitud de la curva debe ser tal, que los faros puedan alumbrar en todo momento como mínimo, una distancia igual a la visibilidad de parada.

Para analizar una curva vertical en columpio se presentan dos casos críticos.

Primer caso.- Cuando la distancia de visibilidad es mayor que la longitud de la curva; $D > L$

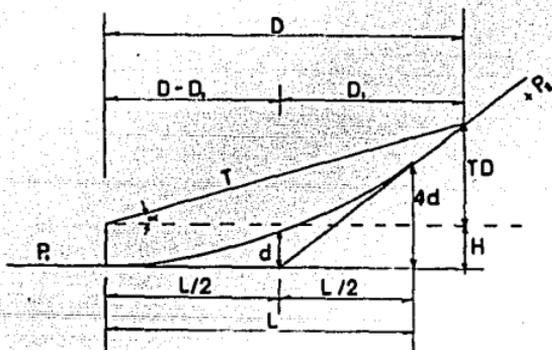


FIG. 2.5 LONGITUD DE CURVA VERTICAL EN COLUMPIO ($D > L$)

$D = D_1 + L/2$; Por triángulos semejantes.

$$\frac{D_1}{TD + H} = \frac{L/2}{4d} \quad \therefore \quad D_1 = \frac{(TD + H)L}{8d}$$

$$\text{Como } d = \frac{AL}{8} \quad \therefore \quad D_1 = \frac{TD + H}{A}$$

Substituyendo $D = \frac{TD + H}{A} + \frac{L}{2}$

$$L = 2D - 2 \frac{H + TD}{A}$$

Para considerar la distancia de visibilidad de parada se tiene que; $D = D_p$; $H = 0.61 \text{ m}$, $\approx 0.60 \text{ m}$

$T = \tan \alpha = \tan 1^\circ = 0.0175$; A en por ciento.

$$L = 2D_p - \frac{120 + 3.5 D_p}{A}$$

Para la distancia de visibilidad de rebase, no hay necesidad de calcular ninguna fórmula, porque se ven los faros del vehículo que viene en sentido contrario.

Segundo caso.- Cuando la distancia de visibilidad es menor que la longitud de la curva. ($D < L$).

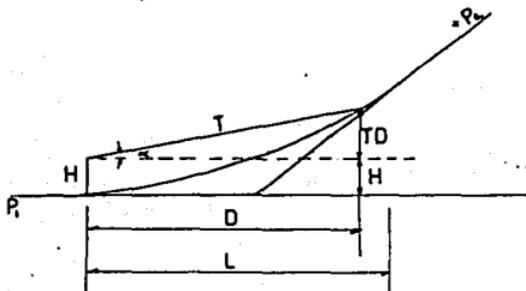


FIG. 2.6 LONGITUD DE CURVA VERTICAL EN COLUMPIO

$$K = \frac{y}{K^2} = \frac{TD + H}{D^2} \quad \text{como} \quad K = \frac{A}{2L}$$

$$\frac{A}{2L} = \frac{TD + H}{D^2}$$

$$L = \frac{AD^2}{2(TD + H)}$$

Para la distancia de visibilidad de parada:

$$D = D_p ; H = 0.61 \text{ m} \approx 0.60 \text{ m} \quad T = \tan \alpha = 1\% = 0.0175$$

A en por ciento:

$$L = \frac{A D_p^2}{120 + 3.5 D_p}$$

Para la distancia de visibilidad de rebase, la fórmula no se aplica como en el caso anterior.

Las curvas diseñadas para distancias de visibilidad de rebase, resultan de gran longitud y solo deberán proyectarse cuando no se afecte el costo del camino mas allá de lo permisible o donde lo amerite el nivel de servicio.

La AASHO establece un valor mínimo, para la longitud de curva dado por la expresión empírica :

$$L = 0.6 V$$

Donde:

L = Longitud mínima de la curva en metros.

V = Velocidad de proyecto en (km/ h)

Para proyectar el criterio a seguir, debe ser el de seguridad que satisfaga cuando menos la distancia de visibilidad de parada. El criterio de apariencia solo debe emplearse en caminos de tipo muy especial, por otra parte el drenaje debe siempre resolverse, sea con la longitud de curva o modificando las características hidráulicas de las cunetas.

El cálculo de las longitudes de las curvas, debe obtenerse empleando el caso correspondiente a $D < L$, que representa el caso mas crítico.

La longitud obtenida deberá redondearse al número de estaciones de veinte metros inmediato superior .

CAPITULO - III

PROYECTO DE CURVA MASA.

El proyecto de curva masa, consiste generalmente en la obtención del diagrama representativo de los cortes y terraplenes acumulados que hay que realizar para construir el camino . Dicho diagrama nos sirve para planificar adecuadamente la serie de cortes y acarreos correspondientes.

Para la obtención del diagrama de curva masa, se necesita contar con una serie de datos tales como la sección transversal adoptada, el perfil del eje del camino en el cual esta representada la subrasante económica.

3.1 Sección transversal del camino.

La sección transversal de un camino en un punto cualquiera del mismo, es la representación en un corte vertical normal al alineamiento horizontal; nos 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.

3.2 Elementos que integran una sección transversal.

Los elementos que integran y definen la sección transversal son:
La corona ,La subcorona , las cunetas y Contracunetas, Los taludes

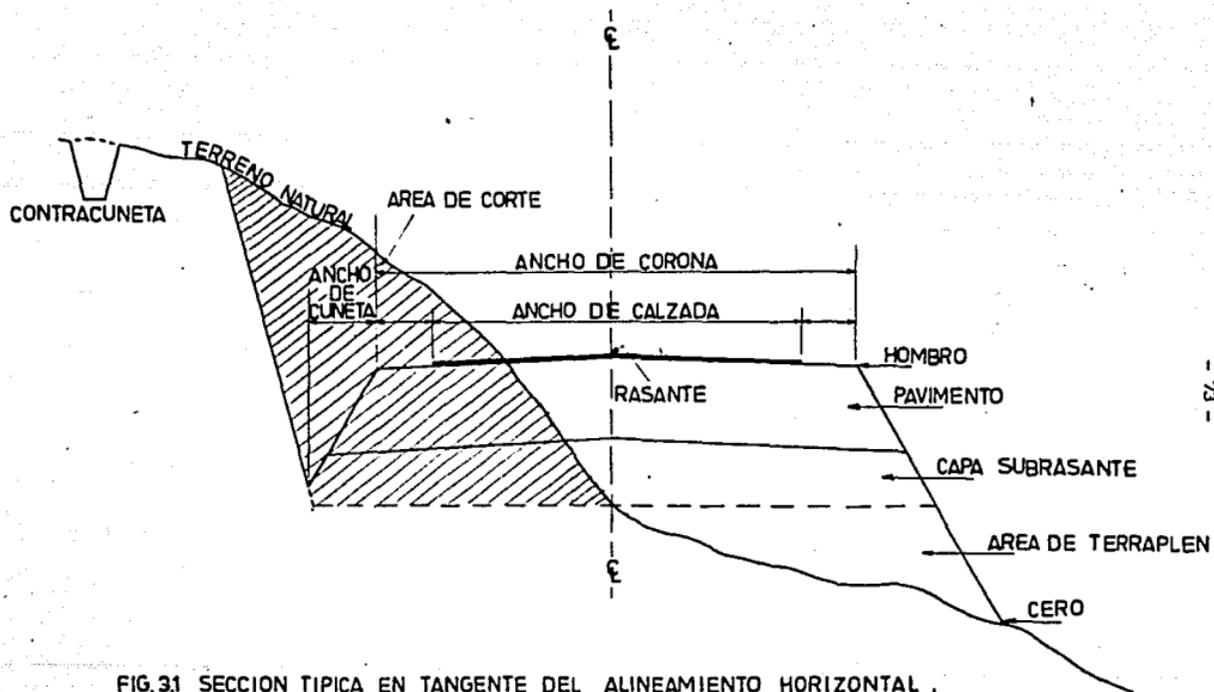


FIG.31 SECCION TIPICA EN TANGENTE DEL ALINEAMIENTO HORIZONTAL .

y las partes complementarias, ver sección típica.

Corona .- Es la superficie de terreno terminado, que queda comprendida entre los hombros del camino, o sean las aristas superiores de los taludes del terraplén y/o los interiores de las cunetas.

Los elementos que definen la corona son la rasante, la pendiente transversal, la calzada y los acotamientos.

a) **Rasante**.- Es la línea obtenida al proyectar sobre un plano vertical el desarrollo del eje de la corona del camino.

b) **Pendiente transversal** .- Es la pendiente que se da a la corona normal al eje, según su relación con los elementos del alineamiento horizontal se presentan tres casos:

b1) Bombeo .

b2) Sobreelevación.

b3) Transición del bombeo a la sobreelevación.

b1) **Bombeo** .- Es la pendiente que se da a la corona en las tangentes del alineamiento horizontal hacia uno y otro lado de la rasante para evitar acumulación de agua sobre el camino.

A continuación se dan los valores guía para emplearse en el proyecto en función del tipo de superficie de rodamiento.

TIPO DE SUPERFICIE DE RODAMIENTO		B O M B E O.
MUY BUENA	SUP. DE CONCRETO HIDRAULICO O ASFALTO TENDIDO CON EXTEN DEDORA MECANICA.	0.010 a 0.020
BUENA	SUP. DE MEZCLA ASFALTICA TENDIDA CON MOTOCONFORMADORA CARPETA DE RIEGOS	0.015 a 0.030
REGULAR A MALA.	SUP. DE TIERRA O GRAVA	0.020 a 0.040

b2) Sobreelevación.- Es la pendiente que se le da a la corona .
para contrarrestar la fuerza centrífuga en curvas del
alineamiento horizontal.

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

Donde:

S = Sobreelevación en valor absoluto.

V = Velocidad de proyecto en km/h.

R = Radio de la curva (m).

μ = Coeficiente de fricción lateral.

Algunos problemas de construcción , operación y mantenimiento del camino, mostraron la necesidad de fijar una sobre-elevación máxima, admitiéndose cuatro valores.

- 12% En aquellos lugares donde no existen heladas, ni nevadas y el porcentaje de vehículos pesados es mínimo.
- 10% En los lugares en donde sin haber nieve o hielo, se tiene un porcentaje alto de vehículos pesados.
- 8% En lugares donde las nevadas o heladas son frecuentes .
- 6% En zona urbanas.

Una vez fijada la sobreelevación máxima, el grado máximo de curvatura queda definido mediante la fórmula:

$$G_{max} = \frac{146000 (\mu + S_{max})}{v^2}$$

Para calcular la sobreelevación en curvas de grado menor al máximo, la SCT , utiliza el siguiente procedimiento .- Calcular la sobreelevación proporcionalmente al grado de curvatura de manera que $S = 0$ PARA $G = 0$ y $S = S_{max}$ para $G = G_{max}$ ó sea: $S = (S_{max} / G_{max}) G$

En la gráfica 3.2 se puede obtener la sobreelevación para cada grado de curvatura y velocidad de proyecto, así como la longitud de transición de la sobreelevación.

- b3) Transición de bombeo a la sobreelevación .- 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 en curva, este cambio se hace gradualmente en toda la longitud de la espiral de transición, cuando la curva circular no tiene espiral este cambio se puede realizar en un 50% en la tangente y el otro 50% en la curva circular.

Para realizar el paso 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.

En la Fig. 3.3 y 3.4 , se ilustran los procedimientos indicados.

- C) Calzada. Es la parte de la corona destinada al tránsito de vehículos y constituida por uno o más carriles .

C1) Ancho de calzada en tangente.- Para determinar el ancho de calzada en tangente, debe establecerse el nivel de servicio deseado y los estudios económicos correspondientes, con estos datos pueden determinarse el ancho y número de carriles.

Los anchos de carriles utilizados actualmente son: 2,75 m, 3,05m, 3,35 m., y 3,65 m, y normalmente se proyectan, dos, cuatro o más carriles, sin embargo cuando el volumen de tránsito es bajo de 75 vehículos por día o menos, llamados caminos de segundo orden, pueden proyectarse caminos de un carril para dos direcciones de tránsito con un ancho de 4.50 m.

C2) 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 dificultad para mantener su vehículo en el centro del carril, por lo que es necesario dar un ancho adicional a la calzada respecto al ancho en tangente, a éste sobre ancho se le llama ampliación, la cual debe darse tanto a la calzada como a la 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 sobre-ancho FA debido al 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.

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 ampliaciones menores de 20 cm ; la ampliación en curva 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 la sobre elevación.

La figura 3.5 ilustra la forma en que intervienen cada uno de los elementos mencionados.

D) Acotamiento.- Los acotamientos son las fajas contiguas a la calzada, comprendidas entre sus orillas y las líneas definidas por los hombros del camino. ... El ancho del acotamiento depende del volumen de tránsito y del nivel de servicio a que vaya a funcionar un ancho mínimo es de 2.50 m.

Las ventajas principales son:

- Dar seguridad al usuario del camino, al proporcionar un ancho adicional fuera de la calzada, pudiéndose estacionar en ellos en caso obligado.
- Proteger contra la humedad y posibles erosiones a la calzada.
- Mejorar la visibilidad en los tramos en curva.
- Facilitar los trabajos de conservación.
- Dar mejor apariencia al camino.

Subcorona .- Es la superficie que limita a las terracerías y sobre la que se apoyan las capas de pavimento.

Se entiende por terracerías, el volumen de material que hay que cortar o terraplanear para formar el camino hasta la subcorona. La diferencia de cotas entre el terreno natural y la subcorona, define espesores de corte o terraplén en cada punto de la sección.

Se entiende por pavimento , a la capa o capas de material

seleccionado comprendido entre la subcorona y corona..

Los elementos que definen la subcorona y que son básicos para el proyecto de las secciones de construcción del camino no son la subrasante, la pendiente transversal y el ancho.

- a) Subrasante.- Es la proyección sobre un plano vertical - del desarrollo del eje de la subcorona. La diferencia de cotas entre ésta y la rasante , determina el espesor de pavimento y cuyo desnivel con el terreno natural - determina espesores de corte o terraplén
- b) Pendiente transversal.- Es la misma que la de la corona, logrando mantener uniforme el espesor de pavimento.
- c) Ancho.- Es la distancia horizontal comprendida entre los puntos de intersección de la subcorona con los taludes de terraplén, cuneta o corte.

Este ancho está en función del ancho de corona y ensanche.

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

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

Donde:

A_s = Ancho de subcorona en (m).

C = Ancho de corona en tangente en (m)

e_1 y e_2 = Ensanche a cada lado del camino en (m).

A = Ampliación de la calzada en la sección considerada.

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

- d) Ampliación y sobreelevación en transición.- Para el cálculo de la ampliación y la sobreelevación de la subcorona en las curvas y transiciones del alineamiento horizontal, se hacen los procedimientos expuestos anteriormente para la corona.

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

- a) Cunetas.- Son zanjas que se construyen en los tramos en corte, a uno o ambos lados de la corona, con el objeto de recibir en ellas el agua que escurre por la corona y los taludes de corte.

- 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, su construcción es perpendicular a la pendiente máxima del terreno.

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

La altura del talud de corte o terraplén, se fija de acuerdo a la naturaleza del material que lo forma.

En terraplenes, dado el control en la extracción y colocación del material que forma el talud, el valor comunmente empleado es 1.5 . En los cortes debido a la gran variedad y disposición del material es necesario un estudio por somero que sea:

En la tabla 3.6 se resume la experiencia de la SCT , respecto a los taludes de corte.

Partes complementarias.- Reciben ésta denominación aquellos elementos de la sección transversal que concurren ocasionalmente y con los cuales se trata de mejorar la operación y conservación del camino, tales elementos son : Las guarniciones, bordillos, banquetas y fajas separadoras. -

a) Guarniciones.- Son elementos parcialmente enterrados comunmente de concreto hidraulico , que se emplean

TIPO DE MATERIAL	VALOR RECOMENDABLES		OBSERVACIONES
	Hasta 1.5 m	De 1.5 m a 3 m	
Granito sano y masivo	1/1	1/1	Descompactar a 1/1 la parte intemperizada, si la hay
Granito sano, en bloque	1/1	1/1	Amacizar taludes según la disposición de los bloques
Granito sano, fracturado	1/1	1/1	No se considera recomendable la construcción de bermas en el cambio de talud El talud recomendable variara de acuerdo con la disposición relativa de las diaclasas respecto al talud
Granito fracturado y poco alterado	1/1	1/1	Si el fracturamiento es uniforme y favorable
	1/1	1/1	Si no es favorable
	1/1	1/1	Si el fracturamiento es más intenso en la parte superior del corte
Granito totalmente intemperizado (Uruguay)	1/1	1/1	Si el producto de intemperización del granito es arena gruesa bien cementada y compacta
	1/1	1/1	Si el producto de intemperización es arena limosa o arcillosa con poca cementación y compactación
Dioritas			Mismo comportamiento que los granitos
Riolitas fracturadas en grandes bloques con sistemas de fracturamiento principal horizontal y verticalmente. (Coloamar.)	1/1	1/1	No es adecuada la construcción de bermas
Andesita fracturada en grandes bloques	1/1	1/1	Si las fracturas no contienen arcilla
	1/1	1/1	Si las fracturas contienen arcilla Estas recomendaciones pueden variar notablemente dependiendo de la posición relativa de los planos de adiestamiento respecto al talud
Andesita fracturada y poco alterada	1/1	1/1	
Andesita fracturada y muy intemperizada	1/1	1/1	
Dibasas sanas, poco fracturadas	1/1	1/1	
Basalto columnar	1/1	1/1	El que den las columnas, generalmente es vertical
Basalto fracturado, sano	1/1	1/1	Si el sistema de fracturamiento es favorable al talud
	1/1	1/1	Descompactar a 1/1 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 adiestamiento respecto al talud

TIPO DE MATERIAL	VALOR RECOMENDABLE		OBSERVACIONES
	Desde 0.5 m	Hasta 1.5 m	
Basalto fracturado en bloques de todos tamaños (mal país)	1/2:1 1/2:1	1/2:1 1/2:1	Si está empaquetado en arcillas
Basalto muy fracturado y alterado	1/2:1	1/2:1	
Derrames basálticos intercalados con piroclásticas y tezontles	1/2:1	1:1	Conviene la construcción de banquetas de 4 m al pie del talud para recibir depósitos
Tezontle suave bien cementado	1/2:1	1/2:1	
Tezontle sano fragmentario	1/2:1	1:1	
Tezontle intemperizado	1/2:1	1/2:1	
Tobas andesíticas, riolíticas o basálticas, sanas y fuertemente cementadas	1/2:1	1/2:1	Si presentan fracturamiento columnar, deberá darse la inclinación de dichas columnas. Deberá tenerse especial cuidado para no usar explosivos en exceso
Tobas brechoides medianamente cementadas	1/2:1	1/2:1	Si están intemperizadas en la parte superior del corte
Tobas débilmente cementadas	1/2:1	1:1	Un solo talud para cortes menores de 16 m
Lutita dura y resistente, con echado casi horizontal, poco fracturada	1/2:1	1/2:1	Construir contraconcretas 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
Lutita suave muy fracturada	1/2:1	1/2:1	Si la parte superior del corte se encuentra más fríascurada. Construir contraconcretas 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

TIPO DE MATERIAL	VALOR RECOMENDABLE		OBSERVACIONES
	Desde 0.5 m	De 1.5 m a 16 m	
Arenas fuertemente cementadas	1/2:1	1/2:1	
Arenas débilmente cementadas	1/2:1	1/2:1	
Conglomerado brechoides bien cementado con matriz arcillosa	1/2:1	1/2:1	
Conglomerados cementados con matriz arcillosa	1/2:1	1/2:1	
Conglomerado pobremente cementado o con matriz arcillosa	1/2:1	1/2:1	
Caliza fracturada con echados casi horizontales	1/2:1	1/2:1	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, cavernosa y poco alterada	1/2:1	1/2:1	
Pizarras con planos de apilamiento de 5 a 10 cm de separación, con echados casi horizontales	1/2:1	1/2:1	Se aconseja la construcción de contraconcretas impermeables si éstas son necesarias
Aglomerados medianamente compactos	1/2:1	1/2:1	
Arenas limosas pumíticas y vídrios volcánicos (jaies)	1/2:1	1:1	Protección de taludes inmedia, mediante "teper", cunetas y contraconcretas impermeabilizadas
Limos arenosos muy compactos (tepates)	1/2:1	1/2:1	
Arcillas poco arenosas firmes (homogéneas)	1/2:1	1/2:1 a 1/2:1	
Arcillas muy suaves, expansivas y compresibles	1:1	1.5:1	Si existe nivel freático se requerirá buen subdrenaje
Caliza, producto de alteración de diatitas	1:1		Cubrir con "teper" el talud. Altura máxima de corte 8 m. Si existe nivel freático se requerirá buen subdrenaje

parcialmente para limitar las banquetas, camellones , isletas y definir la orilla del pavimento.

- b) Bordillos.- Generalmente son elementos de concreto asfáltico, contruidos sobre los acotamientos junto a los hombros del terraplén , a fin de encauzar el agua que escurre por la corona hasta descargar su caudal en lavaderos contruidos sobre el talud de terraplén

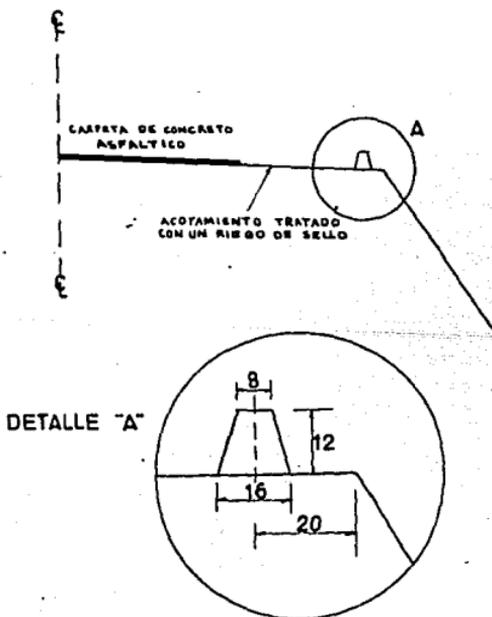


FIG. 3.7 BORDILLO

- c) Banquetas.- Son fajas separadoras destinadas a la circulación de peatones, ubicadas a un nivel superior de la corona y a uno o ambos lados de ella.
- d) Fajas separadoras.- Son 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.

Las secciones transversales pueden presentarse a lo largo del camino en cualquiera de sus tres formas: Sección en - corte, sección en terraplén o sección en balcón.

Fig. 3.8.

En una sección transversal del camino, se cuenta con datos relativos diseño geométrico y con datos correspondientes al empleo y tratamiento de los materiales que forman las terracerías, por lo tanto los elementos y conceptos que nos determinan el proyecto de la sección transversal de cons - trucción pueden separarse en dos grupos:

- A) Los propios del diseño geométrico como:
 - 1) Espesor de corte o terraplén.
 - 2) Ancho de corona.
 - 3) Ancho de calzada.
 - 4) Ancho de acotamiento.
 - 5) Pendiente transversal.

- 6) Ampliación en curva.
- 7) Longitud de transición.
- 8) Espesor de pavimento.
- 9) Ancho de subcorona.
- 10) Talud de corte o terraplén
- 11) Dimensión de cunetas.

B) Los impuestos por el procedimiento de construcción de _
las terracerías como:

- 1) Despalme.
- 2) Compactación del terreno natural.
- 3) Cuerpo del terraplén.
- 4) Capa subrasante necesaria.
- 5) Cuña de afinamiento.
- 6) Muros de retención si son necesarios.
- 7) Bermas.
- 8) Estratos de corte que aparecen en la excavación.

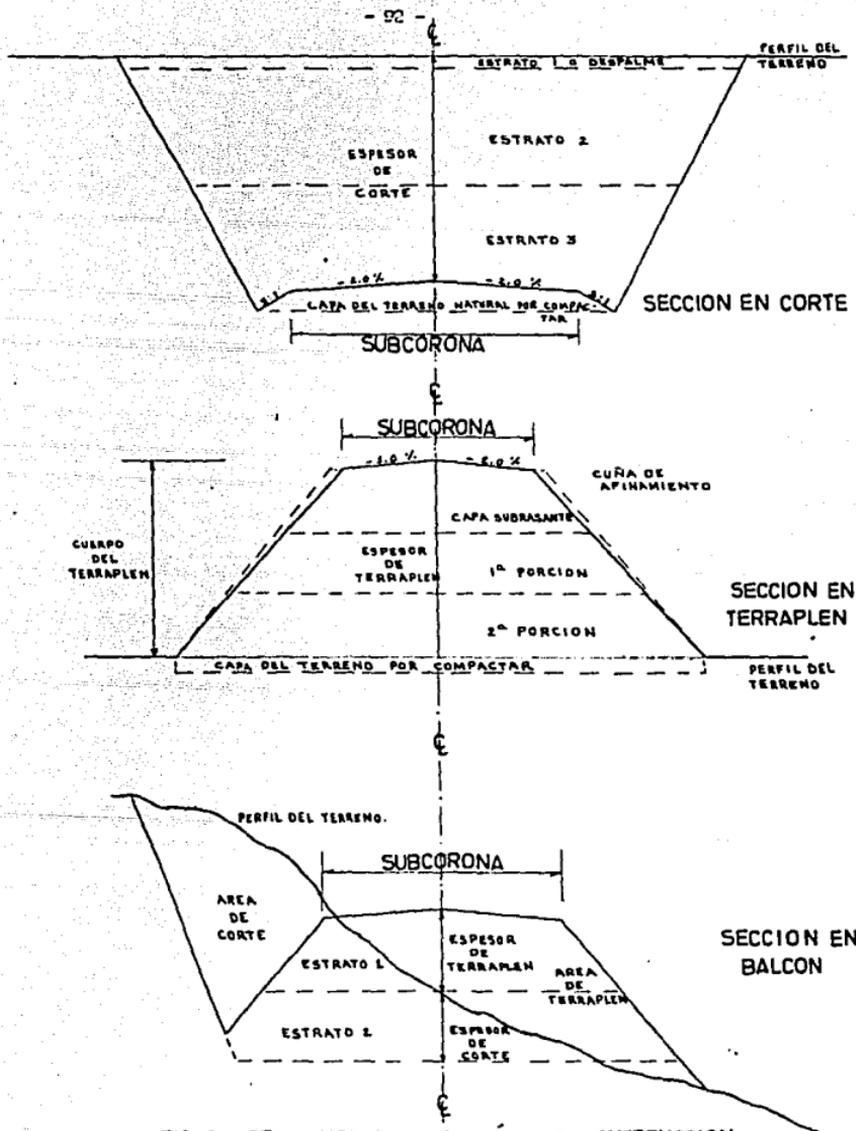


FIG. 3.8 SECCIONES TRANSVERSALES DE CONSTRUCCION

3.2 Proyecto de la subrasante económica.

Los costos de construcción parte integrante de los costos en que se basa la evaluación de un camino, está gobernada por el movimiento de terracerías, esto implica una serie de estudios que permita realizar estos movimientos lo más económico posible dentro de los requerimientos del camino.

La subrasante a la que corresponde los movimientos de terracerías mas económicos se le conoce como subrasante económica.

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 etc.

3.2.1 Elementos que definen el proyecto de la subrasante económica.

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 cabida 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 los terraplenes estarán formados por material producto de préstamo lateral o bancos. El proyecto con tramos de visibilidad de rebase no presenta dificultad en el alineamiento horizontal como en 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 hecho de no presentar problema dejar el espacio vertical para alojar 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 tierras a mover.

En terreno montañoso, como consecuencia de la configuración topográfica, se emplea 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 retención ó un tunel 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 encuentran 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 pueda dar a la rasante, en un punto determinado del camino, los elementos que fijan ésta elevación mínima son:

- c1) Obras menores.
- c2) Puentes.
- c3) Zonas de inundación.
- c4) Intersecciones con otros caminos.

d) Costos de las terracerías.- La posición que debe guardar la subrasante para obtener la economía máxima en la construcción de las terracerías, depende de los siguientes conceptos:

d1) Costos unitarios.

Excavación en corte.

Excavación en préstamo

Compactación en el tarreplén del material de corte.

Compactación en el terraplén del material de préstamo.

Sobre-acarreo del material de corte a terraplén.

Sobre-acarreo del material de corte a desperdicio.

Sobre-acarreo del material de préstamo a terraplén.

Coste del terreno afectado para préstamo, desmonte

y despálme dividido entre el volumen de terracerías

extraído del mismo.

d2) Coeficiente de variabilidad volumétrica .

Del material de corte.

Del material de préstamo.

d3) Relaciones.

Entre la variación de los volúmenes de corte y terraplén al mover la subrasante de su posición original.

Entre los costos unitarios de terraplén formado con material producto de corte y con material obtenido de préstamo.

Entre los costos que significa el acarreo del material de corte para formar el terraplén y su compactación en éste y el que significa la extracción del material de corte y el acarreo para desperdiciarlo.

d4) 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 la que es económicamente posible transportarlo. Esta distancia está dada por:

$$DME = \frac{(P_p + ad) - P_c}{P_{sa}} + AL$$

Donde:

DME = Distancia máxima de sobre-acarreo económico.

ad = Costo unitario de sobre-acarreo del material de corte de desperdicio.

Pc = 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_p = Costo unitario de terraplén formado con material producto del préstamo.

Psa = Precio unitario de sobre-acarreo del material de corte.

3.3 Volúmenes de terracerías.

Para poder lograr la aproximación necesaria en el cálculo de los volúmenes de terracerías, es necesario obtener la elevación de la subrasante, tanto en las estaciones cerradas, como en las intermedias en las que se acusan cambios bruscos en la pendiente del terreno, así como es necesario calcular la elevación de los puntos principales de las curvas horizontales en los que la sección transversal sufre un cambio motivado por la sobre-elevación y la ampliación.

Obtenida la elevación de la subrasante para cada una de las estacion

nes consideradas en el proyecto se determina el espesor correspondiente, dado por la diferencia que existe entre las elevaciones del terreno y la subrasante. Este espesor se considera en la sección transversal del terreno previamente dibujada, procediéndose a calcular la sección de construcción.

Por lo tanto el cálculo de los volúmenes, se realiza en base a las áreas medidas en la sección de construcción en cada estación y las distancias comprendidas entre ellas, posteriormente el movimiento de los materiales se analiza a través de un diagrama derivado de estos volúmenes, llamado de Curva masa.

3.3.1 Métodos empleados para la determinación de las áreas en las secciones transversales de construcción.

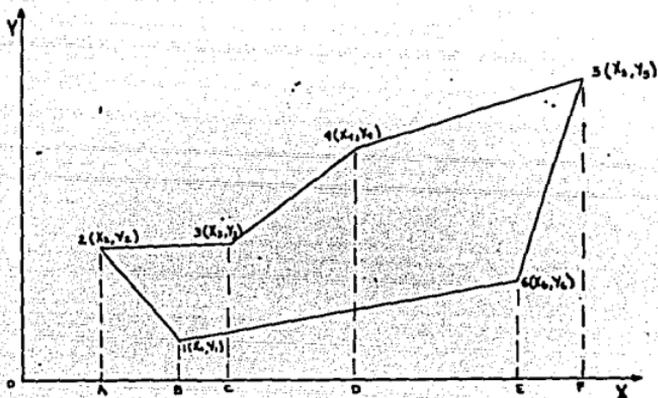
Para los fines de presupuesto y pago de la obra, es necesario determinar los volúmenes tanto de corte como de terraplén.

Para lograr lo anterior es preciso calcular el área de las distintas porciones consideradas en el proyecto de la sección de construcción.

Dentro de los distintos procedimientos empleados para éste fin, los métodos más empleados ó comunes son:

- A) Método analítico.
- B) Método gráfico.
- C) Método del planímetro.

- A) Método analítico.- Este método se basa en la descomposición de la sección en figuras regulares, por ejemplo si se tiene una sección en corte como la mostrada:



El área de la sección será la suma de las áreas de los 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:

$$A = \frac{1}{2} \left[Y_1 X_2 + Y_2 X_3 + Y_3 X_4 + Y_4 X_5 + Y_5 X_6 + Y_6 X_1 - (Y_1 X_6 + Y_2 X_1 + Y_3 X_2 + Y_4 X_3 + Y_5 X_4 + Y_6 X_5) \right]$$

Expresando matricialmente:

$$A = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} Y_1 & Y_2 & Y_3 & Y_4 & Y_5 & Y_6 & Y_1 \\ X_1 & X_2 & X_3 & X_4 & X_5 & X_6 & X_1 \end{vmatrix}$$

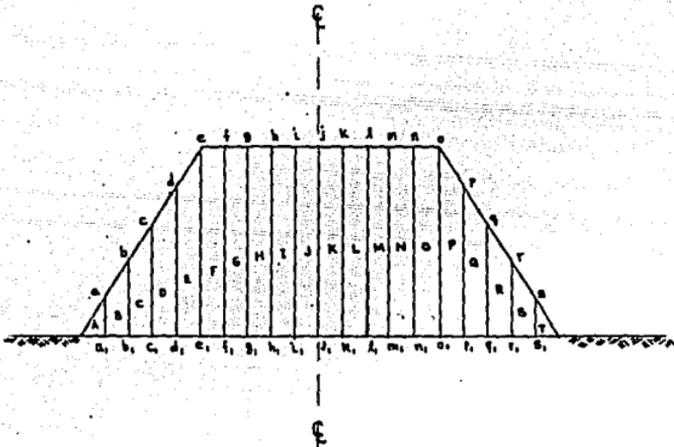
Por la naturaleza de este método, es muy útil cuando las áreas se calculan con la ayuda de una computadora.

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: Observece la sección mostrada, 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:

$$AT = S (a + b + c + d + e + f + ..)$$

S = Separación entre áreas ó base.



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 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.

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 conveniga, 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 mas se presta para la determinación de áreas.

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:

- Contar materialmente los cuadros del papel milimétrico comprendidos dentro de la sección, los centímetros cuadrados, representarán metros cuadrados agrupando los cuadros se tendrá aproximadamente el área.
- 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 aproximadamente.

3.3.2 Cálculo del volumen de terracerías en tangente.- Una vez calculadas las áreas de las secciones de construcción se procede a calcular los volúmenes de tierra, para ello se supone que el camino esta formado por una serie de prismoides tanto en corte como en tarrapleñ, 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 3.9 se tiene:

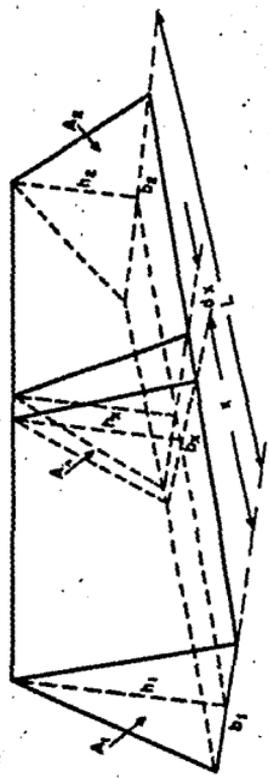


FIGURA 3.4 VOLUMEN DE UN PRISMÓIDE TRILATERAL

$$A_1 = \frac{1}{2} b_1 h_1 ; A_2 = \frac{1}{2} b_2 h_2$$

$$A_x = \frac{1}{2} b_x h_x$$

$$\text{Pero: } b_x = b_1 + (b_2 - b_1) \frac{x}{L}$$

$$h_x = h_1 + (h_2 - h_1) \frac{x}{L}$$

Con lo cual:

$$A_x = \frac{1}{2} \left[b_1 h_1 + (b_1 h_2 - b_1 h_1 + b_2 h_1 - b_1 h_1) \frac{x}{L} + (b_2 h_2 - b_2 h_1 - b_1 h_2 + b_1 h_1) \frac{x^2}{L^2} \right]$$

El volumen del prismoide puede calcularse como:

$$V = \int_0^L A_x dx$$

Substituyendo A_x en la expresión anterior, e integrando y simplificando:

$$V = \frac{L}{6} \left[\frac{b_1 h_1}{2} + 4 \frac{b_1 + b_2}{2} \frac{h_1 + h_2}{2} + \frac{b_2 h_2}{2} \right]$$

Pero $\frac{b_1 + b_2}{2}$, $\frac{h_1 + h_2}{2}$ son la base y altura media

de un triángulo que se encuentra a la mitad de la longitud considerada, si se llama A_m al área de este triángulo se tendrá:

$$V = \frac{L}{6} (A_1 + 4A_m + A_2) \text{-----(1)}$$

Que es conocida como la fórmula del prismoide se si introduce la hipótesis $A_m = \frac{A_1 + A_2}{2}$

$$V = \frac{L}{6} (A_1 + A_2) \text{-----(2)}$$

Que es la expresión conocida como la fórmula de las áreas medias y que por su simplicidad es muy útil para el cálculo de volúmenes.

El error introducido por esta fórmula se calcula con la siguiente expresión :

$$E = \frac{L}{3} (A_1 + A_2 - 2A_m)$$

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 asemejan mas a un prismoide trapecial que aún triangular, las expresiones anteriores siguen siendo validas ya que los errores inducidos al aplicar esta fórmula son relativos con la precisión deseada.

- 3.3.3. 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 validas.

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 la secciones del camino en curva fueran iguales sería fácil calcular el volumen con el teorema anterior, sin

embargo el caso mas común es que sean diferentes con lo cual el cálculo exacto del volumen es complejo, requiriendo se introducir algunas hipótesis simplificadoras.

De la figura 3.10 se tiene.

L = Distancia 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.

$$V_1 = A_1 \lambda_1$$

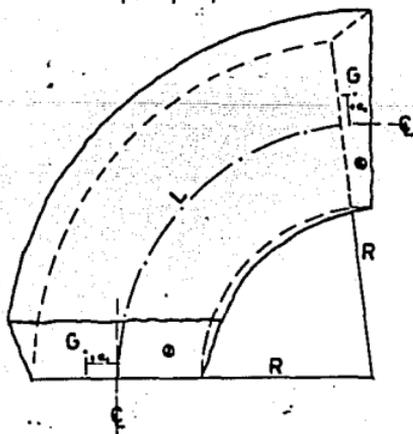


FIG. 3.10

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:

$$\frac{L}{R} = \frac{l_1}{R + e_1} \quad \therefore \quad l_1 = \frac{L}{R} (R + e_1)$$

Substituyendo :

$$V = \frac{L}{2R} (A_1 (R + e_1) + A_2 (R + e_2))$$

La corrección por curvatura será:

$$E = \frac{L}{2R} (A_1 e_1 + A_2 e_2)$$

La SCT 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 volumétrica 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 de material.

3.4 Diagrama de curva masa.

El diagrama de curva masa es una gráfica dibujada en ejes cartesianos, cuyas abscisas representan el cadenamamiento de la línea y cuyas ordenadas representa volúmenes de excavación ó relleno.

Es un método gráfico que permite determinar la distribución económica de los volúmenes excavados y calcular el costo para llevar a cabo dicha distribución.

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 coeficiente de variabilidad volumétrica, considerados los volúmenes desde su origen hasta esa estación, - estableciendo que los volúmenes de corte son positivos y los de terraplén son negativos para un cálculo ordenado de los puntos de la curva masa en cada estación, se muestra un registro empleado por la SCT en el cual los cálculos se van haciendo progresivamente, desde el cálculo de los espesores de corte ó terraplén el área correspondiente de cada sección, su volumen correspondiente hasta la determinación de las ordenadas de la curva masa.

Una vez obtenida la curva masa, se debe dibujar a una escala adecuada junto al perfil del terreno con su respectiva subrasante además del dibujo, en una tabla se van anotando los volúmenes con su signo para que al irlos sumando se obtengan las ordenadas de la curva masa.

3.4.1 Propiedades de la curva masa.-

- 1.- El diagrama es ascendente cuando predominan los volúmenes de corte sobre los de terraplén y descienden en caso contrario.
- 2.- Cuando después de un tramo ascendente en el que predominan los volúmenes de corte, se llega a un punto del dia

grama en el cual empiezan a predominar los volúmenes de terraplén, se dice que se forma un máximo, inversamente cuando después de un tramo descendente en el cual los volúmenes de terraplén han sido mayores, se llega a un punto en que comienzan a prevalecer los volúmenes de corte y se dice que se forma un mínimo.

- 3.- La diferencia entre las ordenadas de la curva masa en dos puntos cualesquiera, expresa un volumen 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.

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

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

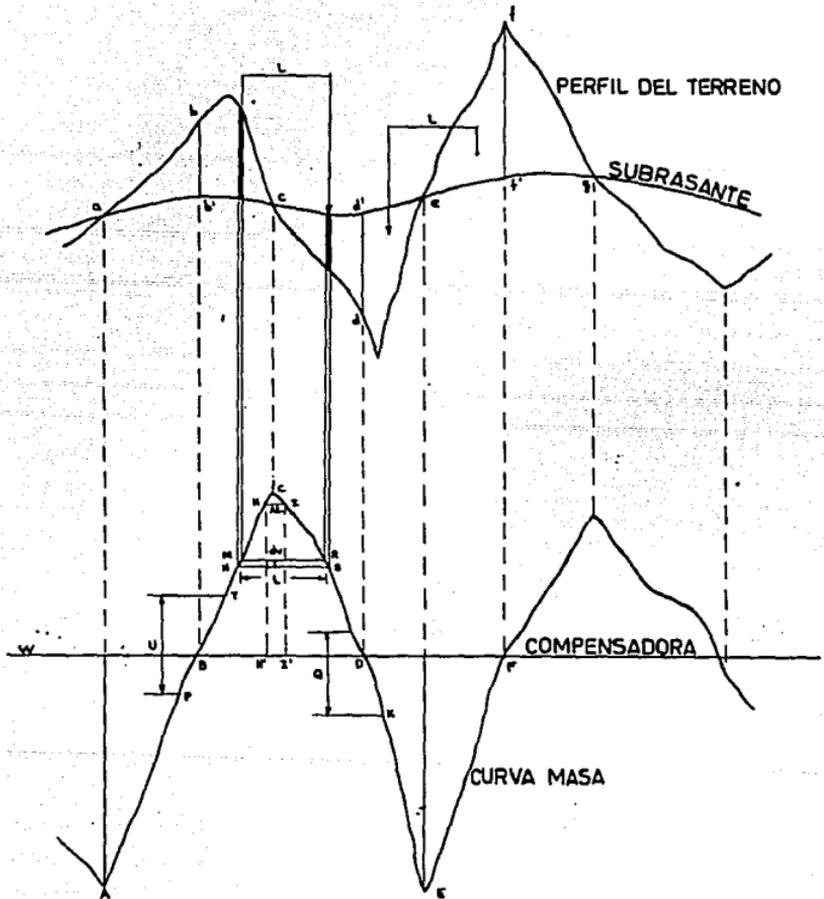


FIG. 3.12 DIAGRAMA DE CURVA MASA

6.- Las áreas de los contornos cerrados comprendidos entre el diagrama y la compensadora representa los acarreos, por lo tanto determinando el área de un contorno cerrado y considerando las escalas respectivas del dibujo se encontrará el valor del acarreo total.

3.5 Movimiento de terracerías.

Los volúmenes, ya sean de corte o de préstamo deben ser transportados para formar los terraplenes; sin embargo en algunos casos parte de los volúmenes de corte deben desperdiciarse para lo cual se transportan a lugares convenientes fuera del camino.

Para determinar estos movimientos y su costo mínimo, el diagrama de masas es el instrumento con que cuenta el proyectista, además de los precios unitarios y forma de pago de los conceptos que integran los movimientos de terracerías.

El primer concepto se ha analizado en el inciso anterior, en cuanto a lo segundo se necesita conocer los precios unitarios de cada uno de los conceptos que comprenden los movimientos de terracerías para que al multiplicarlos por el volumen de obra respectivo, se obtengan la erogación correspondiente a cada uno de estos conceptos y concluir si la subrasante proyectadas es realmente la más económica.

Como no es posible precisar los precios unitarios hasta que no se ha concluido la obra, se recurre para los proyectos al empleo de -

precios unitarios determinados para casos semejantes.

Los conceptos empleados en el movimiento de terracerías en base a su forma de pago son:

1.- Despalme .- Pago que se realiza midiendo el volumen geométrico de excavación en metros cúbicos multiplicado por el precio unitario correspondiente.

2.- Corte o excavación .- El pago se realiza midiendo el volumen geométrico correspondiente en m³. multiplicado por su precio unitario.

3.- Préstamo lateral.- Son las excavaciones ejecutadas dentro de la faja ubicada paralelamente al eje del camino con ancho determinado en el proyecto y cuyo material se utiliza para la formación de terraplén contiguos.

El límite exterior de cada faja se fija a una distancia máxima de 100 metros contados desde el eje del camino. El pago se hace en la misma forma descrita para corte.

4.- Préstamo de banco.- Son los ejecutados fuera del límite de 100 metros de ancho y los ejecutados dentro de dicho límite que no esten situados lateralmente a dichos préstamos. Su pago se realiza en la misma forma del inciso anterior.

5.- Compactación.- Su pago se realiza en base al volumen geométrico de terraplén en metros cúbicos multiplicados por el precio uni-

tario correspondiente a esta función.

6.- **Bandeado.**- Es el tratamiento que se le da al material que por sus dimensiones no se pueda considerar susceptible de compactación normal. El pago se realiza al volumen de material multiplicado por el precio unitario correspondiente el cual es función del tipo y número de pasadas del equipo.

7.- **Agua para compactación .-** El pago se realiza en base o los volúmenes de agua medida en las pipas multiplicadas por su precio unitario correspondiente.

8.- **Acarreos.**- Consiste en el transporte del material producto de cortes o préstamos a los lugares fijados para construir un terraplén ó depositar un desperdicio. Su pago se efectúa en base al tipo de acarreo correspondiente el cual fija un precio unitario multiplicado por el número de los mismos.

3.5.1 **Determinación de acarreos.**- Como se nombro anteriormente los acarreos consisten en la colocación de materiales producto de corte o préstamo de un lugar a otro, ya sea para formar terraplén o para situarlos fuera del camino.

La SCT clasifica los acarreos de acuerdo a la distancia que hay entre el centro de gravedad de la excavación y el centro de gravedad del terraplén a construir o el sitio

donde el desperdicio se va a depositar, en:

- a) Acarreo libre.- Es aquel que se efectúa dentro de una distancia de 20m. y su precio está incluido en el de la excavación.
- b) Sobreacarreo en m^3 . - estación .- Cuando los centros de gravedad estén comprendidos entre una distancia de 20 y 120 m.
- c) Sobreacarreo en m^3 . - Hectómetro .- Cuando la distancia entre centros de gravedad está comprendida entre 120 y 520 m.
- d) Sobreacarreo en m^3 - Kilómetro .- Cuando la distancia entre los centros de gravedad excede a 520 m.

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..

En la figura 3.13 , se tiene que el acarreo libre se representa por la horizontal AC de modo que $AC = 20m$, y el material por encima de la recta es el que se transportará sin costo adicional, el volumen de este material viene

dado por la diferencia de ordenadas entre las rectas AC y el punto B y es una medida del volumen de corte entre a y b que formará el terraplén b y c, arriba de la línea de compensación OD, muestra que el corte de O a b, formará el terraplén de b a d como el material que da por encima de la compensadora AC está incluido en el acarreo libre, la otra parte entre las líneas OD y AC está sujeta a un sobreacarreo adicional.

La distancia media de sobreacarreo entre el corte o - a y el terraplén c - d es la distancia entre los centros de gravedad del corte y terraplén, si se lleva una vertical entre los centros de gravedad estos cortarán a la curva masa en los puntos H y J, en consecuencia la recta HJ, menos la distancia de acarreo libre AC, nos da la distancia media de sobreacarreo.

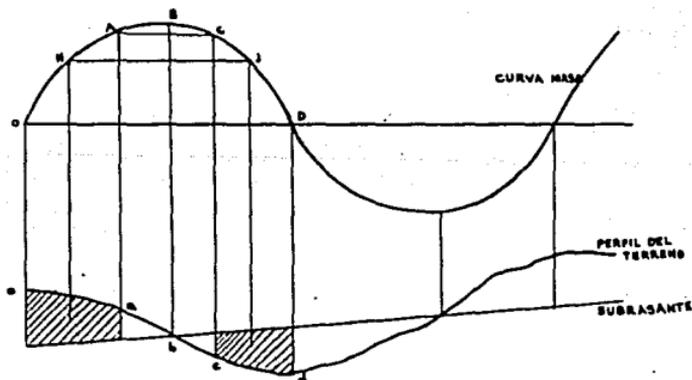


FIG.3.13 DISTANCIA MEDIA DE SOBRECARRERO

3.5.2 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 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 pueden 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 3.14, entre préstamo y desperdicio, entre desperdicio y entre desperdicio y préstamo.

El desarrollo de las ecuaciones para cada uno de los casos es 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.

A_1, A_2, A_3 = Areas contenidas en el diagrama y la compensadora general que representan los montos de acarrees.

C_1, C_3, C_5 = Coeficiente de variabilidad volumétrica de los materiales de corte que sean acarreados hacia atrás, se representa por Chon.

C_2, C_4, C_6 = Coeficiente de variabilidad volumétrica de los materiales de corte que sean movidos hacia adelante se representa por Cpar.

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 acarrees medidos en m^3 α pues su distancia se mide en unidades α .

\$ B = Precio unitario de los acarrees medidos en m^3 β pues su distancia se mide en unidades β .

\$ C = Precio unitario de los acarrees 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 emplee la siguiente fórmula:

$$\frac{Pat}{Cat} - \frac{Pad}{Cad} = \$ A \left(\sum \frac{Dnon - AL}{Cnon} - \sum \frac{Dpar - AL}{Cpar} \right)$$

$$+ \$ B \left(\sum \frac{Dnon - AL}{Cnon} - \sum \frac{Dpar - AL}{Cpar} \right) + \$ C \left(\sum \frac{Dnon - AL}{Cnon} - \sum \frac{Dpar - AL}{Cpar} \right)$$

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

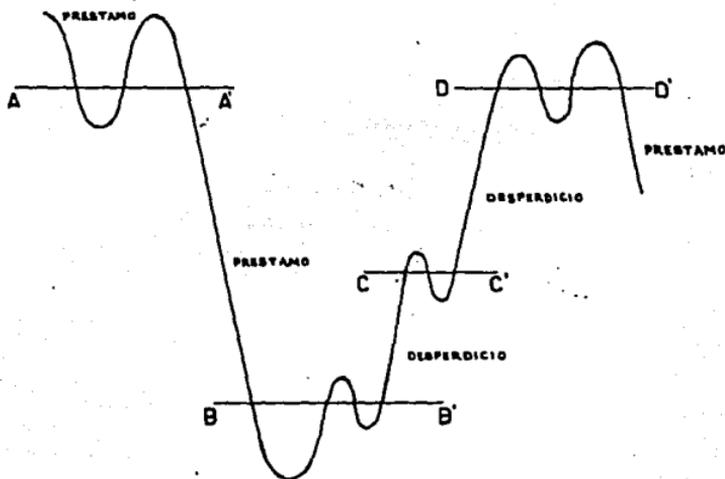


FIG. 3.14 COMPENSADORA ECONOMICA

Segundo caso: Compensadora comprendida entre préstamo y desperdicio:

$$\frac{Pat}{Cat} + \frac{Dad - Dod}{Cdd} = \oint A \left(\sum \frac{Dnon - AL}{Cnon} - \sum \frac{Dpar - AL}{Cpar} \right)$$

$$+ \oint B \left(\sum \frac{Dnon - AL}{Cnon} - \sum \frac{Dpar - AL}{Cpar} \right) + \oint C \left(\sum \frac{Dnon - AL}{Cnon} - \sum \frac{Dpar - AL}{Cpar} \right)$$

Al igual que el caso anterior deberá buscarse la igualdad en la ecuación.

Tercer caso: Compensadora comprendida entre un desperdicio y un préstamo.

$$\frac{-Dat}{Cdt} - \frac{Pad}{Cad} + \frac{Dct}{Cdt} = \frac{1}{2} A \left(\sum \frac{Dnon - AL}{Cnon} - \sum \frac{Dpar - AL}{Cpar} \right) \\ + \frac{1}{2} B \left(\sum \frac{Dnon - AL}{Cnon} - \sum \frac{Dpar - AL}{Cpar} \right) + \frac{1}{2} C \left(\sum \frac{Dnon - AL}{Cnon} - \sum \frac{Dpar - AL}{Cpar} \right)$$

Al igual que en los otros casos deberá aproximarse lo más que se pueda a la igualdad de ecuación.

Quarto caso.- Compensadora entre dos desperdicios para este caso la ecuación general es:

$$\frac{Dad - Dcd}{Cdd} - \frac{Pat - Dct}{Cdt} = \frac{1}{2} A \left(\sum \frac{Dnon - AL}{Cnon} - \sum \frac{Dpar - AL}{Cpar} \right) \\ + \frac{1}{2} B \left(\sum \frac{Dnon - AL}{Cnon} - \sum \frac{Dpar - AL}{Cpar} \right) + \frac{1}{2} C \left(\sum \frac{Dnon - AL}{Cnon} - \sum \frac{Dpar - AL}{Cpar} \right)$$

La aplicación práctica de estas cuatro ecuaciones es sencilla, basta medir las aberturas en las unidades correspondientes al sobreacarreos 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 movera la compensadora hasta encontrar esa igualdad.

- 3.5.3 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 sobreacarreos en esos movimientos.

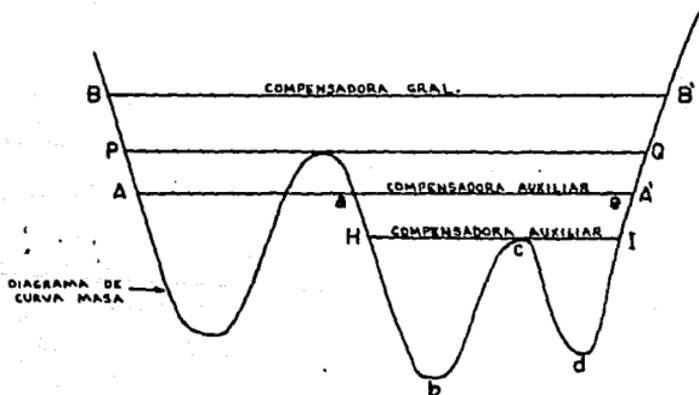


FIG. 3.15 COMPENSADORA AUXILIAR.

La ecuación que coloca a una compensadora auxiliar económica es:

$$\# A(d_1 - AL_{\alpha} + d_3 - AL_{\alpha}) = \# A(d_2 - AL_{\alpha}) + \# B(d_4 - AL_B)$$

En donde d_1 , d_2 , d_3 , y AL_{α} 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 anterior que si la compensadora auxiliar es la $A A'$ el tramo a b c d e quedará sin proyecto de movimiento por lo que se requerirá otra compensadora auxiliar H I, que pasa por el máximo para no involucrar sobrecarros dobles.

CAPITULO - 4

GENERALIDADES DE DRENAJE.

4.1 El drenaje en el camino.

El drenaje del camino tiene por objeto evitar, total o parcialmente, que el agua llegue al camino o que el agua que llegue tenga una salida fácil.

Uno de los mayores problemas que causa el agua a los caminos, es que provoca la disminución de la resistencia de los suelos, por lo que se presentan fallas en terraplenes, cortes y superficie de rodamientos, con lo que queda comprobada la necesidad de alejar lo mas pronto posible el agua de la obra.

Las formas en que el agua puede llegar al camino son:

- 1.- Precipitación directa.
- 2.- Escurrimiento del agua del terreno adyacente.
- 3.- Crecientes de ríos o arroyos.
- 4.- Infiltración directa o por ascensión capilar a través del suelo.

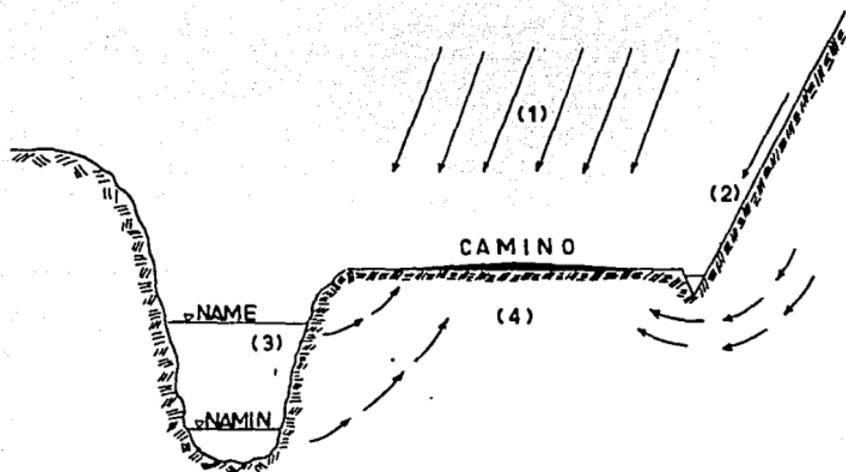


FIG.4.1 FORMAS EN QUE EL AGUA PUEDE LLEGAR AL CAMINO.

El drenaje deberá preverse desde el reconocimiento de la línea, tratando siempre que sea natural para evitar obras costosas, en la localización deberán escogerse suelos permeables, naturalmente drenados, fijando los cruces de corrientes de agua desde el punto de vista funcional y económico. El trazo ideal sería aquel que siguiera a lo largo de los parteaguas de grandes zonas de drenaje, con lo cual las corrientes fluirían alejándose del camino y el problema se reducirá a recoger el agua que cae directamente sobre la vía.

Se deberá evitar que el agua de arroyos, talves u hondonadas sea re-

mansada por los terraplenes existiendo peligros de deslaves; evitar que el agua subterránea ascienda hasta la subrasante, originando baches en el pavimento.

4.1.1. Consideraciones hidrológicas en el estudio del drenaje .-

Los factores que afectan el escurrimiento del agua son:

- 1.- Cantidad y tipo de precipitación.
- 2.- Ritmo de precipitación.
- 3.- Tamaño de la cuenca.
- 4.- Declive superficial.
- 5.- Permeabilidad de suelos y rocas.
- 6.- Condición de saturación.
- 7.- Cantidad y tipo de vegetación.

La precipitación es un factor importante en el estudio del drenaje, necesitamos conocer la cantidad de agua que cae en el año y si lo hace en forma de aguacero o de lluvia fina durante períodos largos.

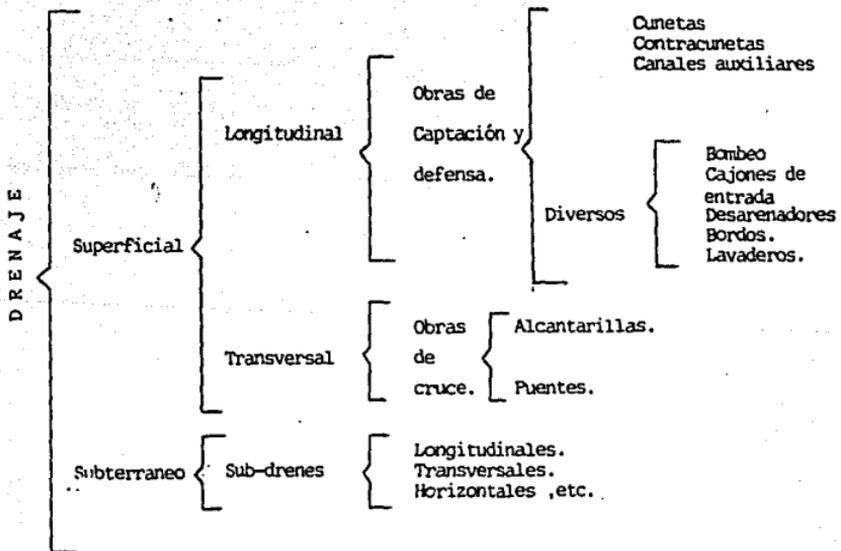
El tamaño de la cuenca o área por drenar, es importante ya que un aguacero puede abarcar la totalidad de una cuenca pequeña, pero si las cuencas son muy grandes la lluvia puede caer solo en una porción de ella.

El declive del terreno influye en que a medida que la pendiente es mayor, el agua se concentrará más rápidamente y si la topografía lo permite se tendrían cauces más direc-

tos. Si la permeabilidad de los suelos y rocas es alta debido a su formación geológica el escurrimiento será menor, ya que una parte importante del agua se infiltrará.

La vegetación de la zona afecta el escurrimiento de manera importante, ya que a mayor vegetación la concentración de agua disminuirá.

4.2 Clasificación del drenaje.



4.2.1 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, principalmente estas aguas proceden directamente de las precipitaciones, aunque a veces tienen también su origen en inundaciones de corrientes como ríos, arroyos o manantiales.

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 le llaman obras de captación y defensa y a las obras transversales obras de cruce.

4.2.2 Drenaje longitudinal.- Es aquel drenaje que tiene por objeto captar los escurrimientos para evitar que lleguen al camino o permanescan en él de tal manera que no caucen desperfectos, quedan comprendidos en este tipo las cunetas, contracunetas, canales de encauzamiento, bordillos; se le llama drenaje longitudinal, porque está situado en forma más o menos paralela al eje del camino.

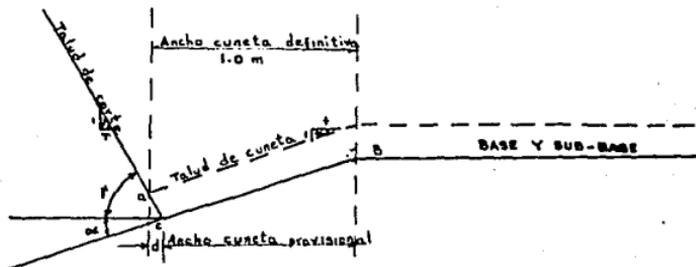
Cunetas.- Son canales que se hacen a los lados del camino en cortes con objeto de recibir el agua pluvial de la mitad de la sección en tangente o de toda en curva que escurre en la corona del talud de corte y del terreno natural adyacente para conducirla hacia una corriente natural o una obra transversal.

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. ancho de 1m. 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 m. si sobrepasa esa cantidad, deberá construirse una obra de alivio.

Las cunetas rectangulares y trapezoidales, no son recomendables porque causan inseguridad a los conductores, además que no son muy estables.

Cuando los caminos no son pavimentados inmediatamente deberá proyectarse una cuneta provisional para drenar la subcorona. El ancho de esta cuneta provisional deberá definir una cantidad "d" al ancho de la cuneta definitiva para que cuando se paviemente el camino la cuneta quede con su ancho especificado.

Figura 4.2



Quando el material de las cunetas es erosionable, se deberá reducir la velocidad que alcanza el agua, reduciendo la pendiente de la cuneta, provocando caídas para que el fondo de la cuneta este por debajo de la subrasante, aumentar la sección del canal o en ciertos casos revestirlos, en las siguientes tablas se muestran las velocidades del agua que erosionan los diferentes materiales y en la otra los gastos y velocidades con diferentes pendientes en cunetas tipo (1m. X 0.33 m)

Material	Velocidad m/s	Material	Velocidad m/s
Arena fina	0.45	Pizarra suave	2.00
Arcilla arenosa	0.50	Tepetate	2.00
Arcilla ordinaria	0.85	Grava gruesa	3.5
Arcilla firme	1.25	Zampeado	3.4 - 4.5
Grava fina	2.00	Concreto	4.5 - 7.5

Pendiente longitudinal %	Velocidad m/seg.	Gasto m ³ / seg.
1	0.6	0.110
2	0.9	0.170
3	1.1	0.200
4	1.3	0.240
5	1.5	0.270
6	1.6	0.300
7	1.7	0.320
8	1.8	0.340
9	2.0	0.370
10	2.1	0.400

Contracunetas, . Son canales que se construyen en las laderas del lado de aguas arriba de los cortes de una obra vial y que tiene por objeto impedir que el agua escurra por la ladera, por el corte y llegue a las cunetas.

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.

Su proyecto deberá realizarse muy cuidadosamente ya que la mayoría de las fallas de taludes en caminos son provocados por éstas.

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, el talud de aguas abajo será suficiente para que no se derrumbe y el de aguas arriba deberá ser mayor o igual con el fin de evitar que se erosione con el escurrimiento.

La distancia de la contracuneta al borde del corte será como mínimo de 5.00 m. o una distancia igual a la altura del corte, si ésta 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, protegiendo el terreno natural, con zampeado o concreto.

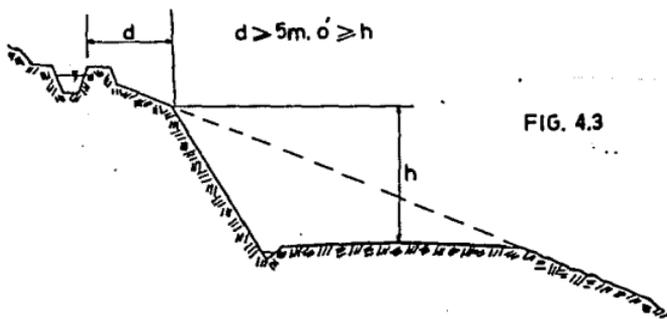


FIG. 4.3

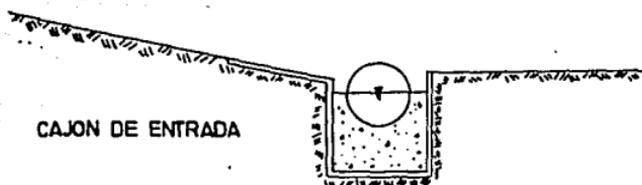
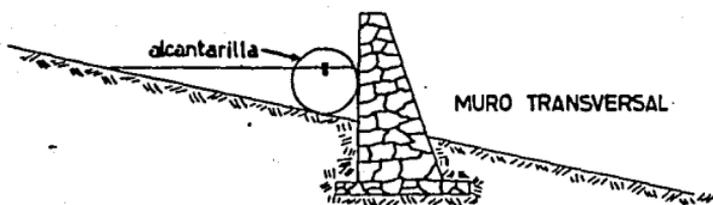
Canales de encauzamiento o auxiliares.- Son canales construidos en donde el terreno es plano, el escurrimiento es de tipo torrencial y no existen cauces definidos. Se localizan en lugares donde intercepten el agua antes de que llegue al camino y la conduzca a sitios elegidos para construir una obra y 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 trapezoidal 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 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, etc.

Los muros transversales se colocan aguas abajo de la alcantarilla para producir un embalse y obligar a el agua a entrar cuando existen muchos azolves, basura, ramas, etc. se dispone de los cajones de entrada que retienen los azolves depositándolos en la parte inferior, en forma semejante funcionan los desarenadores.



4.2.3 Drenaje transversal.- Es aquel drenaje que tiene por objeto dar paso expedito del agua que cruza de un lado a otro del camino, o bien retirar lo mas pronto posible el agua de su corona.

Se le llama drenaje transversal porque está situado en forma más o menos transversal al eje del camino.

Quedan comprendidos en este tipo de drenaje los tubos, losas, cajones, bovedas, lavaderos, vados, sifones invertidos, puentes y el bombeo de la corona.

De acuerdo a las dimensiones del claro de las obras de drenaje transversal, se ha convenido dividir éstas en mayor, claro mayor de 6 m. y menor aquel con claro menor de 6 m.

A las obras de drenaje mayor se les denomina puentes y a las de drenaje menor alcantarillas.

Tubos.- Son alcantarillas de sección interior usualmente circular y que para su funcionamiento requieren un espesor de terraplén o colchón de 0.60 m.

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.

Lavaderos.- Son canales que se construyen sobre los taludes para dar salida a una corriente evitando que se erosione, puede ser zampeado, de lámina, mampostería o concreto.

Vados.- Son estructuras superficiales del camino, en el cruce con un escurrimiento efímero o permanente de tirante pequeño. El proyecto del vado debe ser con la superficie de rodamiento a pelo de tierra adaptando al terreno natural una catenaria o parábola con pendiente de entrada máxima de 4% y ligándola al camino a través de curvas.

verticales inversas a las del vado.

Puentes.- Es la obra de drenaje que por su claro mayor de 6 m. deberá realizarse un estudio más detallado del mismo; consta generalmente de una pila en las cuales se apoya una losa de concreto, por donde circulan los vehículos .

Bombeario de la corona.- Es la pendiente que se da a la corona, hacia uno y otro lado de la rasante para evitar la acumulación de agua sobre el camino. Su valor está en función del tráfico, superficie de rodamiento, precipitación y varía de uno por ciento hasta cuatro por ciento.

4.3 Alcantarillas.

Son estructuras de forma diversa que tienen la función de conducir y desalojar lo más pronto posible el agua de las hondonadas y partes bajas del terreno que atraviezan el camino. Por la forma de su sección y del material que están construidas, estas estructuras de drenaje menor pueden clasificarse en tubos, bóvedas, losas y cajones .

En la forma en que trabajan pueden ser rígidas y flexibles, por el material que están hechos, de fierro, concreto, mampostería, etc. Cualquiera que sea el tipo de alcantarilla, el terraplén que se coloque sobre ella, debe estar colocado en capas de 15 a 20 cm. de

espesor, compactadas hasta un espesor mínimo de 0.60 m. en tuberías y 1.0 m, en bóveda a partir de la parte superior de la clave.

Las alcantarillas de alivio que sirven para desalojar el agua de una cuneta muy larga, se colocan a razón de 3 ó 4 por kilómetro, aprovechando los puntos bajos del terreno, también deben colocarse para descargar las cunetas a la entrada de una curva horizontal con bastante sobreelevación, para evitar que el agua se derrame sobre el camino.

4.3.1 Proyecto de alcantarillas.- El proyecto de una alcantarilla toma en cuenta los siguientes aspectos:

- a.- Ubicación de la obra y proyecto de la plantilla.
- b.- Cálculo del área hidráulica necesaria.
- c.- Elección del tipo de obra.
- d.- Cálculo dimensional y estructural.
- e.- Elaboración del funcionamiento del drenaje en tramos de 5 Km.

Para la realización del proyecto definitivo del drenaje se necesitan los estudios realizados en la etapa de elección de ruta y ante proyecto, ya que estos servirán de base para ubicar los ejes de las alcantarillas sobre la planta del camino.

Sobre la línea del camino se requerirá el cadenamamiento y la cota del terreno y subrasante en el lugar en que se efectua-

rá el cruce, así como el ángulo de esviajamiento de la obra, para poder proyectar la plantilla de la obra de drenaje posteriormente se limitará a calcular el área hidráulica de la alcantarilla, así como sus dimensiones reales y estructuración.

Para su dimensionamiento y estructuración, deberá decidirse sobre el material empleado para su construcción, que pueden ser concreto hidráulico, mampostería, lámina de acero, acero estructural, mortero de cal y cemento, en algunas ocasiones madera, piedra brasa como materiales de la región. Para el proyecto estructural es necesario conocer el tipo de vehículos de proyecto, para que con las características de concentración del vehículo efectuar los cálculos de las alcantarillas.

La SCT ha estimado que para caminos de bajo tránsito es conveniente utilizar un vehículo de proyecto DE - 427, con características de concentración H - 15, con lo cual se han elaborado proyectos tipo de alcantarillas y puentes.

4.3.2 Diseño hidráulico.- El diseño hidráulico de una alcantarilla consiste en calcular el área necesaria para dar paso al volumen de agua que se concentra a su entrada, para ello se requiere un estudio previo que abarca precipitación pluvial, área, pendiente y formación geológica de la cuenca, además del uso que tendrá el terreno aguas arriba de la alcantarilla.

Para el cálculo del área hidráulica existen diferentes métodos:

- 1.- Método de comparación.- Consiste en observar el funcionamiento del drenaje en un camino situado en una zona semejante a la estudiada y determinar por comparación la sección de las obras de cruce.

- 2.- Método empirico .- Es aplicable cuando es difícil conocer los datos de precipitación pluvial. La fórmula que da mejores resultados y que se emplea más frecuentemente es la de Talbot.

$$a = 0.183 C A^{3/4}$$

Donde:

a = Area hidráulica necesaria en la obra en m².

A = Area de la cuenca por drenar en (ha)

C = Coeficiente que depende de las características del terreno.

Tipo de terreno	C
Montañoso escarpado	1.0
Con mucho lomerío	0.8
Con lomerío	0.6
Muy ondulado	0.5
Poco ondulado	0.4
Casi plano	0.3
Plano	0.2

3.- Método sección y pendiente.- Consiste en calcular el gasto de la corriente a partir de las huellas dejadas por las avenidas máximas, tomando un factor de seguridad para prever la avenida máxima que ocurriría en un período de tiempo variable.

$$Q = A \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n}$$

Q = Gasto en la alcantarilla (m^3 /seg.)

R = Radio hidráulico en (m).

S = Pendiente hidráulica.

n = Coeficiente de rugosidad.

A = Area de la cuenca.

4.- Método racional.- Consiste en calcular el gasto en función de los datos de precipitación pluvial, el área de la cuenca, aspecto topográfico y clase de suelo.

Fórmula de Burkli - Ziegler.

$$Q = 0.022 C A h \left(\frac{S}{A} \right)^{1/4}$$

Donde:

Q = Gasto en la alcantarilla apartado por cada hectárea tributaria (m^3 /seg.).

- h = Precipitación pluvial (cm/ hr) del aguacero más intenso con duración de 10 min.
- A = Areas tributarias (has).
- S = Pendiente del terreno en m/Km.
- C = Coeficiente que depende del tipo de terreno.

Tipo de terreno	C
Calles pavimentadas	0.750
Calles ordinarias	0.625
Calles con macaden	0.300
Terrenos de cultivo	0.250

El área hidráulica de la alcantarilla, calculada con cualquiera de las fórmulas anteriores, deberá revisarse para comprobar que los arrastres de mayor tamaño, (troncos, hiervas, piedra) puedan pasar. El cálculo de la alcantarilla se realiza considerando como tubo corto si su longitud es menor de 50 veces su diámetro y como tubo largo en caso contrario.

4.3.3 Cálculo dimensional y estructural de una alcantarilla.

El cálculo dimensional consiste en encontrar sus dimensiones físicas, de acuerdo a la sección o secciones transver -

sales entre las que encuentra localizada y la posición que guarda respecto al eje; para ello se debe tomar en cuenta:

- a.- Nivel de la rasante (R_c) y la del desplante en el centro de línea (D).
- b.- Semicorona izquierda (C_1) y semicorona derecha (C_2).
- c.- Espesor mínimo de colchón.
- d.- Sección transversal de la obra (\emptyset si es tubo)
- e.- Esviaje de la obra (e)
- f.- Pendiente longitudinal de la rasante (ρ).
- g.- Pendiente de la obra (s).
- h.- Pendiente transversal del camino, ya sea de bombeo o de sobreelevación (W_1, W_2, S).
- i.- Talud de corte o terraplén (T).
- j.- Espesor de pavimento (d).
- k.- Coronamiento del muro (Q).

Forma de calcular la longitud de una obra bajo un terraplén.

- a.- Normal al eje.- Se acostumbra que la altura del muro de la cabeza sea de 30 cm. mayor a la dimensión vertical de la obra y que el talud del terraplén lo corte en 15 cm. abajo del coronamiento (dimensiones en cm).

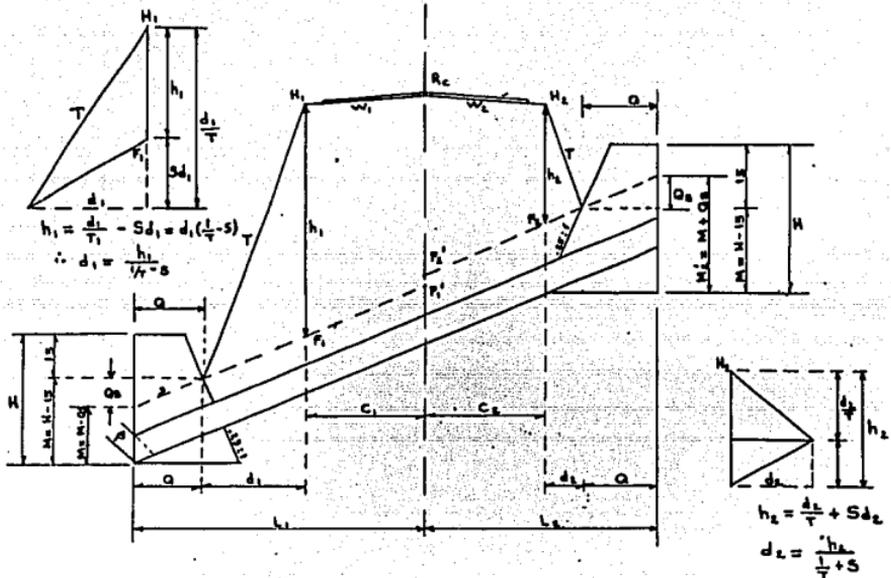


FIG.4.4 ELEMENTOS PARA EL CALCULO DE LONGITUD DE LAS ALCANTARILLAS

De la figura: $H = \frac{L}{T} + 30$
 $M = H - 15$

Lado izquierdo:

$$M_1' = M_1 - Q S$$

$$F_1' = D + M_1$$

$$F_1 = F_1' - C1S$$

$$H_1 = Rc - C1S$$

$$H_1 = Rc - W_1 C_1$$

$$h_1 = h_1' / 1 - S$$

$$d_1 = h_1 / 1 - S$$

Lado derecho:

$$M_2' = M_2 + Q S$$

$$F_2' = D + M_2'$$

$$F_2 = F_2' + C2S$$

$$H_2 = Rc - W_2 C_2$$

$$h_2 = H_2 - F_2$$

$$d_2 = h_2 / 1 + S$$

T_1

$$L_1 = Q + d_1 + C_1$$

T_2

$$L_2 = Q + d_2 + C_2$$

$$L = 2Q + d_1 + d_2 + C_1 + C_2$$

Si se tiene curva W , se cambia por S y será positivo del lado que queda arriba del eje.

Debido al espesor del tubo a la losa se hace una corrección que está en función de la pendiente (S) de la plantilla.

$$S = \frac{A}{\emptyset + d} \quad ; \quad A = S(\emptyset + d)$$

S = Pendiente de la plantilla.

\emptyset = Diámetro del tubo.

d = Espesor del tubo.

b.- Obra esviada.

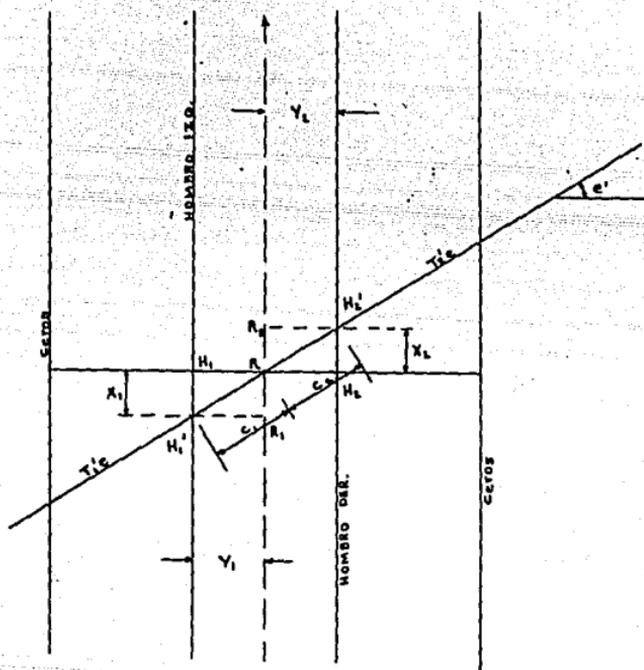


Figura 4.5 . Elementos necesarios para el cálculo de la longitud de alcantarillas esviadas.

Para obras esviadas se sigue la misma secuela que para los normales, sustituyendo los siguientes términos.

a. Talud esviado.

$$T_e = \frac{T_n}{\cos e - K} \quad ; \quad K = T_n P \operatorname{sen} e$$

Donde:

T_e = Talud esviado

P = Pendiente longitud del camino

e = Esviaje

K = Conserva el mismo signo de

la pendiente del lado que

tiene el nombre del esviaje.

Corona y cota de hombros esviados.

$$X_1 = Y_1 \operatorname{Tan} e$$

$$X_2 = Y_2 \operatorname{Tan} e$$

$$C_1 = \frac{Y_1}{\cos e}$$

$$C_2 = \frac{Y_2}{\cos e}$$

$$R_1 = R - P X_1$$

$$R_2 = R - P X_2$$

$$H'_1 = R_1 - W_1 Y_1$$

$$H'_2 = R_2 - W_2 Y_2$$

Para contener el material de los taludes del tarraplén de tal forma que al derramarse no obstruyan la obra, a la entrada y salida de ella se construyen muros de contención, que también sirven para encauzar el agua a la entrada y salida.

Para el dimensionamiento estructural, se realizan los cálculos correspondientes tomando en cuenta el vehículo de proyecto, la SCT ha publicado diferentes instructivos de proyecto, tomando como vehículo de proyecto los H 15- 512 ó H 20 - 516 . Estos proyectos tipos se adaptan al caso específico que se quieran aplicar.

4.4 Puentes.

Se denomina puente a la estructura de drenaje transversal que posee un claro mayor de 6.0 m. y que permite el paso de una corriente de agua a través del camino. Por sus dimensiones se les denomina obras de drenaje mayor.

De acuerdo a sus dimensiones los puentes son generalmente de concreto reforzado y su proyecto sigue una secuela parecida a las alcantarillas.

- a.- Se necesita la ubicación de cruce y elevación de la rasante.
- b.- Cálculo del área hidráulica.
- c.- Elección del tipo de obra.
- d.- Cálculo dimensional y estructural .
- e.- Funcionamiento del drenaje en ese tramo.

4.4.1 Cálculo del área hidráulica de un puente .- El cálculo del área hidráulica para puentes, por lo general se lleva a cabo

por medio del método de sección y pendiente y aplicando la fórmula de Manning. Este método es aplicable cuando se tienen arroyos con cauces definidos y en que puedan encontrarse huellas dejadas por la corriente en las crecientes. Es necesario conocer las dimensiones de las secciones de escurrimiento y la pendiente del cauce, así como su coeficiente de rugosidad.

Los estudios, requieren conocer el gasto máximo que pasará bajo el puente, según el período de retorno que generalmente es de 25 a 50 años, la velocidad del agua y el mayor nivel que alcanzará debido al remanso que producirá el estrechamiento de la sección hidráulica por la presencia del puente, nivel que no deberá ser mayor de 0.40 m. del que se tiene antes de la construcción.

El gasto máximo se calcula con:

$$Q = A V$$

Q = Gasto en m^3 /seg.

V = Velocidad de la corriente en m/seg.

A = Sección hidráulica en m^2 .

Los estudios generalmente se realizan en tres secciones una en el sitio de cruce, otra aguas arriba y la tercera aguas abajo, a distancias de 300 a 500 metros entre ellas.

El área de cada sección transversal se puede obtener con

algún procedimiento topográfico y utilizando planímetro.

Para obtener la velocidad se puede utilizar algún método directo como molinetes o flotadores o algún indirecto como el de sección pendiente.

El gasto final será el promedio de los tres gastos en cada sección.

Al construir el puente el área hidráulica se reducirá en virtud del área ocupada por diferentes partes de la obra, por lo que se requerirá calcular la velocidad debajo del puente y calcular la sobreelevación del tirante inmediatamente aguas arriba el cual se realiza con el segundo teorema de Bernoulli .

$$h_2 - h_1 = \text{Sobreelevación} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}$$

Esta sobreelevación no deberá ser mayor de 40 cm. para el buen funcionamiento del puente, si es mayor a lo permisible deberá modificarse el proyecto.

Deberá estudiarse muy cuidadosamente la socavación en el puente ya que ello traería problemas muy importantes como pueden ser la falla en las pilas o cimentación.

Por lo tanto el estudio de la cimentación del puente deberá estar respaldada por un estudio de mecánicas de suelos.

4.4.2 Diseño estructural del puente.- El proyecto estructural del puente debe iniciarse planteando las diversas soluciones que es viable usar en ese cruce, con el fin de obtener el costo de cada solución en forma aproximada, para elegir aquella que presente las mayores ventajas.

Una vez definida el tipo de estructura, se procede al proyecto estructural de sus elementos, de acuerdo con las técnicas de estática y resistencia de materiales considerando las cargas que actuarán en el puente, su impacto, el posible empuje del viento y los esfuerzos que resultan de la aceleración sísmica.

4.5 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 residuo de antiguos lagos u agua procedente de vapores arrojados por actividad volcánica. Esta agua 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 al 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 de 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.

4.5.1 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 1.5 m., llegando en algunas ocasiones a 4.0 m., en el fondo sobre una plantilla de concreto pobre, se coloca un tubo de concreto perforado por su parte inferior y relleno 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 mas 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.

- 4.5.2 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 impida 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 del 5 a 20%, antes de la introducción se hace una perforación de 10 cm.; la longitud de estos tubos debe ser tal que curce las probables superficies de falla, la intensidad del problema nos indicará la colocación de más tubos que pueden ser 1, 2, ó 3 hileras cuya distancia adyacente varia entre 2 y 5m.; el agua captada por el drenaje descargará a una cuneta o algún obra especial para ello como puede ser un tubo vitrificado de concreto o plástico.

El M. I. I. C. Gabriel Moreno Pecero, ha experimentado con este tipo de subdrenaje y recomienda que para hacer mas económico se inyecte arena a presión en lugar de introducir el tubo de acero, también se pueden utilizar otates, bambúes o guaduas huecos perforadas lateralmente y rellenas con arena.

El gasto que captará cada subdrenaje depende de la permeabilidad de las formaciones atravesadas y en ciertos casos del hecho fortuito de que se capturen venas acuíferas o manantiales.

Actualmente se están incorporando para resolver problemas específicos, pozos de alivio y galerías filtrantes.

Las galerías filtrantes son túneles de sección adecuada, localizadas en la parte que se considere más eficiente para captar el agua perjudicial para la estabilidad del talud.

Los pozos de alivio.- Son perforaciones verticales del orden de 60 cm. de diámetro, dentro de los cuales se coloca un tubo perforado de 15 cm. de diámetro, el espacio entre el tubo y las paredes de la perforación se rellena con material filtrante, se colocan en zonas donde se capte el flujo perjudicial, su profundidad varía, se han llegado a construir hasta de 20 metros.

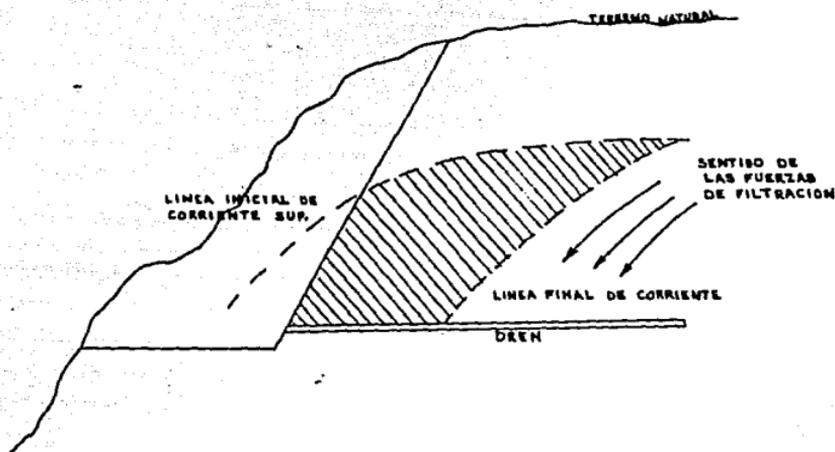


FIG. 4.6 FORMA DE CAPTACION DE UN DREN TRANSVERSAL DE TALUD.

4.6 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. , estos 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 le 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 constructivos.

CAPITULO - 5

METODO TRADICIONAL Y FOTOGRAMETRICO PARA PROYECTO DEFINITIVO.

5.1 Antecedente. Estudio de ruta.

Una vez determinada la necesidad de construir un camino, se realiza un estudio socioeconómico de la zona de influencia del camino por proyectar; cuando hay justificación económica de la inversión, se inicia el proyecto con un estudio de las rutas posibles que puede seguir el camino, para satisfacer el objetivo deseado.

Se marcan sobre cartas topográficas las rutas posibles, indicándose también la ruta más conveniente para sobrevolar la zona en avioneta y delimitar la faja de terreno que deberá fotografiarse.

Este primer reconocimiento lo efectúan tres expertos, uno en planeación, otro en geotécnica y otro en localización.

Se toman fotografías aéreas desde la avioneta, desde una altura de aproximadamente 7 600 m. para producir una escala en las fotografías de 1 : 50 000 . De las fotografías tomadas se colocan las diapositivas sobre la mesa de Balplex; la cual proyectará las fotografías a una escala cinco veces mayor, pudiéndose estudiar sobre éstas proyecciones estereoscópicas varias alternativas de rutas; con éstas

mismas fotografías se formará un mosaico sobre el cual se marcarán las rutas estudiadas en el Balplex.

Al mismo tiempo se realiza la interpretación fotogeológica de la faja fotografiada delimitando unidades geomórficas, identificación de rocas, suelos, tipo de drenaje, zonas apropiadas para cruces de ríos etc.

Un segundo reconocimiento se realiza en helicoptero y sirve para verificar lo observado en las fotografías aéreas y mosaicos fotogeológicos; realizado este segundo reconocimiento se elaboró un antepresupuesto aproximado de cada ruta, para elegir de ellas la mas conveniente .

Definida la ruta más apropiada que seguirá estudiándose con detalle se elabora un larguillo topográfico de planta con la ruta marcada a escala 1 : 10 000 y el perfil deducido a Escala 1 : 10 000, 500 ; este larguillo topográfico es la base para continuar el estudio del camino sobre esta ruta. Además del larguillo y perfil deducido se cuenta con el estudio general de la geología de la ruta, marcada sobre los mosaicos fotogeológicos .

5.2 Métodos empleados para la determinación del proyecto definitivo.

Para realizar el proyecto definitivo se requiere tener la topografía detallada de la zona en la cual quedará alojado el camino.

Esta topografía se obtiene a través de levantamientos a lo largo de

la ruta; estos levantamientos se pueden realizar a través de los métodos tradicionales terrestres o empleando las ventajas que proporciona la fotogrametría y las computadoras electrónicas.

Para la elección de ruta, actualmente se siguen los pasos descritos anteriormente para delimitar la ruta a seguir por el camino; en la etapa preliminar y definitiva deberá estudiarse cual de los dos métodos tradicional o fotogramétrico, deberá emplearse para obtener el eje definitivo del camino.

5.3 Selección del método a seguir para el levantamiento topográfico.

La elección del método o procedimiento mas conveniente para obtener la topografía a lo largo de la ruta, sigue criterios muy amplios que influyen en forma importante en el proyecto del camino.

En la practica se han encontrado cuatro factores que determinan de manera general, el procedimiento a seguir para el levantamiento topográfico estos son: La vegetación, la configuración topográfica, el plazo de ejecución y la accesibilidad de la zona.

- a) Vegetación.- La precisión en el procedimiento fotogramétrico dependerá de la altura, densidad y tipo de vegetación. La altura máxima de una vegetación densa para el empleo directo del procedimiento fotogramétrico, sin ninguna corrección es de 0.10 m cuando la altura de vegetación esta comprendida entre 0.10 m. y 1.00 m. deberá obtenerse la densidad y altura media, realizando

un recorrido directo sobre la zona a fin de aplicarlos a manera de corrección al efectuar la restitución de las fotografías.

Quando la altura de vegetación es mayor a lo antes indicado, el empleo del procedimiento fotogramétrico dependerá de la densidad. La tabla siguiente presenta a manera de guía los parámetros recomendados para determinar si es posible el empleo del método fotogramétrico.

Promedio altura de vegetación. (m)	Promedio Diametro de follaje. (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

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

Quando las áreas de vegetación densa son aisladas y representa menos del 50% de la longitud de proyecto, podrá utilizarse la

combinación de procedimientos.

- b)_ Configuración topográfica.- La influencia de la topografía en la elección del procedimiento es decisiva.

La configuración 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 terrestre 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 terrestre es el más conveniente y para una longitud de camino mayor 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, por ejemplo por las condiciones atmosféricas desfavorables, generalmente conviene usar el procedimiento terrestre.

- d) Accesibilidad a 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 ó por el tiempo empleado en movilizar tanto personal como elementos de trabajo.

5.4 Método tradicional terrestre.

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

5.4.1. Proyecto preliminar por método tradicional.- La etapa de proyecto preliminar se efectúa en campo y consiste en un levantamiento topográfico de la ruta aprobada en la etapa anterior. Para efectuar el trabajo se envía a una brigada de preliminar, la cual lleva como datos el larguillo topográfico en planta con la ruta marcada a una Esc. 1 : 10 000 y el perfil deducido obtenidos ambos a través de las fotografías aéreas tomadas en la primera etapa.

La brigada obtendrá la topografía de la ruta apoyándose en una poligonal trazada en el terreno, la cual quedará perfectamente referenciada para su localización posterior.

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

Personal de una brigada de preliminar:

Personal Técnico.

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

Personal auxiliar:

- 1 Médico.
- 1 Proveedor.

Personal obrero (sección del trazo)

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

Sección de nivelación:

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

Sección de topografía (por cada una)

- 2 Cadeneros.
- 2 Baliceros.
- 4 Brecheros.

Personal de servicio:

- 2 Cocineros.
- 2 Ayudantes de cocinero.
- 1 Mozo
- 1 Carpero.
- 2 Leñeros.
- 1 Caballerango.
- 1 Ayudante de caballerango.

Personal de correo.

- 1 Correo (peón especializado)
- 1 Arriero.
- 1 Peón.

Labor de la brigada preliminar.

. 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

topográfico , en el cual se encuentra marcada la ruta; se adelanta para marcar los puntos por donde deberá pasar la línea preliminar, se lleva a uno ó dos peones para abrir una brecha .

Aparte del trabajo de campo, proporciona información al dibujante y colabora en el trazo definitivo.

El trazador deberá seguir los puntos dejados en el terreno por el jefe de la brigada, hace la alineación con tránsito de las tangentes, observa sus rumbos y coloca estacas a cada 20 m. fija trompos en los cruces de los ejes de arroyos, caminos, ferrocarriles, puertos, etc.

Lleva a su cargo el registro de la línea levantada, mide los ángulos horizontales entre cada tangente, elabora un croquis de la zona, ubicando el sitio de la poligonal con objetos fijos en el terreno.

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

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 aparatos necesarios, como nivel fijo y de mano, estatal, cinta, etc.

Para obtener el perfil longitudinal de la línea marcada por el trazador, toma 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 usa en la nivelación principal y el nivel de mano lo utiliza en aquellos lugares poco accesibles como barrancos y arroyos, esto reduce el cambio numeroso de instrumentos que entorpecen el avance y disminuyen la precisión.

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.

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 o clisimetro, estatal y cinta.

Antes de comenzar su trabajo revisan el perfil de la línea

para tomar en cuenta, la distancia hacia cada lado del eje requerida para configurar y obtener la faja de terreno necesaria. Esta distancia se conoce aproximadamente con el perfil del terreno y la sección transversal de construcción requerida.

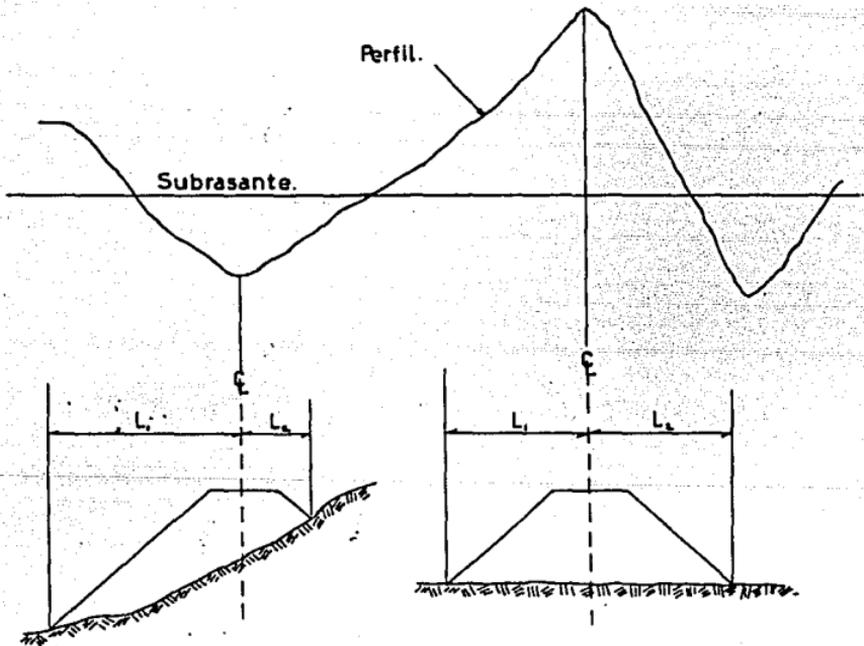


FIG.5.1 SECCIONES POR CONFIGURAR A CADA LADO DEL EJE.

Además de lo expuesto anteriormente, el criterio del topógrafo, la escala y finalidad del dibujo influyen también en la determinación del ancho del terreno por configurar ; generalmente el ancho de configuración varía de 200 m a 300 m.

Teniendo el ancho de 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 inmediato, ordena enseguida que le vayan alejando el estadal, según la dirección de la sección, hasta observar la lectura calculada, mide la distancia que se alejo el estadal anota y se coloca en el lugar donde se quedo el estadal de cota ya conocida cerrada y procede en igual forma a buscar el siguiente punto, de aqui en adelante sus lecturas serán constantes para localizar las siguientes cotas cerradas, el procedimiento sigue hasta cubrir la distancia requerida, diariamente se dibujarán sobre un papel grueso, las secciones transversales configuradas; se colocarán los puntos de cota conocida alrededor de la línea en planta, después se unirán puntos de igual cota a través de una línea; con esto obtendremos las curvas de nivel de la faja de terreno configurada.

Datos obtenidos del estudio preliminar:

Al finalizar el trabajo de campo se cuenta ya con un plano en proyección horizontal, en el cual contiene los datos obtenidos del levantamiento como son: La línea preliminar o poligonal de apoyo perfectamente situada y referenciada, con curvas de nivelación obtenidas a través de las secciones transversales dibujadas a lápiz. Este plano se obtiene a una escala aproximada 1 : 2000 y servirá para estudiar y marcar el eje definitivo que seguirá el camino; se tiene también el perfil longitudinal de la poligonal que sirvió de apoyo para la configuración con una escala de 1 : 2000 horizontal y 1 : 200 vertical.

- 5.4.2 Obtención de proyecto definitivo.- El eje definitivo del camino, se obtiene en gabinete sobre los planos de preliminar. Con el método del compás se busca la línea que con la pendiente especificada recorra la ruta marcada en la etapa preliminar; apegándose lo más que se pueda a esta línea llamada " a pelo de tierra " , se trazan las tangentes y curvas horizontales requeridas para cumplir con las especificaciones de proyecto, como velocidad máxima, grado de curvatura, distancia de visibilidad, pendiente máxima, etc. .

Marcado el trazo definitivo en los planos de preliminar se

envía una brigada de localización , que es la misma brigada de preliminar a trazar esta línea definitiva y realizar las correcciones pertinentes en el campo.

La línea proyectada esta constituida por una serie de tangentes y curvas horizontales; esta es la diferencia esencial entre la línea preliminar, que es un trazo con que - bres que sirve para tomar la topografía de la zona y la línea definitiva que nos marca ya el eje del camino.

Para trazar la línea definitiva en el terreno, se toman los datos necesarios para su localización ; estos datos son " ligas " que se miden en el dibujo entre la preliminar y el eje definitivo. Las ligas son ángulos y distancias que nos marcan puntos de unión de la línea definitiva con la preliminar, además se lleva un registro con los datos de las curvas horizontales para su trazo.

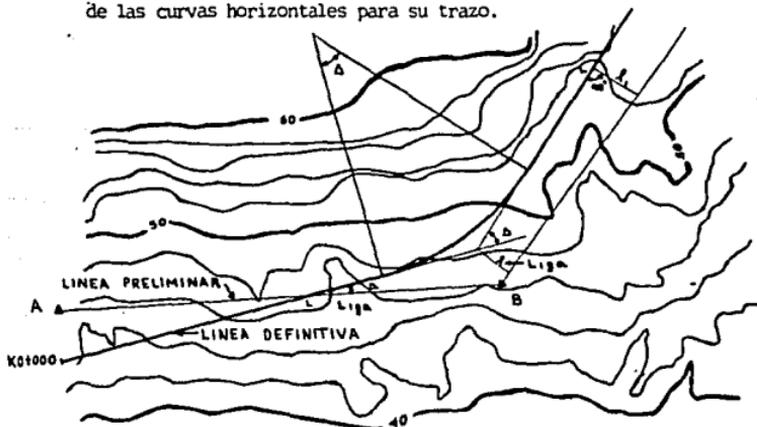


FIG.5.2 LIGAS TOMADAS PARA TRAZO DE LA LINEA DEFINITIVA.

Labores en el trazo del eje definitivo.

Trazo:

El ingeniero jefe de la brigada dirige el trazo en el terreno de la línea definitiva, para ello toma del plano gráficamente sus coordenadas, rumbos y distancias de cada tangente con respecto a la poligonal de referencia (puntos liga) así como deflexiones en los P.I. ; con estos datos realiza un listado para que el trazador pueda localizar la línea sin dificultad.

El ingeniero trazador replantea en el terreno las tangentes y curvas, para ello toma del listado el punto de partida de la línea conocido por sus coordenadas y rumbo con respecto a la poligonal de referencia; conocida la distancia al P.I. trazará la tangente de entrada colocando estacas a cada 20 metros; con los P.I. conocidos y por el método de deflexiones se continuará trazando las demás tangentes, pudiéndose trazar al mismo tiempo las curvas; sin embargo se ahorra tiempo si un trazador traza las tangentes y otro traza las curvas.

Para el trazo de las curvas se lleva un registro con los datos necesarios para su replanteo.

visual al P I. Como estos angulos de deflexiones son la mitad de los angulos centrales, para ir marcando cada curva que es abarcada por (g), desde el centro, las deflexiones iran variando (g/2).

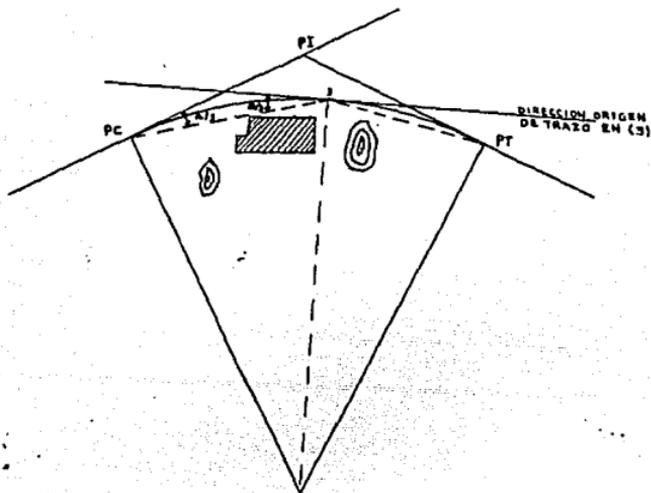
Se coloca el tránsito viendo al PI , las deflexiones que habrá que ir marcando son g/2, g , 1½g , 2g . . . hasta llegar a ver el P.T. Para mayor exactitud en el trazo , se recomienda medir la mitad de la curva desde el P.C y la otra mitad desde P.T., para disminuir errores acumulativos.

Si el P.C. no cae en un cadenamiento cerrado, la primer cuerda que debe marcarse, será lo que le falte al cadenamiento que le toque al P.C. para llegar a la siguiente estación cerrada, para lo cual se necesita conocer la deflexión por metro.

$$d = \frac{\Delta/2}{LC} \quad \text{Deflexión por metro. .}$$

Cuando por algun obstáculo no se puede ver toda la curva desde PC ó PT para trazarla, habrá que hacer estaciones de trazo intermedias. Se traslada el aparato al último punto marcado, se ve hacia atrás el punto - estación de trazo anterior, se gira el aparato el mismo ángulo que se

marco en la estación anterior para fijar el nuevo punto - estación de trazo; se da vuelta de campana con esto la línea de colimación queda tangente a la curva en ese punto, a partir de esta dirección se sigue el trazo en igual forma que el punto anterior.



Sobre las curvas trazadas colocará estacas a cada 20, 10 ó 5 m. , de acuerdo con sus grados, por ésta se llevará el cadenamiento del camino.

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 la poligonal de referencia y a puntos fijos del terreno como mojoneeras o rocas fijas — midiéndose sus ángulos y distancias, como esta línea definitiva es abierta su trazo deberá comprobarse cada vez que sea fácil liga con un vértice de la preliminar o a cada 5 kilómetros en terreno llano o de lomerío y cada 2 kilómetros en terreno montañoso, checando rumbos y distancias con los vértices o lados de la preliminar de topografía, lo cual debe cerrar en un punto de intersección del trazo definitivo con un lado de la preliminar o con un vértice .

La tolerancia angular deberá ser.

$$T = \sqrt{N} \quad T \text{ en minutos.}$$

N = Número de vértices en donde se hayan medido ángulos sobre el trazo definitivo desde el origen al punto en cuestión.

La tolerancia en distancia es 1 : 2 000 en terreno montañoso y de 1 : 8 000 en terreno plano.

Si la diferencia de abcisas calculadas para un mismo punto por la preliminar y por el trazo definitivo es dx y la de ordenadas es dy y si la diferencia de abcisas entre el punto inicial de trazo y el final del trazo por comprobar es $dif X$ y la de las ordenadas es $dif. y$ entonces la tolerancia aceptada no deberá ser mayor que :

$$\frac{I = \text{dif. de coordenadas del trazo.}}{T \quad \text{dif. de coordenadas de los puntos extremos.}}$$

T es la tolerancia indicada arriba .

La diferencia de coordenadas del trazo es la distancia en línea recta entre el punto de origen y el punto cierre, calculada por la diferencia de coordenadas de ambos puntos.

La diferencia de coordenadas de los puntos extremos es el error de cierre o sea la distancia resultante de la diferencia de coordenadas encontradas para el mismo punto de cierre calculada por una parte a través de la preliminar y otra a través del trazo definitivo.

Si el cierre angular como el de distancias quedan dentro de la tolerancia, el trabajo se da por bueno y se prosigue el trazo, si no sucede deberán revisarse otra vez los angulos o las distancias hasta quedar dentro de la tolerancia.

Al efectuarse el cierre la diferencia de coordenadas deberá corregirse en la preliminar y no en el trazo definitivo, repartiendo las diferencias encontradas en las abscisas y ordenadas con el signo correspondiente entre los distintos lados de la preliminar segun sus proyecciones x e y .

Una vez trazados los primeros cinco a 10 kilómetros de proyecto, se solicitaran los datos de estudios geotécnicos correspondientes al tramo para completar el proyecto y asegurar que la línea trazada no tendrá problemas posteriores o que los que se tengan sean de fácil solución.

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 la liga cuya cota se tomará al milímetro y colocando bancos de nivel a cada 500 metros con cota aproximada al milímetro, comprobandola regresando con otro puntos de la liga a cerrar con el origen del tramo. La tolerancia para la nivelación será 5 mm/ Km .

En gabinete se dibuja el perfil de la línea así obtenida,

checando 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 : 200 vertical y 1 : 2 000 horizontal 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. Realizado esto se determinan los espesores de corte o terraplén correspondiente.

Secciones transversales para construcción.

Simultáneamente a la nivelación o poco después de ésta, 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 fijo o de mano; la distancia a cada lado del eje se toma en base a la sección de construcción y el perfil deducido de la línea de anteproyecto con su subrasante.

Las secciones se dibujarán en papel milimétrico a escala 1 :100 tanto horizontal como vertical, todas ellas formando una columna marcando en cada una el número de estación.

Los espesores calculados en el perfil se pasan al dibujo de las secciones para que con esta base y las especificaciones del camino se dibuje la sección de proyectos.

Curva masa.

El cálculo de áreas volúmenes y ordenadas de curva masa puede efectuarse por dos procedimientos: El manual en el gabinete de la propia brigada o el electrónico.

Procedimiento manual.- Dibujadas las secciones de proyecto se midan 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 ; a cada volumen obtenido se le aplica el coeficiente de variabilidad volumétrica correspondiente y se obtendrá finalmente las ordenadas de la curva masa.

Procedimiento electrónico .- Con este procedimiento se ahorra trabajo a la brigada ; la brigada se limita a enviar en tramos de 5 kilómetros los datos de las secciones del

terreno vaciadas en formas L. 280 figura 5.5, con los datos del suelo como coeficiente de variabilidad, su clasificación; taludes recomendables, datos del alineamiento horizontal y vertical vaciados en formas L. 279 y L. 276 figura 5.7 y 5.8. La planta topográfica y perfil definido indicando la subrasante de proyecto. Con todos estos datos se procesan en computadora y de los resultados obtenidos se dibuja el diagrama de curvas masa para realizar el estudio de las compensadoras mas convenientes.

Estudio de drenaje.

En la etapa de elección de ruta, el drenaje fue tomado en cuenta en forma general junto con las características topográficas y del suelo definieron la ruta más conveniente que cumpliera los requisitos de planeación.

En la etapa preliminar se tomó en cuenta el número de obras pero sin llegar a dimensionarlas.

En la etapa definitiva el eje de las obras se estudia en los planos a escala 1 : 2 000 , en planta y perfil fijandose directamente en el campo; si se tiene duda al tratar de fijarlos, se procederá a realizar un levantamiento topográfico de detalle a escala 1: 5 000, para proyectar sobre este varias alternativas de cruce de las cuales se eligirá la más conveniente.

En el campo se fijará el eje de la obra; se medirá su ángulo de esviaje; fijará la estación de cruce; se nivelará el eje trazado a cada 10 metros, marcando los fondos de arroyos; se realizará un croquis detallado de la zona de cruce de cada obra, indicando posición del eje trazado. El registro del trazo, de la nivelación y el perfil dibujado a escala 1 : 100 , servirán para el proyecto de la obra.

Con estos datos se realizará la revisión de las áreas drenadas en planta , de los coeficientes de escurrimiento, el esviajamiento y la pendiente del eje trazado. Sobre el perfil del eje de la obra se proyecta la plantilla de la misma.

El tipo de obra más adecuada y económica, se escoge de acuerdo con el área hidráulica necesaria, de la pendiente de la plantilla, la altura del terraplén y forma de la sección del cauce. Definidos el tipo de obra, el ángulo de cruce y su ubicación se procede a deducir la sección del camino correspondiente al eje de la obra; teniendo la sección a lo largo de la obra se procede a calcular los elementos que definirán las obra tales como dimensiones de tubos, longitud del cuerpo , aleros , elementos constructivos de estribos, losas, etc.

Los datos finales de dimensionamiento de cada obra son vacía dos en formas de proyecto constructivo .

Para las obras de drenaje mayor, al estudiarse la zona de cruce de cada obra se programan levantamientos topohidráulicos y sondeos para definir el perfil geológico en los cruces.

Los levantamientos topográficos se realizan por procedimientos terrestres y sirven para obtener detalles de la configuración en la zona de cruce, los planos obtenidos se realizan a escala 1 : 500 con curvas de nivel a cada 0.50 metros.

Los estudios hidráulicos tienen por objeto determinar el gas to de cada corriente en crecientes máximas extraordinarias.

Realizado esto se procede a realizar el dimensionamiento de la obra como se indica en el capítulo de drenaje.

Planos definitivos.

- Planta .- Se presenta en papel transparente resistente en tramos de 5 kilómetros del trazo definitivo; conteniendo el trazo del camino con su kilometraje, la figura ción topográfica de la zona, conteniendo ésta a unos 200 metros antes y después del inicio y final del trazo; se tendrán marcados los puntos de los vértices de la poli gonal de referencia con su número y elevación; se dibujarán casas, cercas o caminos cercanos ; se especificará

las coordenadas de la poligonal y de algunos puntos del trazo; se indicará con flecha el norte astronómico y magnético.

- Perfil .- Se dibuja en papel o tela milimétrica a escala 1 : 200 vertical ó 1 : 100 y 1 : 2 000 horizontal, dibujando también 200 metros antes y después de los límites; en la parte superior se marcarán los puntos característicos del alineamiento horizontal (cadenamiento de los puntos, datos de las curvas, rumbo astronómico, etc.) sobre el perfil se marca el P I V , P C V y P T V de las curvas verticales; se dibuja el diagrama de curva masa a escala vertical conveniente, para que deje claro el perfil y las compensadoras ; se anotan los enunciados de los movimientos de tierra; se indica la ubicación y tipo de obras de drenaje ; en la parte inferior se colocan cada estación de 20 metros , cotas del terreno , de la subrasante, el espesor de corte o terraplén, ordenadas de la curva masa, clasificación del suelo, coeficientes de variación volumétrica ; contendrá nombres de poblaciones, caminos, arroyos, puertos, etc. y el procedimiento constructivo del camino.

- Plano de secciones de construcción.- Dibujadas en papel milimétrico de 75 cm, de ancho , entintadas las secciones definitivas; se anota en ellas el área

de cada estrato; la de cada terraplén según su grado de compactación; la de los despalmes ; la de las cajas; indicando en los terraplenes la cuña lateral de material excedente que sirva para poder compactar bien el cuerpo.

5.5 Método fotogramétrico.

El método fotogramétrico 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 y siguen la secuencia descrita anteriormente para obtener la ruta más conveniente que seguirá estudiándose con más detalle.

5.5.1 Proyecto preliminar.- Es la etapa de proyecto que tiene como finalidad obtener la mejor línea de anteproyecto y se realiza bajo los siguientes conceptos :

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

Apoyo terrestre.

El apoyo terrestre son puntos sobre el terreno previamente seleccionados en los cuales se conoce su posición y elevación y que servirán para realiccionar cuantitativamente el terreno con sus imágenes fotográficas; es indispensable para poder efectuar en equipo balplex o autógrafo, aerotriangulaciones que permitan obtener el control terrestre necesario para estudiar aisladamente cada modelo estereoscópicamente; orientarlo en elevación y planta.

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

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.

Anteproyecto en balplex o autografo.

Con las fotografías tomadas a escala 1 : 25 000 y en el equipo balplex o autografo A - 8 se obtiene la restitución y maqueta estereoscopica 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 marcará en las fotografías a escala 1: 25 000 .

Para simplificar las etapas posteriores del proyecto, se necesitará afinar esta línea de anteproyecto; para poder afinarla se tiene 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 con - tinuar por fotogrametría , se traza una poligonal de apoyo en el terreno; esta poligonal deberá contener alternativamente a sus lados, los vértices de un apoyo terrestre para poder _ ligarlos 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 tener 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.

Restitución de planos para proyecto definitivo.

La restitución se realiza por medio del autógrafa A - 8 generalmente a escala 1: 2 000 o 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 obtiene 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.

5.5.2 Proyecto definitivo. - Datos previos para proyecto definitivo:

Se requiere contar con los datos de tránsito que incluyen 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 fluviales , puertos, etc.
- 2.- Juego de plantas a escala 1 : 2 000 con 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 los estudios geotécnicos elaborados.

Con estos datos el proyectista acompañado por un geólogo un especialista en suelos y otro en cruces, 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.

Matematización.

Una vez revisada y corregida la línea, se anotarán en una forma las especificaciones correspondientes a la parte del camino que se va a procesar, comprendiendo número de tarjeta; velocidad de proyecto de cada uno de los tramos; ancho de carpeta aprobada; grado máximo para la velocidad de proyecto; grado mínimo y sobreelevación máxima.

Llenadas las formas se envían a perforación y posteriormente a procesamiento los resultados son presentados según la figura 5.4, conteniendo 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, etc. y sus coordenadas.
- 2.- Todos los elementos importantes de cada curva, como son: su deflexión Δ ; grados de curvatura; longitudes de las espirales y de la curva circular l_c ; ángulos de deflexiones Θ_e de las espirales y Δ_c de las curvas circulares; longitud T_e de las subtangentes; el radio R de las curvas circulares; los valores x_e y y_e , de las coordenadas del E_c , el valor de P y el K y las coordenadas del centro de la curva circular. También se dan longitud de las tangentes y rumbos astronómicos.

***** ESPECIFICACIONES DEL TRAMO 2075 *****

VELOCIDAD = 70 KPH
CARPETA = 5.50 M.
GRADO MAX. = 8.000
SOBR. 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+183.28	104024.98	150990.64
80+366.56	104012.46	150807.79

R.A.C. = S 3 55W TANG = 549.82 H.

PI = 80+606.91
DT = 11 23 IZQ
G = 2 00
R = 572.96 M.
ST = 57.10 M.
LC = 113.83 M.

PC 80+533.81
PT 80+549.81
80+663.64
80+679.64

COORDS. CENTRO
XD = 104571.56
YO = 150585.83

COORDENADAS DE
LOS PUNTOS ADICIONALES.

ESTACION	ABSCISA	ORDENADA
80+783.36	104019.28	150390.69
80+907.08	104035.10	150270.00

FIG.5.4

Nivelación y seccionamiento.

Una vez teniendo los resultados de la matematización se dibujan los planos a lápiz en papel indeformable por temperatura o humedad, a escala 1 : 1 000, por ser ésta la misma escala de vuelo bajo.

Sobre los mismos planos se fijan por sus coordenadas los puntos de control de apoyo terrestre; la orientación de las placas en el aparato se hace basándose en estos puntos de apoyo, en los de nivel y la orientación del modelo, o sea la correspondencia del plano con las fotografías se efectúa haciendo coincidir los puntos de apoyo de ambos.

Para realizar la nivelación y seccionamiento de la línea se requiere que el aparato restituidor esté dotado de un aditamento especial llamado perfilómetro, el cual proyectará la imagen 8 veces del punto del plano en que se coloca, permitiendo obtener las coordenadas del punto en el cual se sitúa el punto flotante.

Se coloca el perfilómetro en la primera estación de 20 metros en la cual se desea conocer su desnivel, inmediatamente se recorre la sección deteniéndose en cada quiebre del terreno, obteniéndose sus 3 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 el perfil

detallado del eje, así como su seccionamiento en cada estación
figura 5.3

Todos los datos son registrados en tarjetas perforadas, una por cada punto, al ser procesados se obtiene un listado con los siguientes datos; cadenamiento de la estación, cota del terreno en el eje de trazo, desniveles en cada punto obtenido de la sección transversal y sus distancias al eje. Realizado esto se procede a dibujar el perfil de la línea con la subrasante proyectada.

Curva masa.

Con los datos geotécnicos sobre el suelo como coeficientes de variabilidad volumétrica; clasificación; taludes propuestos así como los datos del alineamiento horizontal, vertical, planta topográfica y perfil se envían en formas especiales a perforar y procesar en la computadora la cual dará como resultado un listado con los volúmenes y ordenadas de la curva masa; inmediatamente se dibuja esta y se procede a su interpretación racional para realizar un primer estudio del monto de las terracerías, en este primer intento siempre se encuentran lugares o tramos donde convenga modificar la subrasante o el alineamiento horizontal.

Solo después de un segundo o tercer estudio se puede llegar a resultados satisfactorios.

S.O.P.

DIR. GRAL. DE PROYECTOS DE VIAS TERRESTRES
DEPTO. TECNICO
OFICINA DE PROGRAMACION

DATOS GENERALES PARA PROYECTO
DE SECCIONES DE CONSTRUCCION Y
CALCULO DE CURVAMASA
(CAMINOS)

1 2 3 4 5
NO. TRABAJO

ORDENADA CURVAMASA INICIAL	ESPESOR REVEST.	IZQUIERDA		DERECHA	
		SENCIDORONA EN TANGENTE	ANCHO DE CURETA	SENCIDORONA EN TANGENTE	ANCHO DE CURETA
20	25 26	30 36	41 44	46 49	52 55 57

6 7
7 6

CAMINO	18	39
TRAMO	41	62
ORIGEN	64	78

DATOS PARA COMPENSACION DE CURVAMASA

L M	KILOMETRAJES				P C
	INICIAL		FINAL		
5	10	17	18	25	30

FIG. 5B

DATOS DE ALINEAMIENTO VERTICAL

CADENAMIENTO DEL PIV	ELEVACION DEL PIV	LONGITUD DE CURVA VERT.	No. DE RENO.
10	17 20	25 28	33 77 79
			1
			2
			3
			4
			5
			6
			7
			8
			9
			10
			11
			12
			13
			14
			15
			16
			17
			18
			19
			20

6 7
7 8

DATOS PARA PROYECTO DE TERRAPLENES

L M	KILOMETRAJES				ANCHO CURVAS AFIRAN	ESPESOR CAPA PIROS	TALUDES		ANCHO DE PRO- TECCION LATERAL	ALTURA DE SURBANTE ALA BERMA O QUIEBRE
	INICIAL		FINAL				TT1	TTE		
5	10	17	18	25	28	30 33	35 39	41 44	46 50	52 55 57 60 63

6 7
7 7

Estudio del drenaje.

En la etapa de selección de ruta, el drenaje fue tomado en cuenta en forma general, pesando sus características con las topograficas, de suelos etc. para llegar a obtener las rutas mas convenientes que cumplieran los requisitos de planeación

En la etapa preliminar; ya fue tomado en cuenta el número de obras pero sin llegar a dimensionarse (la elección del tipo fue aproximada de acuerdo a las características del terreno).

En la etapa de proyecto definitivo tomando como base las foto interpretaciones hidrologicas efectuadas en las diferentes etapas; los planos a escala 1 : 5 000 y 1 : 2 000 de ante proyecto y el perfil de este último, se estudia con detalle el drenaje del camino con el procedimiento siguiente:

En un aparato de proyección se estudia la zona (escala 1 : 2 000) particular de cada obra para proyectar el eje de cada una de ellas, obteniéndose el perfil del fondo del cauce esto se realiza aprovechando el tiempo en que un par fotográfico esta colocado en el aparato para efectuar su seccionamiento. Cuando exista alguna duda sobre la ubicación del eje de la obra, deberá obtenerse una restitución detallada del cruce a escala horizontal 1 : 500 con curvas de nivel a cada 50 centímetros para en ellas estudiar distintas alternativas . Después se obtiene la localización exacta de cada obra y el sentido del escurrimiento; en el gabinete se calcularán las

áreas hidráulicas de las diferentes obras, a través de los diferentes métodos expuestos y sobre el perfil del eje del fondo del escurrimiento se proyecta la plantilla de la obra procurando no provocar rellenos y que la entrada y salida coincidan con el fondo del escurridero.

Con todos estos datos se obtiene el dimensionamiento particular de cada obra como se especifica en el capítulo de drenaje.

Finalmente se realiza un informe de funcionamiento del drenaje para el tramo de que se trate; este informe consta de:

- 1.- Una tabla en que se indique, número de la obra, localización, área drenada, coeficiente utilizado, área hidráulica necesaria, tipo de obra recomendable y dimensiones.
- 2.- Observaciones necesarias para cada escurridero, indicando subpresiones de obras, canalizaciones, rectificaciones etc.
- 3.- Se anexará para cada obra; croquis de la planta, con el eje de la obra esviado al eje de camino, registro y dibujo del eje de la obra y un informe en el que cuente memoria de cálculo para cada obra.
- 4.- Planos constructivos.

Planos definitivos.

Realizado todo lo anterior se preparan los planos definitivos

en fajas de 5 Kilómetros para iniciar la construcción del camino estos planos, serán los siguientes y contendrán la siguiente información:

- Planta del camino; representada en tramos de 5 Kilómetros dibujada en papel transparente y resistente en tamaños de 0.50 metros de ancho por el largo necesario; conteniendo el trazo del eje definitivo con su cadenamiento y curvas de nivel, la topografía de la zona; los puntos de la poligonal de referencia, además de casas, cercas o caminos cercanos.
- Perfil del eje definitivo; conteniéndose subrasante proyectada; el kilometraje; los datos del alineamiento vertical como PIV, PCV, PTV y elevaciones; el diagrama de curva masa, anotando los anunciados 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, ver figura 5.9. Este listado consta de dos columnas identificadas claramente por su encabezado. El grupo de columnas a la izquierda contiene los datos de la poligonal de referencia o poligonal de apoyo; el grupo de columnas de la derecha contiene los

CAMINO LA PAZ - SAN JOSE DEL CARO TRAMO 116
 DATOS PARA EL ESTACAMIENTO DEL TRAZO DEFINITIVO HOJA 53

.. D A T O S D E L T R A Z O D E P I N I T I V O

DATOS DE LA POLIGONAL DE APOYO					REFERENCIAS AL APOYO				REPLANTEO DE LAS CURVAS		COORDENADAS RECTANGULARES		
EST	PV	AZIMUT G	LONG MI	ELEV M	ESTACION	AXIAL M	NORMAL M	COORDS ANGULO G MI	POLARES DISTAN H	DEFLX G MI	CUERDA M	ABSCISA	ORDENADA
					681240.00	399.16	46.54	6 39	401.86			65665.74	196554.44
						-8.80	-46.54	-100 43	47.37				
43	44	130	52	402.42	483.40							65705.82	196579.70
					681260.00	10.56	55.69	79 16	56.69			65670.82	196535.10
						391.86	-55.69	-8 5	395.80				
					681280.00	28.47	64.59	66 13	70.59			65675.90	196515.76
						373.95	-64.59	-9 48	379.49				
					681300.00	-46.39	73.49	57 44	66.90			65680.89	196496.41
						356.04	-73.49	-11 40	363.54				
					681320.00	64.30	82.39	52 2	104.51			65686.07	196477.07
						338.13	-82.39	-13 42	348.02				
					681340.00	82.21	91.28	47 60	122.85			65691.15	196457.73
						320.21	-91.28	-15 55	332.97				
					681360.00	100.12	100.18	45 1	141.63			65696.24	196438.39
						302.50	-100.18	-18 20	318.47				
					681380.00	118.03	107.08	42 45	160.72			65701.32	196419.04
						284.39	-109.03	-20 59	304.59				
					681392.55	129.27	114.66	41 34	172.79			65704.51	196406.91
						273.15	-114.66	-22 46	296.24				
					681400.00	135.95	117.96	40 57	179.99	0 -9	7.45	65706.42	196399.70
						266.47	-117.96	-23 53	291.41				
					681420.00	154.26	125.98	39 14	199.17	-2 3	19.99	65712.42	196360.64
						248.16	-125.98	-26 55	278.31				
					681435.55	169.18	130.30	37 36	213.55	-5 1	15.53	65718.99	196366.56
						233.24	-130.30	-29 11	267.17				
					681440.00	173.57	131.07	37 4	217.50	-1 33	4.45	65721.29	196362.75
						228.85	-131.07	-29 40	263.73				
					681460.00	193.51	131.51	34 12	233.97	-8 33	19.95	65734.09	196347.44
						208.91	-131.51	-32 11	246.85				
					681480.00	212.97	127.10	30 50	248.02	-15 33	19.95	65750.20	196335.68
						189.45	-127.10	-33 51	228.14				
					681494.05	225.72	121.25	28 15	256.23	-20 29	14.03	65763.00	196329.93
						176.70	-121.25	-34 27	214.30				
					681500.00	230.79	118.13	27 6	259.27	-1 59	5.95	65768.69	196328.17
						171.63	-118.13	-34 32	203.36				
					681520.00	246.45	105.72	23 13	268.16	-7 15	19.98	65788.33	196324.54
						155.98	-105.72	-34 8	188.43				
					ET681537.05	258.75	93.69	19 57	275.26	-10 2	17.05	65805.34	19323.06
						143.67	-93.69	-33 10	171.63				
					681540.00	260.85	91.62	19 24	276.54			65806.28	196322.84
						141.57	-91.62	-32 58	168.74				
					681560.00	275.08	77.77	15 47	285.80			65828.22	196321.37
						127.34	-77.77	-31 25	149.21				
					681580.00	289.31	63.71	12 25	296.24			65848.17	196319.89
						113.11	-63.71	-29 23	129.82				
					681600.00	303.54	49.66	9 17	307.58			65868.11	196318.42
						98.88	-49.66	-26 40	110.65				
					681620.00	317.77	35.61	6 24	319.76			65888.96	196316.95

FIG. 5.9

datos para el estacamiento del trazo definitivo en relación a los vértices de la poligonal de referencia. La poligonal de apoyo se consigna en forma semejante a un registro de poligonal por conservación de azimutes como se indica a continuación:

- a) Número del vértice o estación donde se centró el tránsito (EST).
- b) Número del vértice visado (P.V.)
- c) El azimut de la recta que une dichos vértices en grados y minutos (AZIMUT).
- d) La longitud de esa misma recta en metros (LONG)
- e) La elevación del vértice estación (ELEV).

Sobre el mismo renglón pero en el grupo de columnas de datos de trazo definitivo y precisamente en las columnas de coordenadas rectangulares, se tendrá la abscisa y la ordenada del vértice estación en el sistema terrestre de coordenadas, usado en el diseño del camino.

Los datos del estacamiento del eje se definen para todas las estaciones de 20 metros y para las estaciones que limitan cambios de geometría en el alineamiento horizontal (TE,EC,CE,ET,PE,PT); la ubicación 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 los siguientes:

- a) Kilometraje de la estación.
- b) Las cuatro siguientes columnas, encabezadas por el título de referencias al apoyo, contiene los datos para situar el centro de línea de cada estación a partir de la poligonal de apoyo.

Existen varias formas de situar dicho punto según se explica a continuación:

- 1.- Por coordenadas cartesianas .- Consiste en 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 situado el punto. Para este caso deberá respetarse la convención de geometría analítica en cuanto a signos y sentidos de los ejes coordenados considerando que, para el primer renglón de datos, el eje de las ordenadas 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 los vértices será positiva si es hacia la derecha (abscisa positiva) o negativas si es hacia la izquierda.

En el segundo renglón se consignan otras distancias axial y normal para la misma estación pero ahora el eje de las ordenadas tiene 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° .

De hecho se tienen dos maneras de localizar el punto.

- 2.- Por coordenadas polares.- Se centra el tránsito en uno de los vértices, se mide el ángulo que existe entre el lado de la poligonal y la visual al punto que se desea localizar y posteriormente medir la distancia entre dicho vértice y el punto del eje. 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 se establece la convención de que los ángulos medidos hacia la izquierda del vértice visado serán negativos y viceversa. 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 hecho existen tres formas de localizar el punto por

coordenadas polares, una a partir del vértice estación, otra a partir del vértice visado y una tercera por doble intersección .

3.- En el caso de curvas horizontales, una vez situado su origen, puede efectuarse el replanteo por medio de los datos (deflexión y cuerda) que se encuentran tabulados en las columnas tituladas " REPLANTEO DE LAS CURVAS " , 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.

d) En las dos columnas de la extrema derecha, se encuentran las coordenadas del punto 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 utilización durante la construcción se considera nula, pero es de importancia en las diversas etapas del proyecto.

Bibliografía de Consulta

- - Ingeniería de Carreteras.
Hewes Laurence I.
Editorial Continental 1960.

- - Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras
S.C.O.P.
México D.F. 1977.

- - Proyecto Geométrico de Carreteras.
Jones John Hugh
Editorial CECSA 1969.

- - Manual de Caminos Vecinales.
Etcharren René
Representación y Servicios de Ingeniería 1969.

- - Carreteras.
Legault Adrian.
Editorial Continental 1962.

- - Caminos.
Escario José Luis.
Madrid Cuarta Edición 1960.

- - Carreteras.
Martínez Sanz Ignacio.
Madrid 1966.

- - Vías de Comunicación.
Crespo Villalaz Carlos.
Editorial Limusa 1979.

- - Estructuración de Vías Terrestres.
Olivera Bustamante Fernando.
Editorial CECSA México 1985.

- - Memoria de las Especificaciones Generales para Proyecto Geométrico.
S.C.O.P.
México D.F. 1976 Segunda Edición.
- - Apuntes Carreteras.
S.C.O.P.
- - Topografía .
Toscano Ricardo.
Editorial México D.F.
- - Topografía y Fotogrametría en la Práctica.
Carl Olof Terryd.
Editorial CECSA 1974.
- - Topografía.
Higashida Miyabara Sabro.
UNAM, México Cuarta Edición 1971.
- - Topografía.
Jordan Wilhelm Vol. 2 Geodesia y Fotogrametría.
Editorial.
- - Topografía.
Montes de Oca Ricardo.
Editorial Representación y Servicios de Ingeniería.
México D.F. Cuarta Edición 1981.
- - Apuntes de Proyecto Definitivo.
Olivera Bustamante Fernando.
México 1970.
- - Instructivo para Procesamiento Electrónico de Curva Masa.
S.C.O.P.
México 1968.