

24
2j



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
A R A G O N

*COMPENDIO PARA EL PROYECTO
GEOMETRICO DE CARRETERAS.*

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el Titulo de
INGENIERO CIVIL
p r e s e n t a

JERONIMO RICO BARRERA



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ARAGON, EDO. DE MEXICO

1 9 9 1



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.

CONTENIDO

PROLOGO

INTRODUCCION

CAPITULO I.- DATOS PRELIMINARES ----- 17

Definiciones de Planeación, Plan y Proyecto.
Requerimientos para la planeación de un camino.
Clasificación administrativa de caminos.
Clasificación técnica oficial de caminos.
Clasificación de caminos de acuerdo a su utilidad socio-económica.
Caminos de tipo social.
Caminos para fomentar el desarrollo.
Caminos en zonas desarrolladas.
Programación de caminos.

CAPITULO II.- ELEMENTOS DE PROYECTO ----- 32

PROYECTO GEOMETRICO

Alineamiento horizontal.
Distancia de visibilidad en tangente.
Curvas horizontales (circulares), curva simple, curva circular compuesta, curvas de transición, curva espiral ó clotoide, curva circular con espiral de transición, distancia de visibilidad - en curvas, alineamiento vertical, pendiente gobernadora, pendiente máxima, pendiente mínima, curvas verticales en cresta y en columbo y longitud mínima de curvas verticales.

PROYECTO DE DRENAJE ----- 98

Drenaje artificial, consideraciones hidrológicas en el estudio del drenaje, drenaje superficial, drenaje longitudinal, cunetas, contracunetas, canales de encausamiento ó auxiliares, bordillos, cajones de entrada, desadrenadores, drenaje transversal, tubos, bóvedas, losas, cajones, lavaderos, vados, puentes, bombeo de corona, alcantarillas, diseño hidráulico, método de comparación, método empírico, método de sección y pendiente, método racional, cálculo dimensional y estructural de una alcantarilla, drenaje subterráneo, drenes -- longitudinales, drenes transversales y pozos de alivio.

PROYECTO DE PAVIMENTOS (FLEXIBLES) ----- 136

Distribución de esfuerzos en pavimentos flexibles, tecnologías para el proyecto de pavimentos flexibles, método de la prueba de Porter modificada -- (patrón) y cálculo de espesores para pavimentos flexibles por el método de Porter modificado (patrón).

PROYECTO DE OBRAS AUXILIARES ----- 172

Entronques, pasos a desnivel, paso del ferrocarril y puentes peatonales.

CAPITULO III.- ELECCION DE RUTA Y ANTEPROYECTO ----- 177

Elección de ruta, anteproyecto, recopilación de datos de la zona, evaluación del camino, determinación del tránsito de un camino, estudio de tránsito, primeros reconocimientos en avioneta y en helicóptero, estudios de rutas en fotografías aéreas a escala 1:50000, reconocimiento y análisis de rutas, evaluación de rutas y método del compás.

CAPITULO IV.- PROYECTO DEFINITIVO ----- 236
(MÉTODO TRADICIONAL Y FOTOGRAMÉTRICO)

Antecedentes socio-económicos y técnicos de la zona de influencia del camino por proyectar, estudios de ruta, métodos empleados para la determinación de proyecto definitivo, selección del método a seguir para el levantamiento topográfico, método tradicional terrestre, secciones transversales de construcción, curva masa, método fotogramétrico, proyecto preliminar, anteproyecto en Balplex ó autógrafo, matematización, proyecto de curva masa, secciones transversales, proyecto de la subrasante económica, volumen y movimiento de terracerías.

CAPITULO V.- EJERCICIOS Y PROYECTO DE GABINETE ----- 320

Problemas resueltos y propuestos de curvas horizontales (circulares) y curvas verticales.

Proyecto de gabinete; plano restituído a escala 1:2000, con curvas de nivel a cada metro, perfil del terreno, diagrama de curva masa y secciones transversales.

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

P R O L O G O

Las obras de ingeniería, principalmente aquellas que competen a la infraestructura, estan a cargo de los gobiernos y sirven para fomentar el desarrollo de los países; estas deben ser funcionales y económicas, es decir, deben satisfacer las metas para las cuales fueron planeadas, además deberán tener el menor costo de construcción, mantenimiento y operación. Dichas obras de infraestructura también deben tomar en cuenta los beneficios sociales y el avance cronológico del progreso.

En la estructuración de vías terrestres, a partir de 1940, los ingenieros Mexicanos apoyados en la Filosofía que se utiliza en el mundo, crearon una tecnología que se ha ido mejorando con el paso del tiempo.

La tecnología se ha desarrollado, a medida que se han construído 246,000 Km. pavimentados aproximadamente, de la red de caminos en todo el país.

El presente trabajo tiene como objetivo reunir los elementos necesarios para realizar el proyecto geométrico de carreteras y ponerlo a disposición de los estudiantes de Ingeniería Civil y carreras afines, principalmente para los alumnos de la materia de carreteras de la E.N.E.P.-ARAGON U.N.A.M., con un panorama práctico para llevar a cabo dicho proyecto.

Se exponen los conceptos teóricos y definiciones de las diferentes etapas del proyecto, asimismo se utiliza un lenguaje accesible para que los interesados en el tema comprendan el desarrollo del proyecto de este tipo de obras.

El contenido de esta tesis inicia con un Capítulo referente a — las generalidades en la planeación y programación de un camino.

En el Capítulo II, se estudian los proyectos; geométrico, de drainaje, de pavimentos y de obras auxiliares (puentes, retornos, pasos a desnivel, pasos peatonales, cruces de caminos, entronques, etc.).

En el Capítulo III, se presenta la elección de ruta y anteproyecto.

En el Capítulo IV, se analiza el proyecto definitivo.

En el Capítulo V, se muestran ejercicios del trazo de curvas horizontales y verticales, así como un ejemplo hipotético, en el cual se explica el desarrollo del proyecto definitivo, indicando los procedimientos de trazo del tramo Loreto-Santa Rosalía que se localiza en el Estado de Baja California Sur, La Paz, México, el cual tiene una longitud de 2.2 Km. de carretera. Se trata de dar una interpretación de los resultados del proyecto, indicando cual es la finalidad, las ventajas y desventajas de la realización de este.

Agradezco la colaboración para la realización de esta Tesis: al M.I. FERNANDO OLIVERA BUSTAMANTE, por haberme brindado su apoyo para el inicio, al ING. RICARDO RODRIGUEZ CORDERO, por su valiosa ayuda, al ING. JOSE PAULO MEJORADA MOTA, por su gran apoyo y comprensión para la terminación de este trabajo, y a todos aquellos que hicieron posible la culminación de la misma.

I N T R O D U C C I O N

ANTECEDENTES HISTORICOS DE LAS VIAS TERRESTRES

Los caminos cuentan la historia del mundo y que todos los pueblos han viajado por sus propios caminos a lo largo de la historia.

En sus épocas, han sido tan importantes las rutas de las caravanas del desierto, como los caminos de los Romanos, de los Incas y de los Mayas, los caminos de Napoleón y las carreteras del siglo XX.

Primero fueron las simples veredas, formadas por el pie del hombre en su diario recorrido al río ó manantial ó para transitar por las regiones que les proporcionaban sus alimentos; después el hombre aprendió a emplear los animales para transportar mercancías, nacieron las rutas de las caravanas y los caminos para el comercio; más adelante, con el uso de las carretas, hubo necesidad de mejorar esos caminos para adaptarlos a los vehículos de ruedas y tracción animal; y cuando aparece el ligero vehículo de pasajeros tirado por numerosos caballos, sufren nuevas modificaciones, acercándolos así al camino actual.

Dentro de la información confiable que nos proporciona la historia, los primeros grandes caminos en el viejo mundo (Europa) los hicieron los Persas. Son sin embargo las grandes vías de los Romanos, ligadas a su historia las que nos han dejado huella imborrable; ya no eran tan solo las simples rutas comerciales de las caravanas que atravesaban Palestina para llegar a Egipto y el viaje que hacían las ricas sedas, los exquisitos téis, los aromáticos perfumes de Oriente, los terciopelos de Marruecos y mil cosas más, a lomo de caballo, para llegar a los grandes mercados de entonces, como Bagdad, el legendario.

Roma conquistó el mundo con sus legiones; pero no hubiera podido nunca mantener su dominio y edificar y gobernar en su enorme imperio, sin las vías que la hicieron famosa, como aquella que — brincando de Sicilia a Cártago, corría por el Norte de Africa ó las que llegaban a Macedonia, al interior de Asia, a la Península Iberica ó la que, siguiendo precisamente la huella que dejó Julio César en sus conquistas, pasaba de Roma a Milan, brincaba los alpes, cruzaba la Galia y la Germania y llegaba hasta la — Isla de Britania.

A la caída del imperio Romano ante los Barbaros, aquella magnífica red de caminos fué declinando y durante trece siglos no -- hubo una Nación equivalente en fuerza y poderío capaz de crear y mantener caminos en buenas condiciones.

Napoléon sin embargo comprendió la importancia de los caminos; como Guerrero necesitaba que sus tropas pudieran moverse con -- facilidad, arrastrando sus cañones; el perseguía un propósito y para satisfacerlo mejoró los caminos en forma adecuada al mismo.

Mientras tanto, en esos siglos, en el Continente Americano suce dían cosas en algo semejantes.

La maravillosa expansión del Imperio Inca, sólo pudo haberse con seguido y mantenido a base de caminos, caminos peatonales tales como los que precedieron a las vías Romanas.

Del pueblo Maya conservamos en México, restos de los estupendos caminos que construyeron con buen trazo y excelente terracería, de 5.0 a 6.0 M. de ancho, cubiertos con un fino material calizo, que aún hoy en día constituye una superficie uniforme y compac-- ta, teniendo fines religiosos.

El imperio Azteca contaba también con vías de comunicación, las cuales satisfacían sus necesidades. Lo que es hoy la ciudad de México, era una ciudad lacustre comunicada a tierra por varias calzadas, algunas de éstas medían hasta diez kilómetros de longitud; además dicho imperio contaba con una vasta red de caminos para el paso de Guerreros, Mensajeros y Mercaderes; algunos con puentes colgantes sobre los ríos, ó en su defecto utilizaban canoas para pasar de una orilla a otra, así pues los Aztecas — tenían una red de caminos, indispensable para mantener el control de su extenso dominio.

APARICION DEL AUTOMOVIL

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

LAS VIAS TERRESTRES EN MEXICO

En lo que actualmente es la República Mexicana, en la época -- precortesiana existían, como ya se dijo, numerosos caminos peatonales, los Españoles introdujeron las carretas y el legendario Gallego Sebastián de Aparicio, que al final de su vida se hizo fraile y beato, construyó las primeras brechas, dejándonos un antecedente caminero, de importancia invaluable; hubo -- comunicación con el puerto de Veracruz pasando por Puebla; a -- Acapulco y a las principales ciudades del país.

En los primeros años del Siglo XX, se introdujeron al país los primeros automóviles que principalmente utilizaron los caminos ó caminos reales, y es a partir de 1925 cuando empezó la construcción de caminos con técnicas avanzadas, siendo de los primeros, los caminos de la ciudad de México a Veracruz, a Laredo y a Guadalajara; los caminos fueron proyectados y construidos por firmas de E.U.A., pero a partir de 1940, la Ingeniería Mexicana se ha encargado de éstos trabajos, teniendose ahora una red de caminos pavimentados de 246,000 Km. y de 150,000 Km. de caminos secundarios con superficie de rodamiento revestida, de tal manera, que aseguren el tránsito de los vehículos todo el tiempo, durante su vida útil.

EVOLUCION DE LA RED CARRISTERA NACIONAL

Se puede decir que el proyecto y la construcción de carreteras en la República Mexicana, se inició en forma sistemática en 1925, con la creación de la Comisión Nacional de Caminos.

Desde ese año hasta la fecha se han construido 240 000 Km. aproximadamente de carreteras de diferentes tipos y con diferentes finalidades.

EVALUACION DEL ESTADO SUPERFICIAL DE LA RED					
AÑO	REGIMEN	TERRACERIA	REVESTIDOS	PAVIMENTADOS	TOTAL
1925		209	245	241	695
1934		786	1231	1183	3200
1934		786	1231	1183	3260
1940	L. Cárdenas	1643	3505	4781	9929
1940		1643	3505	4781	9929
1946		2363	7267	8614	18244
1946	A. Camacho	2363	7267	8614	18244
1946		2363	7267	8614	18244
1952	M. Alemán	2039	5905	15981	23925
1952		2039	5905	15981	23925
1952		2039	5905	15981	23925
1958		3082	11002	23400	37484
1958	R. Cortinez	3082	11002	23400	37484
1958		3082	11002	23400	37484
1964		6353	16506	33186	56045
1964	L. Mateos	6353	16506	33186	56045
1964		6353	16506	33186	56045
1970		8494	21079	41947	71520
1970	D. Ordaz	8494	21079	41947	71520
1970		8494	21079	41947	71520
1976		7031	108474	53958	174463
1976	L. Boheverría	7031	108474	53958	174463
1976		7031	108474	53958	174463
1982					
1982	L. Portillo				
1982					
1988					
1988	M. De la Madrid				214000
1988					214000

Tabla (1)

Longitud y características de la red de carreteras
por entidad federativa
(kilómetros)

Entidad	Brechas mejoradas	Terracería	Revestidas	Pavimentadas		Total
				Dos carriles	Cuatro o más carriles	
Agascalimies	-	-	1 243	631	102	1 976
Baja California	38	602	4 290	2 445	348	7 723
Baja California Sur	2 194	340	2 060	1 453	9	6 056
Campeche	1 915	432	1 562	1 693	-	5 567
Coahuila	669	-	5 516	3 091	200	9 476
Colima	-	70	712	645	108	1 535
Chiapas	1 121	157	6 920	2 789	74	11 050
Chihuahua	2 917	45	4 341	3 649	450	11 402
Distrito Federal	-	-	-	92	64	156
Durango	483	-	5 783	2 343	15	8 624
Guanajuato	1 466	-	3 743	2 024	261	7 494
Guerrero	900	-	4 642	2 517	17	8 084
Hidalgo	1 66	-	4 019	2 069	78	6 322
Jalisco	957	244	5 735	4 180	194	11 310
México	274	209	5 118	3 567	673	9 841
Michoacán	1 043	247	4 125	3 738	115	9 268
Morelos	-	-	761	1 202	119	2 082
Nayarit	404	70	1 981	1 000	31	3 486
Nuevo León	1 983	63	3 192	3 397	197	8 822
Oaxaca	452	127	7 178	2 971	15	10 743
Puebla	424	6	4 589	2 187	157	7 363
Quertétaro	76	102	2 174	1 183	134	3 669
Quintana Roo	798	9	2 346	1 724	25	4 902
San Luis Potosí	1 632	23	5 090	2 629	67	9 441
Sinaloa	2 129	136	4 219	2 553	269	9 305
Sonora	3 535	390	2 134	4 617	633	11 309
Tabasco	2 238	-	2 495	2 369	44	7 146
Tamaulipas	4 351	60	4 927	3 228	135	12 701
TLaxcala	-	-	1 407	1 214	21	2 774
Veracruz	448	60	5 441	4 139	141	10 229
Yucatán	510	389	2 467	3 705	37	7 108
Zacatecas	-	-	7 953	2 063	32	10 048
Total	33 120	3 781	118 195	77 196	4 765	237 057

Fuente: Contas SCT y Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos.

Tabla (2)

CAPITULO I

I.- DATOS PRELIMINARES

PLANEACION

Es el proceso que consiste en un análisis documentado, sistemático y tan cuantitativo como sea posible, previo al mejoramiento de una determinada situación.

La definición nos establece que para cambiar cualquier situación, previamente habrá de conocer tan ampliamente como sea factible la situación actual. No se podrá planear nada, si antes no se conoce el estado actual que guarda el problema por resolver.

El concepto de planeación involucra la necesidad de cambiar cualquier situación actual por otra supuestamente mejor, y para ello se generarán "N" alternativas de solución, éstas se evaluarán ó se compararán entre sí, para conocer sus ventajas y desventajas y posteriormente se implementará la mejor.

PLAN

Es el conjunto coherente de políticas, estrategias y metas. El plan constituye el marco general y reformable de acción, deberá definir las prácticas a seguir y el marco en el que se desarrollarán las actividades.

PROGRAMA

Es la ordenación del tiempo y el espacio de los acontecimientos.

La presente etapa comprende la planeación y programación del camino que se va a construir.

La planeación de un camino se efectúa en base a las necesidades y requerimientos de las poblaciones que van a comunicarse, así mismo se determinará el tipo de camino de acuerdo a su funcionalidad y su costo de construcción.

La necesidad de construir un camino surge a raíz de los siguientes puntos:

- a) En una población totalmente aislada, donde carecen de servicio médico, educación, energía eléctrica, agua potable, sanidad, etc. es necesario un camino rural que los comunique con la población más cercana que cuente con todos los servicios anteriormente citados.
- b) Entroncar un camino con otro para trasladarse a las cabeceras municipales aledañas a una población.

- c) Entroncar un camino con una carretera federal para comunicar se a una ciudad principal.
- d) Construir una carretera federal para unir una ciudad potencialmente productiva con la capital de un Estado.
- e) Construir una autopista para unir la capital de la República con la capital de un Estado, para generar el desarrollo comercial y turístico.

Teniendo ya determinada la idea del camino que se necesita, a continuación se hace la solicitud y proposición a las autoridades correspondientes, que pueden ser: El Gobernador del Estado, los Presidentes Municipales, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes ó alguna otra dependencia que este relacionada con la construcción de carreteras.

Las relaciones comerciales y sociales entre dos núcleos de población, solamente pueden ser atendidas y estimuladas mediante una adecuada vía de comunicación.

La región aislada, cercana a la frontera, puede caer bajo la influencia económica y cultural del país vecino y perder sus costumbres, si no se encuentra ligada al resto del país, integrada al mismo por medio de un camino.

Los caminos troncales resuelven al inicio las necesidades de -- comunicación y no las de tránsito, salvo algunas posibles excepciones; posteriormente, cuando el crecimiento Nacional ó simplemente regional, generan tránsito intenso en algunos caminos, -- éstos deberán adaptarse mediante cambios en sus alineamientos -- horizontal, vertical, en sus especificaciones geométricas y estructurales ó tal vez sustituirlos por otros que satisfagan las nuevas necesidades y cuya construcción sea más conveniente y -- hasta más económico que el mejoramiento del camino existente.

REQUERIMIENTOS

En principio el camino es para servir al ciudadano en particular y a la comunidad en general, quienes además generan el tránsito . Debe básicamente cumplir con el precepto ingenieril de construir la mejor obra en el sentido más amplio, al más bajo -- costo, con lo que se protegerá la economía del país.

No pueden permitirse dispendios en caminos de ancho alineamiento y capacidad de carga mayores a las necesidades; así como tampoco por el contrario proyectarlos y construirlos con tan bajas especificaciones que entorpezcan el desarrollo económico y que prácticamente desde el inicio requieran ampliación y mejoramiento.

En términos generales los caminos troncales deben ser desde el principio de dos carriles, aunque por un tiempo tengan escaso tránsito.

Los estudios de planeación de caminos se hicieron generalmente siguiendo un patrón uniforme:

- 1.- Un inventario de todos los caminos vecinales que contribuyen al transporte y comunicación en la zona.
- 2.- Una estimación del volumen y las características del tráfico en los caminos rurales.
- 3.- Una revisión de la práctica seguida por los Estados y sus Sub-Divisiones en la financiación de caminos.
- 4.- Una estimación del número de vehículos motorizados poseídos por los residentes de las diferentes Sub-Divisiones de cada Estado y del uso que éstos residentes hicieran de los caminos.
- 5.- Estudios de los caminos (sobre la vida de éstos), basados en dichos estudios en informes anteriores de construcción y reconstrucción, a partir de los cuales podría estimarse la vida útil de los caminos existentes y futuros.

Se realizan estudios socioeconómicos de producción, población, industriales, turísticos, agrícolas, ganaderos, forestales y mineros.

Del resultado de los estudios anteriores, se procede a determinar el tipo de camino que se necesita construir, el cual debe cumplir con las finalidades para lo cual fueron determinadas, en base al análisis previo de planeación del camino.

CLASIFICACION ADMINISTRATIVA

Por lo general es independiente de las características técnicas del camino. Se hace una división según la dependencia del Gobierno que tiene a su cargo la construcción, conservación u operación, como sigue:

CAMINO ESTATAL O BIPARTITA

A cargo de las Juntas Locales de Caminos.

CAMINO VECINAL

Construido en cooperación tripartita en la siguiente forma: 33% el Gobierno Federal, 33% el Gobierno del Estado y 33% los Particulares Beneficiados. Para su conservación pasa a cargo de las juntas.

CAMINOS BID

Financiados por el Banco Internacional de Desarrollo. Tanto el estudio como el proyecto en este tipo de caminos, se lleva a cabo por las Juntas Locales de Caminos.

CAMINOS DE CUOTA

A cargo de Caminos y Puentes Federales de Ingresos. La inversión es recuperable a través de cuotas de pago.

CLASIFICACION TECNICA OFICIAL

Permite distinguir en forma precisa la categoría física del camino. Toma en cuenta volúmenes de tránsito sobre el camino y — las especificaciones geométricas.

Por lo general esta clasificación asigna categorías por número ó letra la S.O.P. clasificó los caminos como sigue:

- TIPO ESPECIAL: Para un tránsito promedio diario superior a -- 3000 vehículos y un tránsito horario máximo ma yor de 360 vehículos.
- TIPO A.- Para un tránsito promedio diario de 1500 a -- 3000 y tránsito horario de 180 a 360 vehículos.
- TIPO B.- Para un tránsito promedio diario de 500 a 1500 y un tránsito horario de 60 a 180 vehículos.
- TIPO C.- Para un tránsito promedio diario de 50 a 500 - vehículos y un tránsito horario de 6 a 60 vehí culos.
- TIPO BRECHA: Para un tránsito promedio diario hasta de 50 - vehículos y un tránsito horario hasta de 6 vehí culos.

CLASIFICACION DE CAMINOS DE ACUERDO A SU UTILIDAD SOCIO-ECONOMICA

CAMINOS DE INTEGRACION NACIONAL

CAMINOS DE TIPO SOCIAL

CAMINOS PARA FOMENTAR EL DESARROLLO

CAMINOS EN ZONAS DESARROLLADAS

CAMINOS DE INTEGRACION NACIONAL

Son aquellos caminos que principalmente sirven para unir el territorio Nacional, así en México, los primeros caminos troncales se programaron para comunicar a la capital de la República con las capitales de los Estados más tarde se puso énfasis en comunicar a éstas últimas entre sí, así como a las cabeceras municipales, últimamente se ha dado importancia a la terminación de los caminos costeros del Golfo y del Océano Pacífico, así -- como a las fronterizas del Norte y del Sur. Un ejemplo típico de caminos de este tipo lo constituye el camino transoieninsular que corre de Norte a Sur la península de Baja California, que se localiza al (NW) dentro de la República Mexicana.

La evaluación para programar la construcción de estos caminos queda a criterio de los gobernantes, que en su carácter de estadistas, deciden el monto a invertir y las obras que se deben -- realizar.

CAMINOS DE TIPO SOCIAL

Estos caminos son los que principalmente tienen como finalidad - incorporar al desarrollo Nacional a los núcleos sociales que han permanecido marginados por falta de comunicación.

La evaluación de éstos caminos se realiza por medio del costo -- por habitante servido que se calcule, dividiendo el costo de la obra entre el número de habitantes en la zona de influencia del camino.

En México, este tipo de camino tiene una corona construida por - un solo carril y la superficie de rodamiento protegida por una - capa de superficie de rodamiento suficientemente aglutinada (en forma natural ó con productos químicos), para que resista el -- tránsito y las condiciones regionales del ambiente, de tal mane- ra que se tenga comunicación permanente en todas las épocas del año. En la figura siguiente se muestra un camino de este tipo.



Fig. (1.1) Camino rural.

Se debe notar, que de acuerdo a las condiciones en especial de clima, de las zonas que atraviesan estos caminos, desde su construcción sobre todo en lo que se refiere a la superficie de rodamiento, deben tener tales características, que propicien los menores costos de conservación. Por lo general, en estos caminos - se utilizan las especificaciones geométricas (pendiente y grado de curvatura) máximas, tanto para disminuir su costo, como para resolver los problemas de carácter geotécnico que se presenten y reducir los problemas de conservación.

El camino rural tiene un ancho de corona de 4.0 m.

CAMINOS PARA FOMENTAR EL DESARROLLO

Los caminos que provocan el desarrollo de una zona, son aquellos que sirven principalmente para propiciar el auge agrícola, ganadero, comercial industrial ó turístico de la zona de influencia y su evaluación económica se realiza haciendo uso del índice de productividad que se obtiene dividiendo los beneficios, entre el costo de la obra, siendo los primeros, la suma de los costos de la producción que se obtiene durante un tiempo determinado, ---- usualmente cinco años. Este tipo de caminos tienen una corona -- entre 7.0 y 11.0 m.

CAMINOS EN ZONAS DESARROLLADAS

Por último, están los caminos que comunican zonas desarrolladas y se construyen para disminuir los costos de operación, prohibiendo el mejoramiento del tránsito en los caminos regionales.

Estos caminos tienen como misión comunicar solo los puntos que han alcanzado mejor desarrollo; por tanto serán directos, con los que se disminuyen las distancias de recorrido, el nivel de servicio debe ser mejor que el del resto de los caminos, por lo que la operación debe ser más segura y cómoda.

Por lo general son caminos de control de acceso (de cuota); dependiendo del tránsito, pueden ser de 2, 4 ó más carriles como se muestra en la figura siguiente:

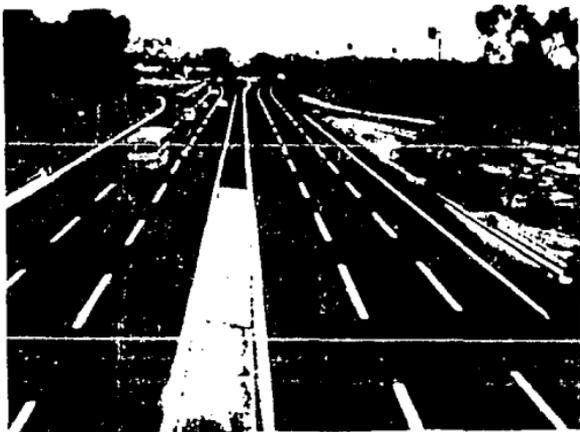


Fig. (1.2) Autonista.

Principalmente en el país estos caminos están constituidos por las llamadas autopistas que en general son caminos de cuota y su administración está a cargo de una dependencia oficial. En otros países como los europeos, esta administración se encuentra a cargo de compañías particulares.

La evaluación de estos caminos se hace a través de la relación beneficio-costos, denominado índice de recuperación, que se calcula dividiendo los ahorros que se tendrán al utilizarse la nueva obra entre el costo de construcción.

Los ahorros son de combustible, lubricantes horas-hombre (operadores y pasajeros) y de otros elementos menos tangibles como la comodidad y la seguridad, aunque de esta se puede tener alguna idea al calcular los ahorros que se obtengan al disminuir los accidentes, en base a los daños materiales.

PROGRAMACION DE CAMINOS

Para la programación de los diferentes tipos de caminos, no se puede hacer una sola lista de ellos, pues como se vió anteriormente, cada uno se evalúa de diferente manera y hasta ahora ha quedado a criterio de las autoridades la elección de las obras de cada tipo que se construyan en los períodos de Gobierno.

Sin embargo, se debe estudiar un modelo matemático con el cual se pueda hacer la programación, no solo de diferentes tipos de camino, sino que queden incluidos, además todos los tipos de - comunicación terrestre, aérea y marítima, que en general, como los primeros se evalúan de acuerdo a factores de beneficio-cog to para proporcionar ó alentar el desarrollo Nacional; en este modelo matemático deben estar atendidas todas las necesidades de comunicación del país.

Para reducir las inversiones iniciales, las obras se pueden -- programar por etapas, lo cual hasta ahora se ha aplicado principalmente en caminos, al proyectar la superficie de rodamiento de acuerdo al tipo necesario, en relación al tránsito que - se puede tener en períodos de 5 años. Esto se hace principal-- mente en caminos del tipo de desarrollo, en las que en el mo-- mento de abrirlos al tránsito, el número de vehículos es muy - reducido, pudiéndose utilizar inicialmente carpetas en el lu-- gar y más tarde, cuando así lo requiera el tránsito se podrá levantar la carpeta anterior, rigidizar la base y colocar concreto asfáltico como superficie de rodamiento.

De ser posible, en función de la necesidad de comunicar y de la capacidad presupuestaria, la red de caminos troncales debe irse tejiendo simultáneamente con la construcción de caminos

alimentadores. Un camino troncal sin zona de influencia se limita a cumplir una función de comunicación de punto a punto, retrasa el desarrollo de la región comprendida entre los mismos y al no generar tránsito, convierte la inversión hecha en una aparentemente injustificada.

Cuando sea necesario comunicar, pero las condiciones económicas impidan construir simultáneamente los caminos alimentadores que crean la zona de influencia, debe olvidarse la justificación -- económica ó de costo-beneficio, pues el camino estará cumpliendo una función social, invaluable dentro de las rígidas reglas de la economía.

Los primeros caminos troncales de un país en desarrollo deberán ser económicos, tal como se ha indicado, evitando los obstáculos topográficos importantes, aunque resulten con mayor kilometraje, conservando desde luego un conveniente equilibrio entre este mayor kilometraje y el costo de la solución del problema topográfico que se elude. Una mayor longitud implica incremento en los costos de operación que, para bajos volúmenes de tránsito puede dejar de considerarse, ya que no afectará a la economía del país, comparado con el beneficio que proporciona la comunicación.

También pueden al inicio cruzarse los poblados existentes a lo largo de la ruta, con lo que se comunicará en corto plazo y con la menor inversión posible, el mayor número de habitantes; posteriormente cuando el incremento en el tránsito lo justifique, vendrán los libramientos.

Como excepción deben considerarse los casos evidentes en que — desde un principio se vea la necesidad de construir libramientos, previéndose entonces adecuados accesos a las poblaciones — libradas.

No deben contemplarse, sobre todo al principio, las altas velocidades de proyecto, suponiendo que ello demostraría adelanto y progreso; pero que en realidad únicamente elevaría los costos de construcción en forma considerable, resultando así que la capacidad presupuestaria del país produzca menos caminos. Cuando el país haya adelantado en su desarrollo, apoyando en gran parte — en esos primeros caminos, podrá mejorarlos y construir otros — con especificaciones superiores, ya justificadas entonces.

CAPITULO II

ELEMENTOS DE PROYECTO

En este capítulo se estudiarán los proyectos siguientes:

- 2.1 Proyecto geométrico.
- 2.2 Proyecto de drenaje.
- 2.3 Proyecto de pavimentos.
- 2.4 Proyecto de obras auxiliares.

2.1 PROYECTO GEOMETRICO

Se enunciarán los alineamientos siguientes:

- 2.1.1 Alineamiento horizontal.
- 2.1.2 Alineamiento vertical.

2.1.1 ALINEAMIENTO HORIZONTAL

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

Los elementos que integran el alineamiento horizontal son:

- 1.- Las tangentes.
- 2.- Las curvas horizontales, (curvas circulares).

1.- LAS TANGENTES

Son la proyección sobre un plano horizontal de las rectas que unen las curvas.

Al punto de intersección de la prolongación de dos tangentes consecutivas se les representa como PI y al ángulo de deflexión formado por la prolongación de una tangente y la siguiente se le representa por Δ . Como las tangentes van unidas entre sí por curvas, la longitud de una tangente es la distancia comprendida entre el fin de la curva anterior y el principio de la curva siguiente. A cualquier punto preciso del alineamiento horizontal localizado en el terreno sobre una tangente se le denominará; punto sobre tangente y se les representa por (PST).

La longitud máxima de una tangente esta condicionada por la seguridad. Las tangentes largas son causa potencial de accidentes, debido a la somnolencia que produce al conductor al man

tener concentrada su atención en puntos fijos del camino durante mucho tiempo, ó bien porque favorecen los deslumbramientos durante la noche; por tal razón, conviene limitar la longitud de las tangentes, proyectado en su lugar alineamientos ondulados con curvas de gran radio.

La longitud mínima de tangente entre dos curvas consecutivas está definida por la longitud necesaria para dar la sobrelevación y ampliación de estas curvas.

1.2 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.

1.2.1 Distancia de visibilidad de parada.- es la distancia de visibilidad mínima necesaria para que un conductor que transite a 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 la S.C.T. nos determina la distancia de visibilidad de parada:

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

Donde:

D_p = Distancia de visibilidad de parada en metros.

V = Velocidad de proyecto en Km/hr.

f = Coeficiente de fricción longitud, que varia de 0.40 para una velocidad de 30 Km/hr, hasta 0.29 para una velocidad de 110 Km/hr, 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 2.5 seg.

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 AASMO establece la fórmula siguiente, parecida a la de S.C.T.

$$D_p = 0.28 vt + \frac{v^2}{251.80f}$$

1.2.2 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 en carreteras de dos carriles.

La S.C.T. recomienda 500 metros como límite para la distancia de visibilidad de rebase a la velocidad de proyecto de 110 Km/h., 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

$j = 2.75 \text{ Km/h} / \text{s} \text{ ----} V = 65 \text{ Km/hr.}$

$j = 2.30 \text{ Km/h} / \text{s} \text{ ----} V = 80 \text{ Km/hr.}$

$j = 2.35 \text{ Km/h} / \text{s} \text{ ----} V = 100 \text{ Km/hr.}$

La AASMO recomienda las siguientes distancias de visibilidad de rebase :

Velocidad de proyecto en Km/hr	dos vías Dist. de rebase	tres vías Dist. de rebase.
48	183	--
64	320	--
80	487	316
96	701	458
112	975	610

Tabla (2.1)

La 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.

2.0 LAS CURVAS HORIZONTALES (CURVAS CIRCULARES)

Las curvas horizontales son los arcos de círculo que forman la proyección horizontal de las curvas empleadas para unir dos tangentes consecutivas.

Las curvas horizontales pueden ser simples, compuestas, inversas ó espirales. Las curvas compuestas e inversas se estudian como una combinación de dos o más curvas simples, mientras --

que la curva espiral resulta de radios variables.

Las curvas que tienen radios cortos (generalmente menores que la longitud de una cinta), pueden trazarse en campo, sosteniendo un extremo de la cinta en el centro del círculo y describiendo un arco con la misma, al tiempo que se marcan en el terreno tantos puntos como se requieran. A medida que la longitud de la curva se incrementa, la cinta ya no es práctica para el trazo y el ingeniero topógrafo debe usar otros métodos para estos trabajos, como efectuar la medición de ángulos y distancias sobre líneas rectas por medio de los cuales pueden ubicarse puntos selectos llamados estaciones, localizados sobre la circunferencia del arco.

2.1 TIPOS DE CURVAS HORIZONTALES

a) Curva simple. La curva simple es un arco de círculo. El radio del círculo determina lo cerrado o abierto de la curva. A mayor radio, la curva es más abierta. Este es el tipo de curva más utilizado

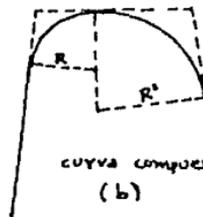
b) Curva compuesta. Frecuentemente se necesita adaptar al terreno una curva compuesta. Esta curva consta generalmente de dos curvas simples unidas del mismo sentido.

c) Curva inversa. Consiste en dos curvas simples juntas, de diferente sentido; por razones de seguridad este tipo de curva se usa muy poco en carreteras, ya que provoca que un automóvil tienda a salirse del camino.

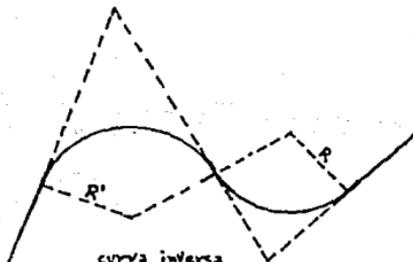
d) La curva espiral es una curva cuyo radio varia en forma continua. Se usa en ferrocarriles y en algunas carreteras modernas. Su propósito es proporcionar una transición de la tangente a una curva simple o entre las curvas simples que forman una curva compuesta.



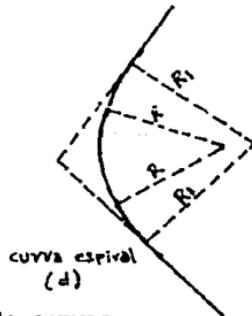
curva simple
(a)



curva compuesta
(b)



curva inversa
(c)



curva espiral
(d)

Fig. (2.1) Tipos de curvas.

2.2 ELEMENTOS DE UNA CURVA SIMPLE

- a) Punto de intersección. El punto de intersección (PI) es el punto donde se intersectan la tangente de atrás o de entrada y la tangente de adelante o de salida. Es una de las estaciones correspondientes a la poligonal preliminar.

- b) Ángulo de intersección. El ángulo de intersección (I) es el ángulo de deflexión en el PI, su valor se calcula a partir de los ángulos de estación de la poligonal preliminar, o bien, se mide en el campo.

- c) El radio. El radio (R), es el radio del círculo del cual la curva es un arco.

- d) Principio de curva. Es el punto donde comienza la curva. La tangente de atrás es tangente a la curva en ese punto (PC).

- e) Principio de tangente. El PT marca el final de la curva. La tangente de adelante es tangente a la curva en este punto.

- f) La longitud de la curva. La longitud de la curva (L) es la distancia entre el PC y el PT, medida sobre la curva.
- g) La subtangente. La subtangente (ST) es la distancia, medida sobre las tangentes, del PI al PC o al PT. Estas distancias son iguales en una curva simple.
- h) El ángulo central. El ángulo central (Δ) es el ángulo que se forma entre dos radios que unen el centro del círculo (O) con el PC y el PT. El ángulo central es igual en valor al ángulo de intersección o deflexión de las tangentes ($\Delta = I$).
- i) Cuerda larga. La cuerda larga (CL) es la cuerda que une el PC con el PT.
- j) Externa. La externa (E) es la distancia que hay del PI al punto central de la curva. La externa bisecta el ángulo interior del PI.

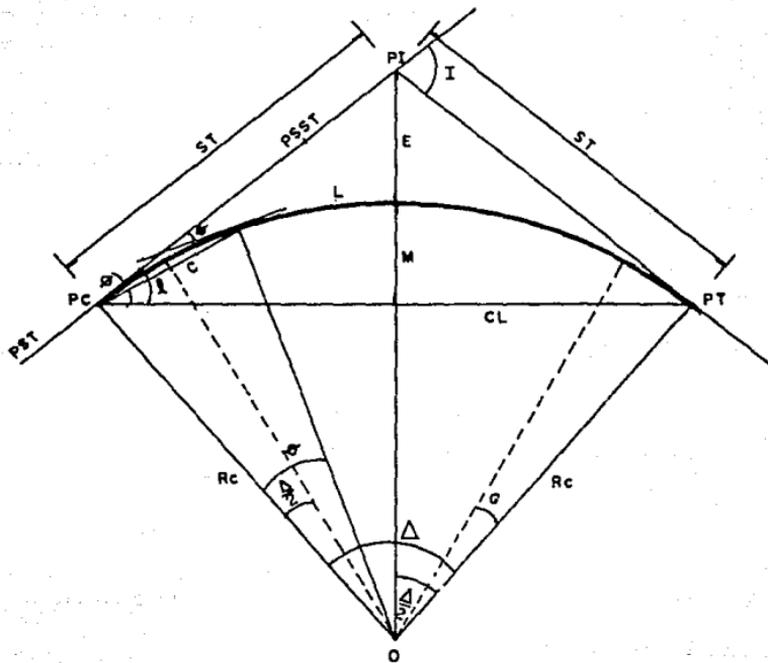


Fig. (2.2) Curva circular simple

- k) Ordenada media. La ordenada media (M) es la distancia del punto central de la curva, al punto localizado a la mitad de la cuerda larga. La prolongación de la ordenada media bisecta al ángulo central.
- l) Grado de curvatura. El grado de curvatura (G) es el ángulo subtendido por un arco, el cual define si la curva es cerrada o abierta.
- m) Cuerda. La cuerda es la recta comprendida entre dos puntos de la curva. Si estos puntos son PC y PT, se le denomina cuerda larga.
- n) Ángulo de deflexión. El ángulo de deflexión es el ángulo que se forma entre la tangente y los extremos de las cuerdas, -- con el PC como vértice, se utiliza para determinar la dirección en la que se trazarán las cuerdas, la suma de los ángulos de deflexión es igual a la mitad del ángulo de intersección de las tangentes (\ominus).

2.3 FORMULAS PARA CALCULAR UNA CURVA SIMPLE.

Para el cálculo y trazo de una curva simple se utilizan las fórmulas siguientes:

2.3.1.- Grado de curvatura: Es el ángulo subtendido por un arco de 20m, 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:

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

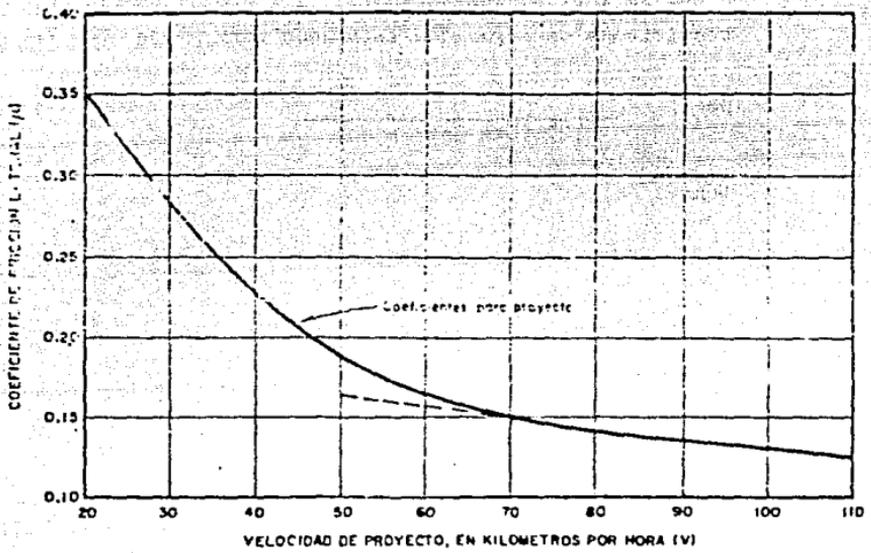
Donde:

Gmax = Grado de curvatura máximo

μ = Coeficiente de fricción lateral (ver gráfica 1.1).

Smax = Sobreelevación máxima en valor absoluto.

V = Velocidad de proyecto en Km/Hr.



Gráfica (2.1) coeficientes de fricción lateral para proyecto a diferentes velocidades.

2.3.2.- Radio de la curva:

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

6

$$R c = \frac{10}{\text{Sen } \frac{\theta}{2}}$$

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

Según la instrucción Española, el radio necesario por condiciones de seguridad esta dado por:

$$Rc = \frac{v^2}{127 (Tg Smax + \mu)}$$

Donde:

R c = Radio de la curva en metros.

V = Velocidad de proyecto en Km/Hr.

Smax= Sobreelevación.

μ = Coeficiente de fricción lateral.

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

2.3.3.- Angulo central. (Δc) en curvas simples es igual a la deflexión de las tangentes.

2.3.4.- Longitud de la curva:

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

2.3.5.- Subtangente:

$$ST = R_c \tan \frac{\Delta c}{2}$$

2.3.6.- Externa:

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

2.3.7.- Ordenada media:

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

2.3.8.- Angulo de deflexion:

$$\phi = \frac{G_c l}{20}$$

2.3.9.- Cuerda:

$$C = 2 R_c \frac{\phi}{2} ; CL = 2 R_c \text{ Sen } \frac{\Delta c}{2}$$

2.3.10.- Angulo de cuerda: Es el ángulo entre la prolongación de la tangente y la cuerda considerada.

$$\phi = \frac{G c \ell}{40} ; \phi c = \frac{Gc Lc}{40}$$

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 $22^\circ < G \leq 62^\circ$.

2.4.- Curvas circulares compuestas. Son aquellas que estan formadas por dos ó más curvas circulares simples del mismo sentido y diferente radio ó de diferente sentido cualquier radio, pero siempre con un punto de tangencia común entre dos consecutivas, (ver fig. 2.3).

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

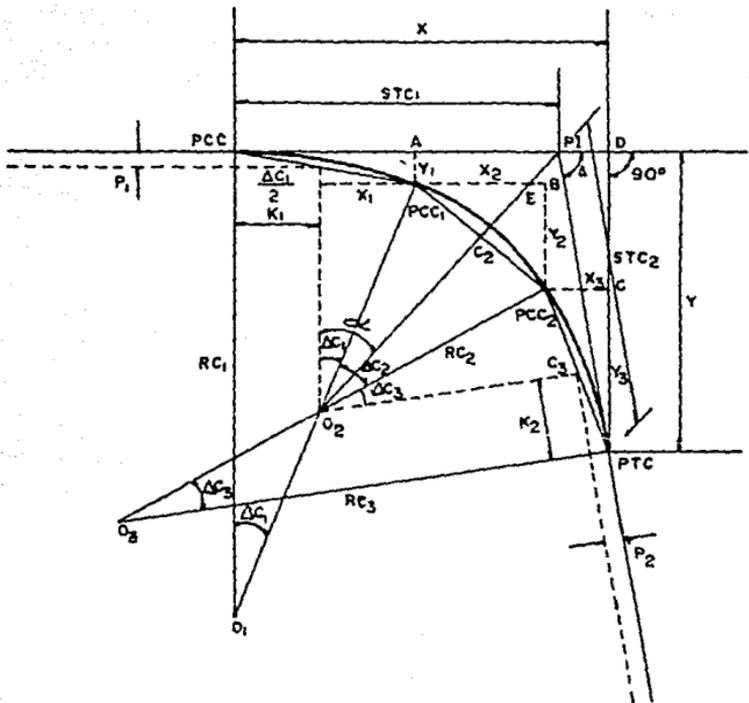


Fig. (2.3) Curva circular composta.

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

- 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 = Punto en donde termina una curva circular simple y empieza otra.
- P.C.C.₂
- 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.

2.4.1.- Cálculo de los elementos de una curva circular compuesta:

Para su cálculo se utilizan los elementos de una curva circular simple y los resultados obtenidos de esta pueden extrapolarse para curvas de más de tres centros.

$$C_1 = 2Rc_1 \cdot \text{sen} \frac{\Delta c_1}{2}$$

$$C_2 = 2Rc_2 \cdot \text{sen} \frac{\Delta c_2}{2}$$

$$C_3 = 2Rc_3 \cdot \text{sen} \frac{\Delta c_3}{2}$$

De la figura (2.3): $X_1 = Rc_1 \text{ sen} \frac{\Delta c_1}{2}$

$$Y_1 = Rc_1 (1 - \cos \frac{\Delta c_1}{2})$$

$$X_2 = C_2 \cos(\Delta c_1 + \frac{\Delta c_2}{2}) = 2Rc_2 \text{ sen} \frac{\Delta c_2}{2} \cos(\Delta c_1 + \frac{\Delta c_2}{2})$$

$$Y_2 = C_2 \text{ sen}(\Delta c_1 + \frac{\Delta c_2}{2}) = 2Rc_2 \text{ sen} \frac{\Delta c_2}{2} \text{ sen}(\Delta c_1 + \frac{\Delta c_2}{2})$$

$$X_3 = C_3 \cos(\Delta c_1 + \Delta c_2 + \frac{\Delta c_3}{2}) = 2Rc_3 \text{ sen} \frac{\Delta c_3}{2} \cos(\Delta c_1 + \Delta c_2 + \frac{\Delta c_3}{2})$$

$$Y_3 = C_3 \text{ sen}(\Delta c_1 + \Delta c_2 + \frac{\Delta c_3}{2}) = 2Rc_3 \text{ sen} \frac{\Delta c_3}{2} \text{ sen}(\Delta c_1 + \Delta c_2 + \frac{\Delta c_3}{2})$$

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

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

Y las subtangentes de la curva circular compuesta serán:

$$STC_1 = X - STC_2 \cos \Delta$$

$$STC_2 = Y \csc \Delta$$

En donde:

$$X = (1 + \cos \Delta c_1) ST_1 + \left[\cos \Delta c_1 + \cos (\Delta c_1 + \Delta c_2) \right] ST_2$$

$$+ \left[\cos (\Delta c_1 + \Delta c_2) + \cos (\Delta c_1 + \Delta c_2 + \Delta c_3) \right] ST_3$$

$$Y = (\sin \Delta c_1) ST_1 + \left[\sin \Delta c_1 + \sin (\Delta c_1 + \Delta c_2) \right] ST_2$$

$$+ \left[\sin (\Delta c_1 + \Delta c_2) + \sin (\Delta c_1 + \Delta c_2 + \Delta c_3) \right] ST_3$$

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

Los desplazamientos correspondientes se calculan como:

$$P_1 = (Rc_1 - Rc_2) (1 - \cos \Delta c_1)$$

$$K_1 = (Rc_1 - Rc_2) \text{ sen } \Delta c_1$$

$$P_2 = (Rc_3 - Rc_2) (1 - \cos \Delta c_3)$$

$$K_2 = (Rc_3 - Rc_2) \text{ sen } \Delta c_3$$

La externa se calcula con la siguiente fórmula:

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

Donde:

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

2.5.- Curvas de transición.

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 sobreelevación 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 $v^2 / R_e \cdot l_e$, 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:

$$\frac{v^2 l_e}{R_e l_e} = \frac{v^2}{R}$$

Simplificando $R l_e = R_e l_e$

Donde: $R_e l_e = K^2$; puesto que R_e 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, ó 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.

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

Sustituyendo el valor de R e integrando:

$$\theta = \frac{l^2}{2 R c l e}$$

θ esta en radianes, si lo expresamos en grados tenemos:

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

Por otra parte:

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

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

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

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

$$Y = \int_0^1 \left(\frac{l^2}{c} - \frac{l^6}{c^3 3!} + \frac{l^{10}}{c^5 5!} - \frac{l^{14}}{c^7 7!} + \dots \right) dl$$

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

Expresando el resultado en función de θ en grados nos queda:

$$X = \frac{l}{100} \left[100 - 0.304617\theta^2(10)^{-2} + 0.429591\theta^4(10)^{-7} - 0.301387\theta^6(10)^{-12} \right]$$

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

De la figura (2.4) 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 esta expresado en grados y para $\theta < 16^\circ$, el valor de Z puede despreciarse.

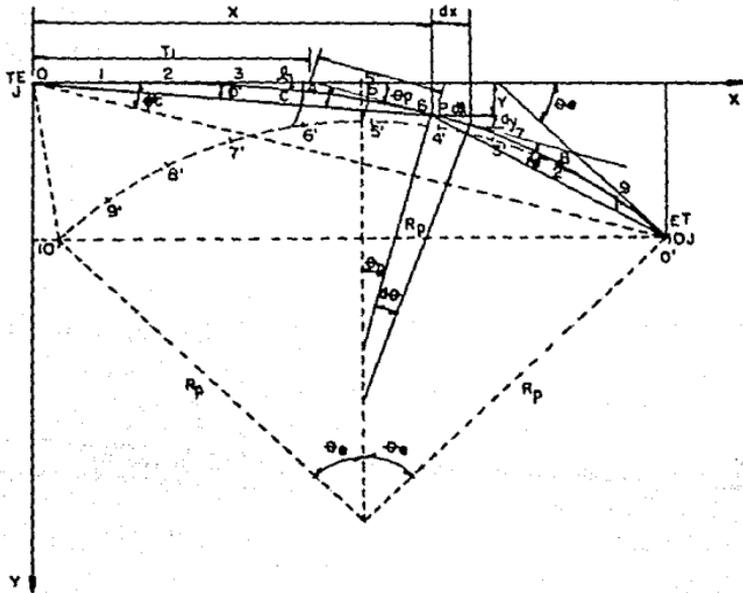


Fig. (2.4) Curva espiral ó clotoide.

P = Punto cualquiera sobre una espiral.

O = Punto donde se inicia la espiral.

l_0 = Punto donde termina la espiral.

θ_e = Deflexión total de la espiral.

θ_p = Deflexión de la espiral en un punto "p".

$\beta'c$ = Angulo de la cuerda larga de la espiral.

β' = Angulo de la cuerda en un punto.

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.

T_1 = Tangente larga al punto P.

T_2 = Tangente corta al punto P.

2.6.- Curva circular simple con espiral de transición.

Las curvas circulares con espiral de transición constan de un 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.

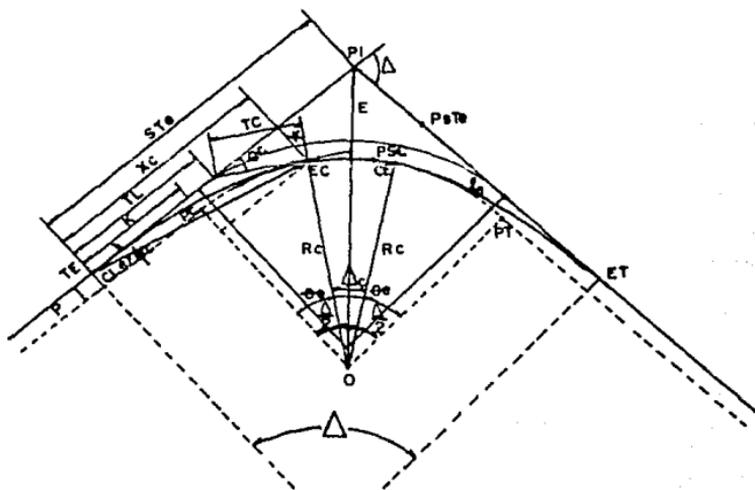


Fig. (2.5) Curva circular con espirales.

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.
- P_{st}Te = Punto sobre la subtangente.
- Δ = Angulo de deflexión de las tangentes.
- ϕ_e = Deflexión de la espiral.
- ϕ'_c = Angulo de la cuerda larga de la espiral.
- STe = Subtangente.
- X_c, Y_c = Coordenadas del Ec ó del CE.
- K, P = Coordenadas del PC ó del PT (desplazamiento).

TL = Tangente larga.

TC = Tangente corta.

CLe = Cuerda larga de la espiral.

E = Externa.

Rc = Radio de la curva circular.

l_e = Longitud de la espiral de entrada ó salida.

l_c = Longitud de la curva circular.

Cálculo de los elementos de una curva simétrica.

1) Grado de curvatura de la curva circular.

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

Rc = Radio de la curva circular.

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

Su valor mínimo se determina como sigue:

Fórmula propuesta por Smirnoff.

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

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

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

VELOCIDAD DE PROYECTO km/hr	SMIRNOFF $\ell = 0.035 V$ $(\frac{V^2}{R} + 1275)$ a=2.75	A A S H O $\ell e = mas$ m = 1.5625 V + 75 a=3.05 a=3.35 a=3.65			S.O.T. $\ell e = 8VS$	
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

Tabla (2.2)

3) Parámetro de la espiral.- Es la magnitud que define las -- dimensiones: $K = \sqrt{Rc \cdot \ell e}$

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

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 = Sobre elevación de la curva circular en valor absoluto.

C = Coeficiente de comodidad, varía entre 0.305 y 0.610 m/s².

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 sobre elevación correspondiente a la curva circular.

$$l_e = \frac{v^3}{p} \text{ m a s}$$

Donde:

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

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 = Sobre elevación de la curva circular en valor absoluto.

La 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:

$$l_e = 2.22 V a s.$$

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

Para cualquier semiancho de calzada aplíquese:

$$l_e = 8 V S$$

Donde:

l_e = Longitud mínima de la espiral en metros.

V = Velocidad de proyecto en km/hr.

S = Sobre elevación en valor absoluto.

5) Deflexión a un punto de la espiral.

$$\phi = \left(\frac{l_e}{R_c} \right)^2 \phi_e$$

6) Deflexión de la espiral.

$$\phi_e = \frac{l_e}{2 R_c}$$

Si ϕ_e se expresa en grados y tomando en cuenta que

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

$$\phi_e = \frac{G_c l_e}{40}$$

7) Longitud total de la curva.

$$L = 2 l_e + l_c$$

$$L = 2 \left(\frac{40 \phi_e}{G_c} \right) + \frac{20 \Delta c}{G_c} = 2 l_e + \frac{20 \Delta}{G}$$

8) Coordenadas de E_c de la curva.

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

$$Y_c = l_e \left(\frac{\phi_e}{3} + \frac{\phi_e^3}{42} \right)$$

Donde:

ϕ_e esta expresado en radianes.

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

$$P = Yc - Rc \text{ Sen } \varphi e$$

$$K = Xc - Rc \text{ Sen } \varphi e$$

10) Subtangente.

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

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

12) Cuerda larga.- $CLe = \sqrt{Xc^2 + Yc^2}$

13) Angulo de la cuerda larga.- $\theta'c = \frac{\theta e}{3} - 2$

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

14) Tangente larga y tangente corta.-

$$TL = Xc - Yc \text{ COT } \varphi e$$

$$TC = Yc - Xc \text{ CSC } \varphi e$$

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: $\Delta_0 \geq 0$

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

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

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

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

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

La transición mixta se utiliza en todas las 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 alojara 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, serán igual a:

$$L_t = 0.56 V$$

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

$$L_t = 0.32 V \text{ ó } L_t = 8 V S$$

L_t = Longitud de transición mixta en metros.

V = Velocidad de proyecto en km/hr.

S = Sobreelevación de la curva circular.

2.7.- Distancia de visibilidad en curvas horizontales.

En las curvas horizontales que queden alojadas en corte 6 tengan obstáculos laterales en su parte interior que limi ten 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 provi dencias necesarias para satisfacerlas.

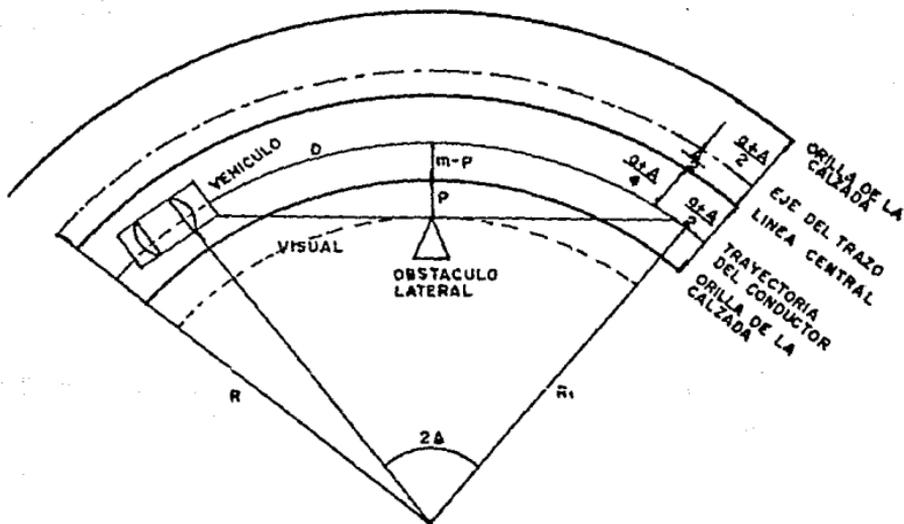


Fig. (2.6) Distancia de visibilidad en curvas horizontales.

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 ó rebase (metros).

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

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

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

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

2.1.2 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.

1.- 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 puntos de la misma.

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.

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	5	5	4	4	3	3	3	
LOMBRIO	7	6	5	5	4	4	4	
MONTAÑOSO	9	8	7	7	6	5	5	

Tabla (2.3)

La instrucción Española recomienda las siguientes pendientes máximas.

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

Tabla (2.4)

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.

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.

- a) Cuando se trata con volúmenes de tránsito alto en -- cualquier tipo de terreno ó bien con cualquier volumen de tránsito en terreno plano ó 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.

- b) 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 ó 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 ó con la pendiente gobernadora, en cada caso se obtienen los tiempos de recorrido, comparándose los tiempos empleados para obtener el alineamiento vertical aceptable.

2.- Curvas verticales.

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

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

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

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

Integrando $X = U_x t + C_2$

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

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:

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

Integrando: $Y = -\frac{gt^2}{2} + U_y t$ 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.

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

por lo que:

$$Y = Kx^2 + Px$$

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

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

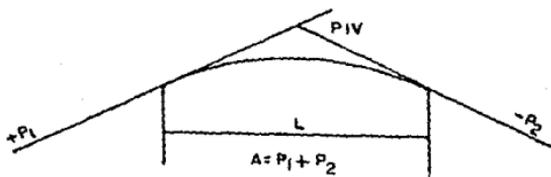


Fig. (2.7) Curva vertical en cresta.

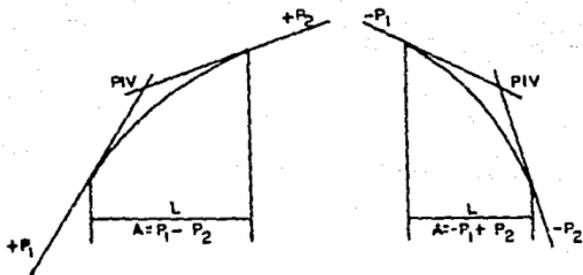


Fig. (2.8) Curvas verticales en cresta.

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

$$K = L / A$$

2.2 Curvas en columpio.- Son aquellas curvas que tienen su --
concauidad hacia arriba.

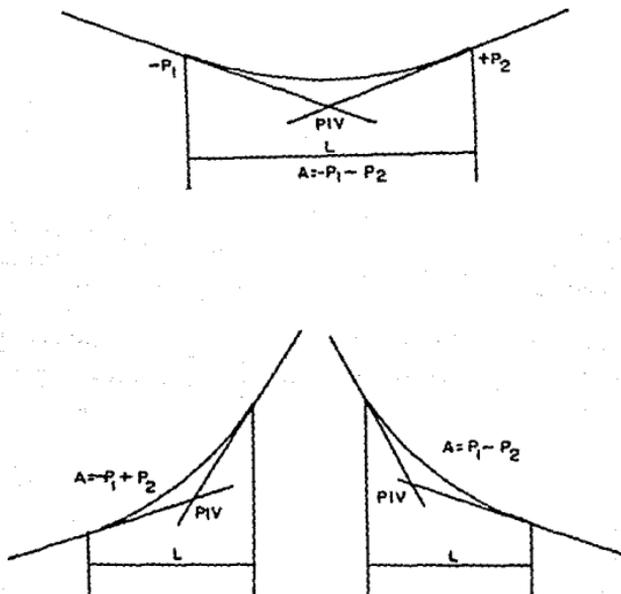


Fig. (2.9) Curvas verticales en columpio.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Elementos de la curva vertical.

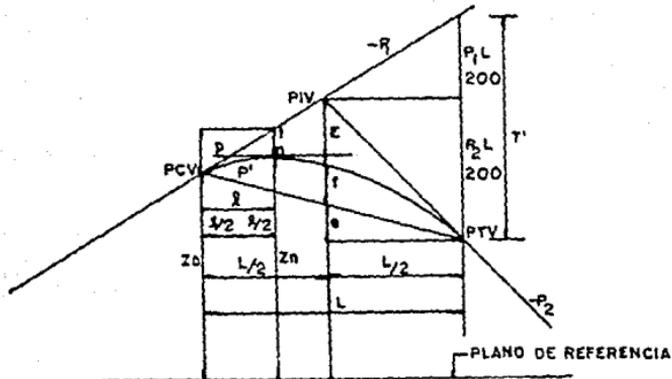


Fig. (2.10)

- 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.
- P_1 = Pendiente de la tangente de entrada en por ciento.
- P_2 = 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.

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

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

Donde: F_1 , P , F_2 y A están expresados en por ciento
y l , L en metros.

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

$$P' = \frac{F_1 + P}{2}$$

Y teniendo en cuenta $P = F_1 - \frac{A l}{L}$

Sustituyendo: $P' = F_1 - \frac{A l}{2L}$

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 $t' = a L^2$

$$y : t' = \frac{F_1 L}{200} + \frac{F_2 L}{200} = \frac{L}{200} (p_1 + p_2) = \frac{AL}{200}$$

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

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).

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

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

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

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:

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

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

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

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

Sustituyendo el valor de t y agrupando:

$$Z_n = Z_o + \left(\frac{F_1}{100} - \frac{AL}{200L} \right) l$$

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

$$Z_n = Z_o + \left(\frac{F_1}{5} - \frac{An}{10N} \right) n$$

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

$$Z_n = Z_{n-1} + \frac{F_1}{5} - \frac{A}{10N} (2n - 1)$$

Longitud mínima de una curva vertical.

La longitud mínima de una curva vertical, 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 cómoda 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.

Criterio de comodidad: Se aplica el 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:

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

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: $L \geq 3.28v^2 \Delta \therefore L \geq 3.28v^2 A$

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

$$K = \frac{L}{A} \geq \frac{v^2}{395}$$

Siendo K el recíproco de la variación de la pendiente por unidad de longitud.

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

Criterio de apariencia: Se aplica al proyecto de curvas -- verticales en columpio, ó 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 porcentaje

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

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

$$L \leq 43 A$$

Criterio de seguridad: Se aplica a curvas en cresta ó en -- columpio, la longitud de la curva en este criterio debe -- ser tal, que en toda la curva la distancia de visibilidad sea mayor ó igual a la de parada. En algunos casos por el tipo de carreteras ó nivel de servicio, se obligue a dise-- ñar curvas verticales con la distancia de visibilidad de -- rebasc.

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

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

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

Por lo que $P_1 = c$ y $P_2 = rL + c$

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

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

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

Quando $x = 0$, $y = 0$ y $C_1 = 0$

$$\frac{Y + Y'}{X} = P_1 \quad \text{Sustituyendo en 2 tenemos:}$$

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

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.

P_1 = Pendiente de entrada a la curva.

P_2 = Pendiente de salida a la curva.

A = Diferencia algebraica de pendientes.

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 ($D > L$).

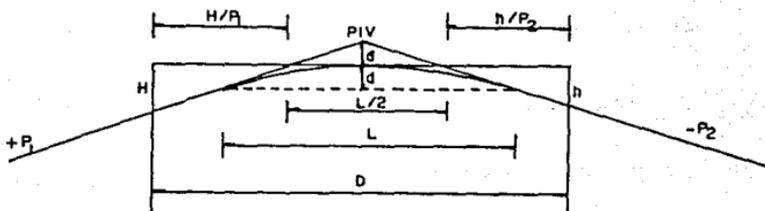


Fig. (2.11) Longitud de curva vertical en cresta ($D > L$).

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

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:

$$\frac{dD}{dP_1} = -\frac{H}{P_1^2} + \frac{h}{(A - P_1)^2} = 0$$

$$\frac{H}{P_1^2} = \frac{h}{P_2^2}$$

Despejando P_1 y P_2

$$P_1 = P_2 \sqrt{\frac{H}{h}} \quad \text{y} \quad P_2 = P_1 \sqrt{\frac{h}{H}}$$

$$A = P_1 + P_2 = P_1 \left(\sqrt{\frac{h}{H}} + 1 \right) = P_2 \left(\sqrt{\frac{H}{h}} + 1 \right)$$

$$P_1 = \frac{A}{\sqrt{\frac{h}{H}} + 1} ; \quad P_2 = \frac{A}{\sqrt{\frac{H}{h}} + 1}$$

Sustituyendo P1 y P2 y arreglando términos:

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

Despejando "L"

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

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

$$D = D_p ; H = 1.14m ; h = 0.15m$$

considerando A en por ciento

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

Para la distancia de visibilidad de rebase.

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

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

Segundo caso; cuando el vehículo y objeto se encuentran en la curva ($D < L$).

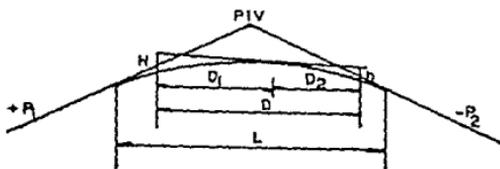


Fig.(2.12) Longitud de curva vertical en cresta ($D < L$).

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

Para la distancia de visibilidad de parada, se sustituye:

$D = D_P$; $H = 1.14\text{m}$; $h = 0.15\text{m}$; "A" en por ciento

$$L = \frac{AD_P^2}{425}$$

Para la distancia de visibilidad de rebase, se tiene:

$D = D_R$; $H = 1.14\text{m}$; $h = 1.37\text{m}$, "A" por ciento.

$$L = \frac{AD_R^2}{1000}$$

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

La AASRO, 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 fórmulas 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:

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

$$\text{Cuando } S < L \quad S = 3.62 \sqrt{L/A}$$

$A =$ Diferencia algebraica de pendientes ; % \div 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 1.37m.

La AASHO ha recomendado que por experiencia ninguna curva vertical tenga una longitud menor de 305 metros.

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 criticos.

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

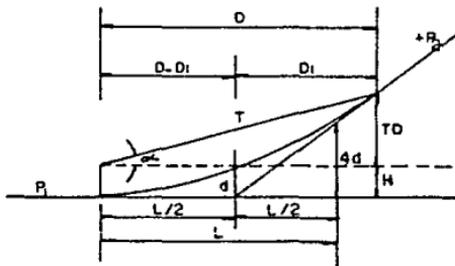


Fig.(2.13) Longitud de curva vertical en columpio ($D > L$).

$D = D1 + L/2$; por triángulos semejantes.

$$\frac{D1}{TD + H} = \frac{L/2}{4 d} \therefore D1 = \frac{(TD + H) L}{8 d}$$

Como $d = AL/8$. . . $D1 = \frac{TD + H}{A}$

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

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

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

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

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

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. ($D < L$).

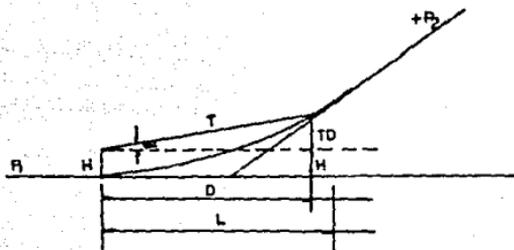


Fig. (2.14) Longitud de curva vertical en columpio.

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

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

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

Para la distancia de visibilidad de parada:

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

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 más allá de lo permisible ó 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/hr.).

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 ó 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 más crítico.

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

2.2 PROYECTO DE DRENAJE

El drenaje en una carretera, es de vital importancia, ya que de este depende la funcionalidad y duración de la obra.

La función principal del proyecto de drenaje es evitar que el agua afecte al camino y alejarla lo más pronto posible de este, de tal manera que evite su deterioro y prolongue su duración.

El agua de lluvia al caer sobre la superficie terrestre, escurre en forma natural, ya sea superficialmente, infiltrándose al subsuelo ó puede evapotranspirarse.

Los escurrimientos de agua superficiales se van uniendo en su trayectoria con otros, formando arroyos y éstos a su vez formarán ríos, que pueden llevar sus aguas al mar ó a las depresiones continentales como son los lagos y lagunas.

Al construirse un camino, por lo general se corta el escurrimiento natural, permitiéndose el paso del agua, solo en los sitios elegidos por el proyectista, en los que se construirán obras que permitan alejar el agua del camino lo más pronto posible evitando que lo dañe.

El agua es uno de los principales elementos; que causa mayor problema al camino, ya que en general provoca la disminución de la resistencia de los suelos, por lo que se presentan fallas en terraplenes, cortes y superficies de rodamiento. Lo anterior conduce a resolver el drenaje, de tal forma, que el agua se aleje lo más pronto posible de la obra, de aquí surge el drenaje artificial.

Drenaje artificial: Es el conjunto de obras que sirven para captar, conducir y alejar del camino el agua que puede causarle problemas.

De esta manera, el agua que antes de la construcción del camino corría libremente deberá canalizarse en forma adecuada para concentrarse en las obras de captación y conducción.

Resumiendo lo anteriormente dicho, al construirse un camino, se modifican las condiciones del escurrimiento en las zonas que éste atraviesa, lo que puede ser causa de diversos problemas tales como erosiones, depósitos, inundaciones, etc.

Por otro lado, las características de las cuencas se verán alteradas al construirse el camino, pues esto al provocar el desarrollo económico de su zona de afluencia, propiciará modifica

ciones en el uso de la tierra; así en una zona que antes del camino era boscosa se llevarán a cabo desmontes que alterarán la rapidéz de concentración del agua, lo que aumentará la erosión de la cuenca y propiciará la acumulación de azolves aguas abajo; que finalmente modificarán el régimen pluviométrico.

Asimismo, al construirse el camino, el agua que se infiltró al subsuelo tiende a aflorar por los taludes y cama del camino - dañando su estabilidad, por lo que es necesario cortar los flujos ó profundizar el nivel de las aguas freáticas.

El estudio de drenaje debe iniciarse desde la elección de ruta, para lo cual se deberá elegir la zona que provoque menos problemas de escurrimiento. De ser posible utilizando las pendientes máximas permisibles, se tratará de aprovechar los partesaguas en donde el drenaje será mínimo.

Cuando los caminos se localizan en las laderas de las serranías, el drenaje aumenta, sin embargo las cuencas y los escurrimientos están generalmente bien definidos; pero es en terrenos planos en donde se pueden tener mayores problemas de drenaje, ya que a menudo, ni las cuencas ni los escurrideros están bien definidos.

Si desde la etapa de selección de ruta, no se elige la zona más adecuada, se tendrán problemas durante la vida del camino, aumentando innecesariamente los costos de conservación; es por ello que aunque los caminos sean de corta longitud es necesario se efectúen reconocimientos, que en estos casos pueden ser a pié ó a lomo de bestia; cuando la longitud del camino por construir ó rehabilitar ya es importante, los primeros reconocimientos se deberán realizar en avionetas ó helicóptero, sin descartar el uso de fotografías aéreas que están a la disposición de los proyectistas en diferentes organismos del Gobierno Federal (INEGI, S.C.T. y S.A.R.H.) de los gobiernos de los estados y de particulares.

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

- a) Precipitación directa.
- b) Escurrimiento del agua del terreno adyacente.
- c) Crecientes de ríos y arroyos.
- d) Infiltración directa ó por ascensión capilar a través del suelo.

El drenaje deberá preverse desde el reconocimiento de la línea, tratando siempre que sea natural para evitar la construcción de obras costosas, en la localización deberá escogerse sue los permeables, naturalmente drenados fijando los cruces de las corrientes de agua desde el punto de vista funcional y económico.

El trazo ideal sería igual al que siguiera a lo largo de los parteaguas de grandes zonas de drenaje, con lo cual las corrientes fluirán alejándose del camino y el problema se reduciría a canalizar el agua que cae directamente sobre la vía.

Se deberá evitar que el agua de arroyos; taludes u hondonas sea remaneada por los terraplenes, existiendo peligro de -- deslaves; evitar que el agua subterránea ascienda hasta la subra sante, originando baches en el pavimento.

CONSIDERACIONES HIDROLOGICAS 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 ó de lluvia fina durante períodos largos.

El tamaño de la cuenca ó 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 concentra más rápidamente y si la topografía lo permite se tendrán cauces más directos.

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 considerable, ya que a mayor vegetación, la concentración de agua disminuirá.

CLASIFICACION DEL DRENAJE

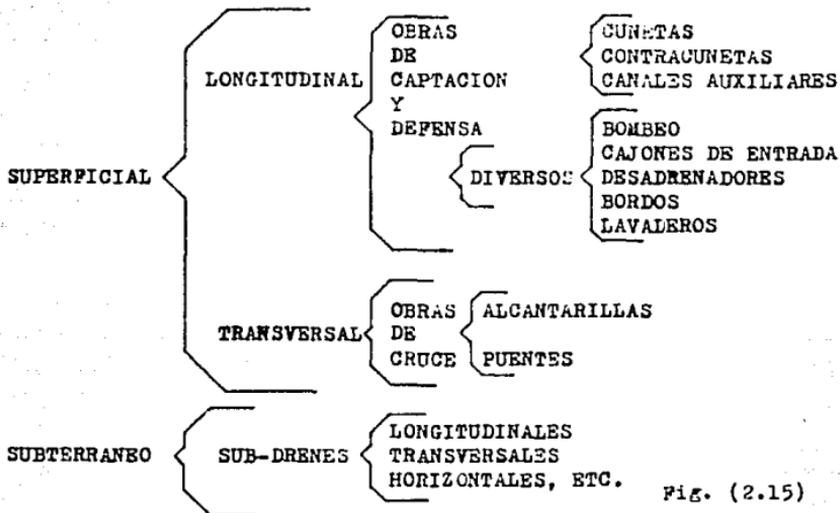


Fig. (2.15)

DRENAJE SUPERFICIAL

En los caminos, el drenaje superficial es destinado a captar y eliminar las aguas que corren sobre el terreno lateral ó sobre la estructura, principalmente estas aguas proceden directamente de las precipitaciones, aunque a veces tienen también su origen en inundaciones de corriente como rios, arroyos ó manantiales.

El drenaje superficial se clasifica según la posición que las obras guardan respecto al eje del camino de ahí se deduce - el drenaje superficial longitudinal y el drenaje superficial -- transversal; asimismo a las obras de drenaje longitudinal se -- llama obras de captación y defensa y; a las obras transversales se les denomina obras de cruce.

DRENAJE LONGITUDINAL

Es aquel que tiene por objeto captar los escurrimientos -- para evitar que lleguen al camino ó permanezcan en él, de tal -- manera que no caucen desperfectos; quedan comprendidos en este -- tipología cunetas, las contracunetas, canales de encausamiento, -- bordillos; se le llama drenaje longitudinal, porque está situa-- do en forma más ó menos paralela al eje del camino.

CUNETAS: Son canales que se construyen a los lados del camino - en cortes, con objeto de recibir el agua pluvial a la mitad de la sección en tangente ó de toda, esta en curva que escurre en la corona del talud de corte y del terreno natural adyacente pa-- ra conducirla hacia una corriente natural ó una obra transver-- sal.

Para calcular el área hidráulica de las cunetas, será necesario tomar un cuenta las diferentes características del área por dre-- nar.

Se ha considerado suficiente para la mayoría de los casos la utilización de una sección triangular, cuya profundidad sea de 33cm., ancho de 1m. y con taludes del lado de la corona de 3:1 y del lado del corte el que corresponda al material que se encuentre; la longitud de ellas no deberá ser mayor de 250m. si sobrepasa esa longitud, deberá construirse una obra de alivio. También hay cunetas de sección rectangular y sección trapezoidal, pero estas no son recomendables, ya que causan inseguridad a los conductores, además de 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 pavimente el camino, la cuneta quede con su ancho especificado, ver figura (2.16).

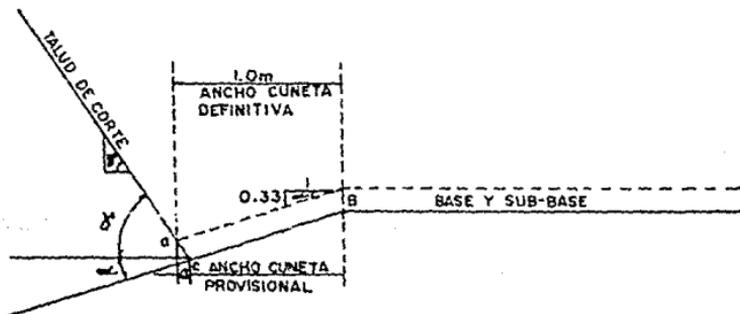


Fig. (2.16) Cuneta provisional.

Si el material de las cunetas es erosionable, se deberá reducir la velocidad que alcanza el agua, esto se logra 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 ó en ciertos casos revestirlos; en las tablas siguientes se muestran las velocidades del agua que erosionen los diferentes materiales y los gastos y velocidades con diferentes pendientes en cunetas tipo (1m x 0.33m).

Tabla de velocidades del agua en los diferentes materiales.

MATERIAL	VELOCIDAD m/Seg.
Arena fina	0.45
Arcilla arenosa	0.50
Arcilla ordinaria	0.85
Arcilla firme	1.25
Grava fina	2.00
Pizarra suave	2.00
Tapetate	2.00
Grava gruesa	3.50
Zampeado	3.4-4.5
Concreto	4.5-7.5

Tabla (2.5)

Tabla de gastos y velocidades en función de la pendiente long.

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

Tabla (2.6)

CONTRACUNETAS

Son canales que se construyen en las laderas aguas arriba de los cortes de una obra vial y que tienen por objeto impedir que escurra el agua por la ladera y por el corte y que a su vez esta agua llegue a las cunetas.

Para su localización y proyecto deberá tomarse en cuenta la formación geológica del lugar, así como también 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 0.80m. en la plantilla -- (ancho) y de profundidad 0.50m., el talud de aguas abajo será el adecuado para que no se derrumbe y el de aguas arriba deberá ser mayor ó igual que el anterior con el fin de evitar que se erosione con el escurrimiento.

La distancia de la contracuneta al borde del corte será como mínimo de 5.00m. ó una distancia igual a la altura del corte, si esta es mayor; su pendiente será uniforme, evitándose que se rebase la velocidad de socavación; en el desfogue al llegar a la caída u hondonada, se hará una rápida caída, protegiendo el terreno natural, con zameado ó concreto.

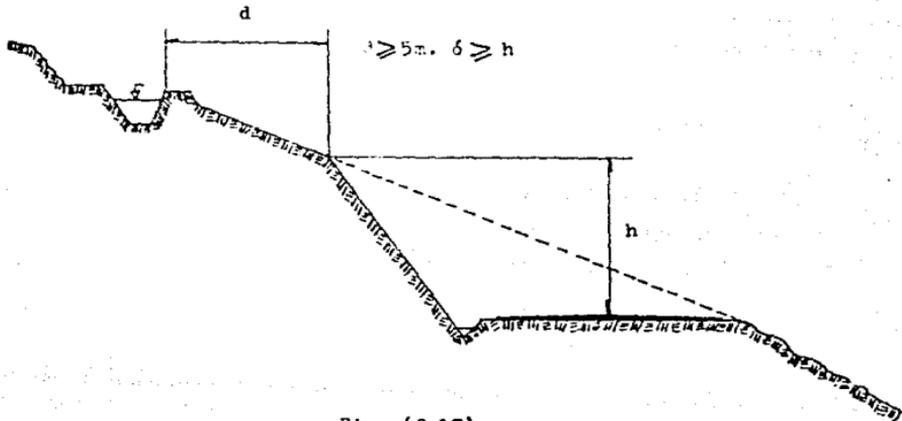


Fig. (2.17)

CANALES DE ENCAUSAMIENTO O AUXILIARES

Son canales construídos donde el terreno es plano, el escurrimiento es de tipo torrencial y no existen causas definidas. Se ubican 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 erosionándolos, encauzando el agua hacia lavaderos u obras de alivio.

Su forma es trapezoidal con dimensiones de 16cm. de base, 12cm. de altura y 8cm. de corona.

CAJONES DE ENTRADA, DESADRENADORES 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, desadrenadores, pozos de visita, etc.

Los muros transversales se colocan aguas abajo de la alcantarilla para producir embalse y obligar a que el agua entre cuando existan muchos azolves, basura, ramas, etc., se dispone de los cajones de entrada que retiren los azolves depositándolos en la parte inferior, en forma semejante funcionan los desagües drenadores.

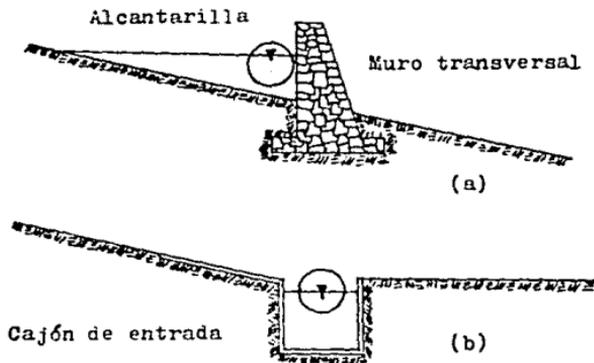


Fig. (2.18) a y b

DRENAJE TRANSVERSAL

Es aquel drenaje que tiene por objeto dar paso expedito del agua que cruza de un lado a otro del camino, ó bien retirar lo más pronto posible el agua de su corona.

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

Quedan comprendidos en este tipo de drenaje los tubos, losas, cajones, bóvedas, 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 estas en claro mayor y claro menor, las de claro mayor miden 6 metros ó más y las de menor miden menos de 6 metros.

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

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

BOVEDAS.- Son estructuras de sección transversal formadas -- por un piso, dos paredes verticales y un arco circular de medio punto ó rebajado.

LOSAS.- Son estructuras formadas por dos muros de mamposte -- ría 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 ó concreto.

VADOS

Son estructuras superficiales del camino, en el cruce con un escurrimiento efímero ó 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 ó parábola con pendiente de entrada máxima de 4% y ligándola al camino a través de curvas verticales inversas a las del vado.

PUNTES

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

BOMBEO 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 varia de 1% a 4%.

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 atraviesan el camino. Por la forma de su sección y del material que están construídas, estas estructuras de drenaje pueden clasificarse en tubos, bóvedas, losas y cajones.

En la forma 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 0.60m. en tuberías y 1.0m, 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.

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) Elevación del tipo de obra.
- d) Cálculo dimensional y estructural.
- e) Elaboración del funcionamiento del drenaje en tramos de 5km.

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 éstos 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 efectuará 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 braza como materiales de 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 S.C.T. 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.

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 determinada por comparación la sección de las obras de cruce.

- 2.- Método empírico: 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 = Área hidráulica necesaria en la obra en m².

A = Área 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 (m³/ 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 minutos.

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 sin 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 pesar. 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.

Cálculo dimensional y estructural de una alcantarilla: El cálculo dimensional consiste en encontrar sus dimensiones físicas, de acuerdo a la sección ó secciones transversales entre las que se 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 longitud de la rasante (f).
- g) Pendiente de la obra (S).
- h) Pendiente transversal del camino, ya sea de bombeo ó de sobreelevación (W_1, W_2, S).
- i) Talud de corte ó 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 30cm. mayor a la dimensión vertical de la obra y que el talud del terraplén lo corte en 15cm. abajo del coronamiento (dimensiones en cm.).

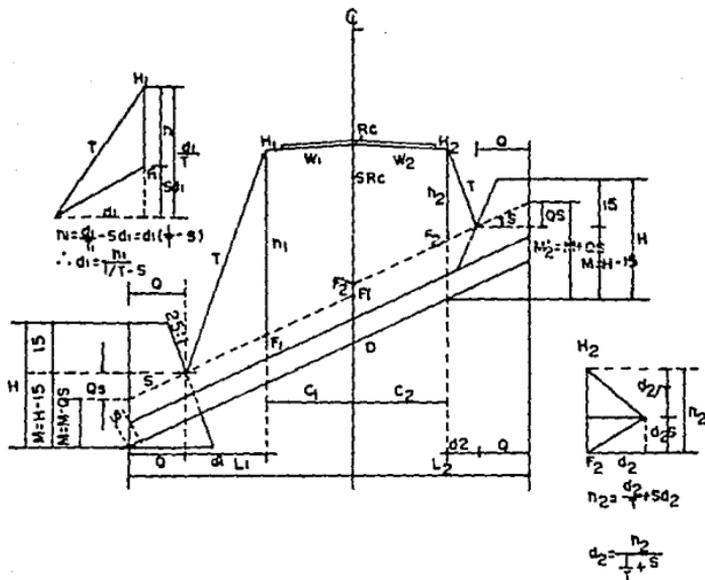


Fig. (2.19) Elementos para el cálculo de longitud de las alcantarillas.

$$\begin{aligned} \text{De la figura: } H &= \frac{I}{I_1} + 30 \\ M &= H - 15 \end{aligned}$$

Lado izquierdo:

$$M_1' = M_1 - Q S$$

$$F_1 = D + M_1$$

$$F_1 = F_1' - C_1 S$$

$$H_1 = R_c - C_1 S$$

$$M_1 = R_c - w_1 G_1$$

$$h_1 = h_1 / l - S$$

$$d_1 = h_1 / l - S$$

$$T_1$$

$$L_1 = Q + d_1 + C_1$$

Lado derecho:

$$M_2' = M_2 + Q S$$

$$F_2 = D + M_2'$$

$$F_2 = F_2' + C_2 S$$

$$H_2 = R_c - w_2 G_2$$

$$h_2 = H_2 - F_2$$

$$d_2 = h_2 / l + S$$

$$T_2$$

$$L_2 = Q + d_2 + C_2$$

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

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 será en función de la pendiente (S) de la plantilla.

$$S = \frac{\beta}{\phi + d} \quad ; \quad \beta = S (\phi + d)$$

S = Pendiente de la plantilla.

ϕ = Diámetro del tubo.

d = Espesor del tubo.

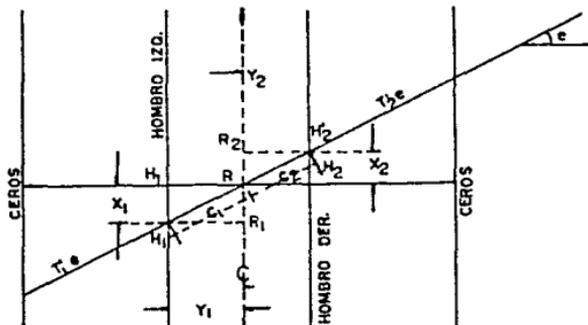


Fig. (2.20) Elementos necesarios para el cálculo de la longitud de alcantarilla esviadas.

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

a) Talud esviajado.

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

Donde:

T_e = Talud esviajado

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 esviajados.

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

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

$$G_1 = \frac{Y_1}{\cos e}$$

$$G_2 = \frac{Y_2}{\cos e}$$

$$R_1 = R - P X_1$$

$$R_2 = R - P X_2$$

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

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

Para contener el material de los taludes del terraplén 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 S.C.T. 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.

Puentes.

Se denomina puente a la estructura de drenaje transversal que posee un claro mayor de 6.0m. 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) Elevación del tipo de obra.
- d) Cálculo dimensional y estructural.
- e) Funcionamiento del drenaje en ese tramo.

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 0.40m. 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 ó flotadores ó 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 40cm. 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 ó cimentación.

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

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 definido el tipo 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.

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, sino que también hay agua en trampa como residuo de antiguos lagos ó agua procedente de vapores arrojados por actividad volcánica. Esta agua se encuentra en las partículas del suelo ó en cavidades de rocas, fallas ó 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 cara del camino, lo que puede ocasionar fallas del talud ó 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 ó de la cara 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 ó 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.

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 m., en el fondo sobre una plantilla de concreto pobre, se coloca en un tubo de concreto, perforado por su parte inferior y relleno en material filtrante.

La finalidad de este tipo de subdren es bajar el nivel freático de la cama del camino y en menor escala disminuir la zona saturada del talud de corte, el material filtrante más adecuado es la grava-arena con tamaño máximo de grava de 2 pulgadas 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.

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 se usan 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 al 20%, antes de la introducción se hace una perforación de 10 cm.; la longitud de estos tubos debe ser tal que cruce 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 5 m.; el agua captada por el drenaje descargará a una cuneta ó alguna obra especial para ello, como puede ser un tubo vitrificado de concreto ó plástico.

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

El gasto que captara cada subdrenaje depende de la permeabilidad de las formaciones atravesadas y en ciertos casos del hecho fortuito de que se capturen venas acuíferas ó 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 60cm. de diámetro, dentro de las cuales se coloca un tubo perforado de 15cm. 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.

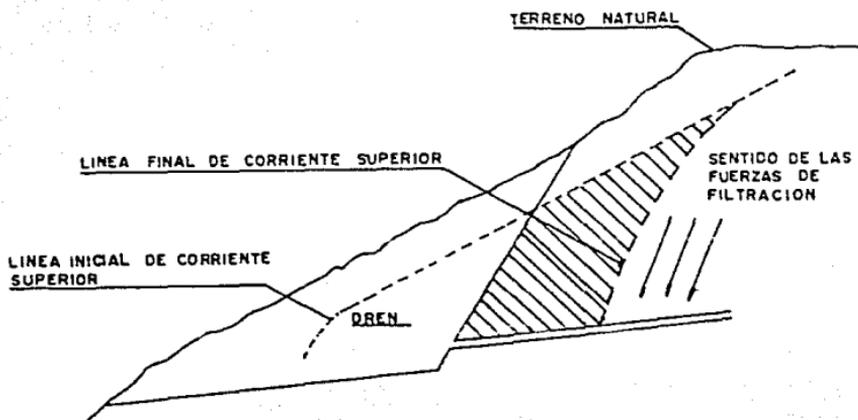


Fig. (2.21) Forma de captación de un dren transversal de talud.

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 5Km., estos consisten en un resumen en forma de legajo, de la manera 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 encuentran 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.

2.3 PROYECTO DE PAVIMENTOS (FLEXIBLES)

Desde la aparición del automóvil, se ha tratado de proporcionar a los usuarios caminos con superficie de rodamiento y resistencia adecuada al volumen y peso de los vehículos; así pues en diferentes países se han desarrollado métodos para la estructuración de la sección transversal de caminos. Estos métodos, - sobre todo los que más se usan, son de tipo empírico ya que hasta ahora no ha sido posible englobar en forma técnica, en una fórmula de diseño, todas las variables que afectan el comportamiento de éstas obras.

Sin embargo es conveniente conocer los estudios técnicos de distribución de esfuerzos a través de la masa de los suelos, -- cuando en esta actúa una carga superficial y que tienen como -- punto de partida la teoría de Boussinesq; con ello el proyectista puede tener una idea ligera de lo que pasa en el suelo, ya -- que su comportamiento es bastante diferente a lo predicho por -- la teoría, debido principalmente a que los suelos no son homogéneos, isótropos ni elásticos como se les supone, además las cargas que actúan en los pavimentos no son de tipo estático sino -- que son dinámicas en diferentes sentidos, asimismo las características físicas del suelo varían en cuanto a su propia formación, a su contenido de humedad ó posición del nivel de aguas freáticas, etc.

La estructuración de la sección transversal de una vía terrestre como cualquier obra de ingeniería debe ser funcional, - es decir, debe cumplir con las finalidades para la cual fué proyectada y además debe ser económica, lo que indica que debe tener menor suma de costos de construcción, operación y mantenimiento ó conservación.

Como las tecnologías actuales se basan en conocimientos empíricos existe la posibilidad de que personas ajenas a estas obras, sin ninguna base práctica presenten tecnologías en las que en el mejor de los casos resultan estructuras muy sobradas y desprecian la labor del profesionista de la ingeniería de pavimentos, ya que en general estas tecnologías se presentan en forma de recetas y al proyectista no tiene oportunidad de hacer el mejor uso de los materiales cercanos a las obras para que estas, siendo funcionales también sean económicas. En muchas ocasiones éstas personas sin juicio técnico pueden tener poder político y de esta manera provocar un enorme encarecimiento de las obras y disminución de los programas de construcción, dejando sin comunicación vastas zonas, sobre todo en países en desarrollo como el nuestro, que tanta necesidad tiene de aumentar su sistema de comunicación terrestre.

Para evitar en lo posible lo anterior, ya que en muchos casos los intereses y las posiciones políticas tienen una influencia decisiva, es necesario que se cuente con un control de calidad

dad eficiente con el que se pueda tener la historia de las obras y saber si en la construcción se cumplió en forma parcial ó total con el proyecto ó si se tuvieron deficiencias graves, así -- como la intervención que se haya tenido en la etapa de conservación, conociendo el tipo y fecha en que se realicen las rehabilitaciones ó reconstrucciones, así como el incremento del tránsito en cuanto a número y cargas, con lo cual se pueden hacer los ajustes racionales y necesarios a la tecnología de proyecto y aún a la calidad de los materiales que se utilicen, y de esta manera el ingeniero puede defenderse de los embates de los políticos.

Se tienen noticias de las tecnologías desarrolladas en otros países a través de la literatura y ponencias que se presentan en los congresos; pero en general esta información no es completa y en muchas ocasiones, al adoptarse una tecnología determinada se utilizan nomogramas ó modelos matemáticos de proyectos obtenidos para una prueba de resistencia, con datos adquiridos de otra --- prueba diferente y muy a menudo, tampoco se tomen en consideración las condiciones climáticas para las cuales fueron proyectados.

A continuación se dá un repaso breve a las teorías de distribución de esfuerzos en las estructuras de pavimentos flexibles, se indican los elementos para la elaboración de una tecnología de diseño y se describe la Porter modificada (Padrón).

De la tecnología avanzada en la prueba de Porter modificada, se hace una descripción más completa, ya que por haber sido elaborada por ingenieros Mexicanos es la que más se utiliza y - de la que se tiene mayores datos y experiencia en el país.

DISTRIBUCION DE ESFUERZOS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

Los principales problemas que el ingeniero debe resolver -- para proyectar en forma adecuada los pavimentos, son los mismos a los cuales se enfrenta la mecánica de suelos; resistencia y - deformación. Por ello es necesario conocer la distribución de - los esfuerzos en la estructura de una obra vial, originados por las cargas impuestas por el tránsito sobre la superficie de roda miento.

Antiguamente se suponía que las cargas impuestas en forma - superficial a los suelos se distribuían a través de ellos de a-- acuerdo con un ángulo de 30° con la vertical. Después se demostró que esa suposición no era correcta y el Fránces J. Boussinesq, - con base en la teoría de la elasticidad, derivó la fórmula para calcular la distribución de esfuerzos, inducidos por una carga - superficial concentrada a través de una masa de suelo homogénea isotrópica de dimensiones seminfinitas.

De acuerdo con esta teoría, el esfuerzo normal (σ_z) que -- actúa sobre una partícula situada a una profundidad (z) a partir de la superficie y a una distancia (r) de la carga concentrada - es:

$$\sigma_z = K \frac{P}{z^2}$$

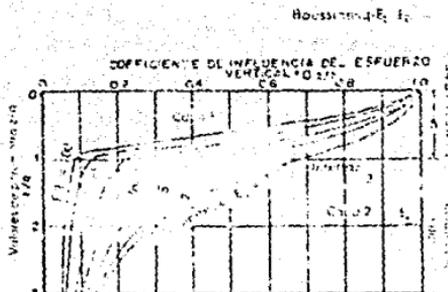
en la que:

$$K = \left(\frac{3}{2\pi} \right) \left(\frac{1}{(1+(r/z)^2)^{5/2}} \right)$$

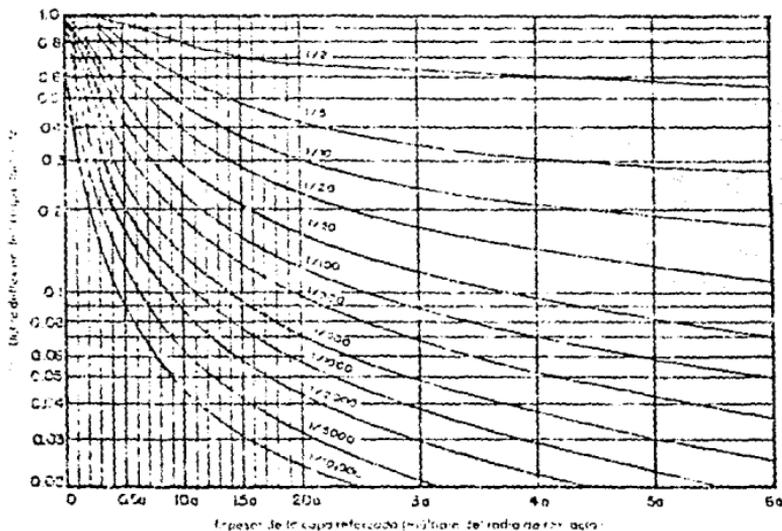
Según esta ecuación, el esfuerzo normal σ_z es independiente de las características del suelo. Para el caso de placas circulares de radio a , con carga repartida uniforme, se efectuó una integración de la ecuación anterior; para el cálculo práctico de esta solución, se cuenta con los nomogramas de Neumark y los valores tabulados de Ahlvin y Uleri.

La estructuración de los pavimentos flexibles se hace tomando en cuenta que los módulos de elasticidad de las capas que los constituyen tengan un valor menor, a medida que su localización es más profunda; a esto se debe que en fechas recientes ha tomado auge el estudio de estos pavimentos basándose en las teorías de distribución de esfuerzos a través de suelos estratificados.

Burminster efectuó el estudio para el caso de la doble capa, que consta de un primer estrato superior de espesor finito, que se apoya en el siguiente de espesor infinito; ambas extendiéndose indefinidamente en sentido lateral.



Graf.(2.2) Gráficas que muestran la distribución de los esfuerzos en el caso de tener dos materiales, - el primero con módulo de elasticidad E_1 y espesor finito h , y el segundo con módulo de elasticidad E_2 y espesor infinito.



Gráf.(2.3) Gráficas para encontrar el valor de F_2 , con el que se calculan las deflexiones en un sistema de doble capa.

La gráfica (2.2) indica la solución para el caso particular en que el espesor del pavimento (subbase, base y carpeta asfáltica muy delgada), tenga un espesor igual al radio de la placa cargada y variando la relación de los módulos de elasticidad.

En este caso, se pueden calcular las deflexiones totales, - haciendo uso de la ecuación siguiente para la que el valor F , se obtiene de la gráfica (2.3).

$$\Delta = c \left(\frac{pa}{E_2} \right) F_2$$

En la que:

$c = 1.5$ para placas flexibles

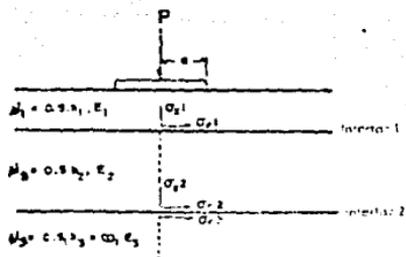
$c = 1.18$ para placas rígidas

p = presión de contacto

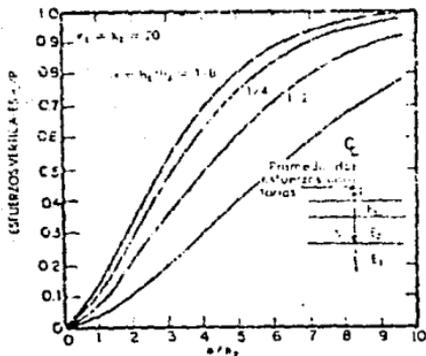
a = radio de la placa

E_1, E_2 , módulos de elasticidad de las capas 1 y 2

F_2 = factor que se obtiene de la gráfica (2.6).



Gráf.(2.4) Sistema de triple capa: Dos capas de espesor finito y la tercera de espesor infinito. Los módulos de elasticidad son E_1, E_2 y E_3 , respectivamente.



Gráf.(2.5) Relación de esfuerzos verticales en la segunda interfaz de un sistema de tres capas en función de a/h_2 y h_1/h_2 .

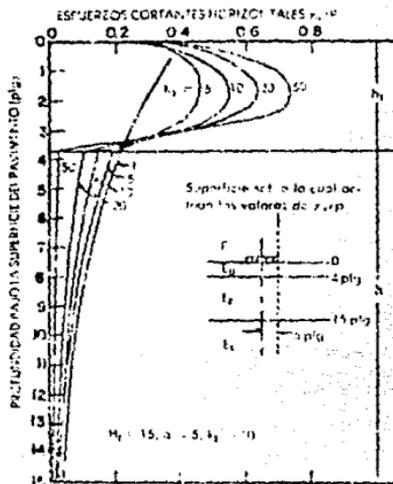
El caso de la triple capa (gráfica 2.4), es aquel en que se tienen en la parte superior dos capas de espesor finito (h_1 y h_2), que se apoyan sobre una tercera de espesor infinito, teniendo las tres, diferentes módulos de elasticidad (E_1 , E_2 y E_3).

Haciendo uso de gráficas y tablas, debidas a los estudios de Jones y Peattit, se pueden conocer diferentes esfuerzos en las superficies de contacto; las deformaciones se pueden calcular con las ecuaciones generales de la teoría de la elasticidad.

Para el ingeniero proyectista es importante analizar las consecuencias que se presentan cuando se modifican las características de las capas en cuanto a espesor y módulos de elasticidad; así analizando la gráfica (2.5) se observa que al aumentar el espesor de la segunda capa, se disminuyen los esfuerzos normales en la subrasante. El mismo defecto, pero disminuído se tiene al aumentarse E_1/E_2 (gráfica 2.2).

En relación con los asentamientos, éstos se verifican en un 80% en las terracerías y como la magnitud de las deformaciones es función directa de los esfuerzos actuantes, los mismos factores que hacen disminuir a éstos, harán disminuir a aquellas.

El beneficio que se tiene al aumentar la rigidez de la capa superior, sin modificar la de las inferiores, es a costa del aumento de los esfuerzos cortantes horizontales, principalmente



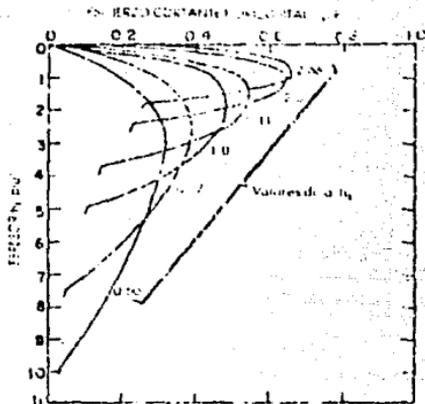
Gráf. (2.6) Distribución típica de esfuerzos cortantes en un sistema de tres capas.

en la capa superior, como se observa en la gráfica (2.6), en la que además se nota que el esfuerzo máximo se presenta aproximadamente al centro de la capa y bajo la orilla de la placa cargada; por otro lado se indica que al aumentar la relación E_1/E_2 - los esfuerzos de este tipo, en el interfaz tienden a disminuir.

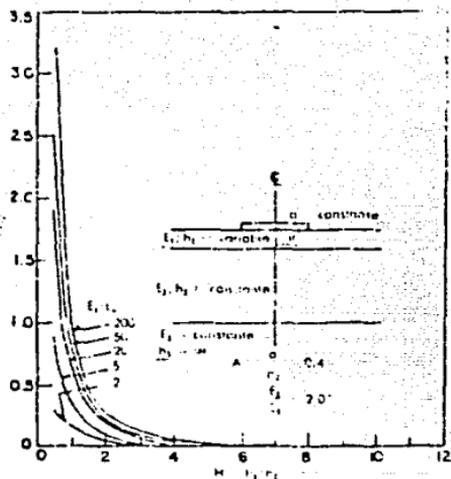
En la gráfica (2.7), se aprecia que en este esfuerzo constante horizontal, la disminución es considerable al aumentar el espesor h_1 y el máximo tiende a localizarse en el tercio superior de la capa.

Como se observa en la gráfica (2.8), los esfuerzos de tensión en la primera superficie de contacto entre las capas se incrementan con rapidez al aumentar el valor de E_1/E_2 sobre todo si el espesor de la carota asfáltica (h_1) es menor al de la base (h_2). Esta observación indica con claridad la conveniencia - de colocar carpetas de concreto asfáltico sobre bases rigidizadas (cemento ó cal), para aumentar el valor E_2 y que no es conveniente utilizar carpetas asfálticas rígidas de espesores reducidos.

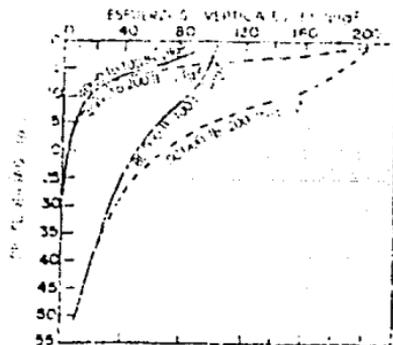
De la figura (2.9) en donde se señala el efecto que se tiene en el pavimento al modificar la presión de las llantas ó la carga de rueda, se deduce que un aumento en la carga requiere - aproximadamente el mismo espesor pero de mejor calidad; en cambio si se aumenta la presión, si se requiere aumento en el espesor.



Gráf.(2.7) Gráficos que muestran la influencia de (a/h) sobre la localización y magnitud de $(\pi z/p)$ para $a = 5plg.k_1 + k_2 = 20$.



Gráf.(2.8) Gráficas que muestran la variación del esfuerzo tangencial en la superficie que delimita a la primera y segunda capas al variar sus esfuerzos y la rotación E_1/E_2 .



Gráf.(2.9) Variación del esfuerzo vertical con la profundidad, al cambiar los valores de las cargas y las presiones.

TECNOLOGIAS PARA EL PROYECTO DE PAVIMENTO FLEXIBLES

En general, las tecnologías para el proyecto de pavimentos flexibles que actualmente estan en vigor son de tipo empírico y se basan en los aspectos siguientes:

- 1.- Cumplimiento de las normas de calidad de los materiales y observación de los procedimientos de construcción.
- 2.- Elección de una prueba de resistencia.
- 3.- Correlación de los resultados de la prueba de resistencia con el comportamiento real de los pavimentos.
- 4.- Obtención de nomogramas ó modelos matemáticos de proyectos.

MÉTODOS PARA EL PROYECTO DE PAVIMENTOS

Método de Rveem.
Método triaxial de Texas.
Métodos basados en el valor relativo de soporte.
Método del cuerpo de ingenieros del ejército U.S.A.
Método de la Porter modificada (patrón).

De los métodos mencionados anteriormente el que más se utiliza en México es el siguiente:

METODO DE LA PRUEBA DE PORTER MODIFICADA (PADRON)

En México se inició la construcción de caminos en 1925 con los que partiendo de la capital, unirían a las poblaciones de - Puebla, Veracruz, Guadalajara y Laredo; pero éstas obras fueron proyectadas y construídas por compañías extranjeras y no fué -- sino hasta la década de los 40 en que los ingenieros nacionales se hicieron cargo de estas obras y se vieron en la necesidad de utilizar un método para proyectar pavimentos, por lo que se interesaron en establecer ó adoptar una prueba de resistencia que fuera sencilla pero eficaz para este fin, y revisaron los estudios realizados por el Sr. J. O. Porter y la técnica que empezaba a utilizar el cuerpo de ingenieros del ejército de U.S.A.

La prueba de Porter modificada (padrón), consiste en obtener el valor relativo de soporte de un espécimen compactado estáticamente para obtener la combinación de peso volumétrico y - humedad que el proyectista crea conveniente, de acuerdo a las - condiciones críticas que se esperan en la obra, el espécimen no se satura.

De acuerdo a los resultados de la investigación, se dieron las siguientes recomendaciones para elaborar los especímenes:

Condiciones de zona	Grado de compactación	Humedad
Zonas con baja precipitación y buen drenaje ($NAP > 5m$)	100%	W_o
Zonas con condiciones regulares de drenaje y precipitación ($5m > NAP > 1m$)	95%	$W_o + 1.5\%$
Zonas con alta precipitación y mal drenaje ($NAP < 1m$)	90%	$W_o + 3.0\%$

El grado de compactación (G_c) es con respecto al PVSM obtenido en la prueba del Laboratorio de acuerdo al tipo de material y (W_o) es la humedad óptima correspondiente.

Se hace notar que las condiciones de drenaje son de la zona que atraviesa el camino y no se refiere al drenaje artificial, el cual en todos los casos debe estar perfectamente solucionado.

De hecho, para cada sondeo se necesitará solo un espécimen con las características que marque el proyectista; sin embargo, conviene en un banco de materiales, que cuando menos en la mitad

de los sondeos se efectúen las tres combinaciones indicadas, a fin de comprobar que los ensayos estén bien realizados y para - que el proyectista tenga una idea de cambio en las características del material al variar el peso volumétrico y la humedad.

A continuación se presenta un resumen sistematizado de la secuencia que se sigue en este método, basado en la prueba de - Porter modificada (patrón) y dos ejemplos de cálculo.

En primer lugar, el método patrón toma en cuenta los ele-mentos regionales y datos previos como economía, drenaje y regimen de lluvias, el nivel de aguas freáticas y la localización - de la subrasante con respecto al terreno natural.

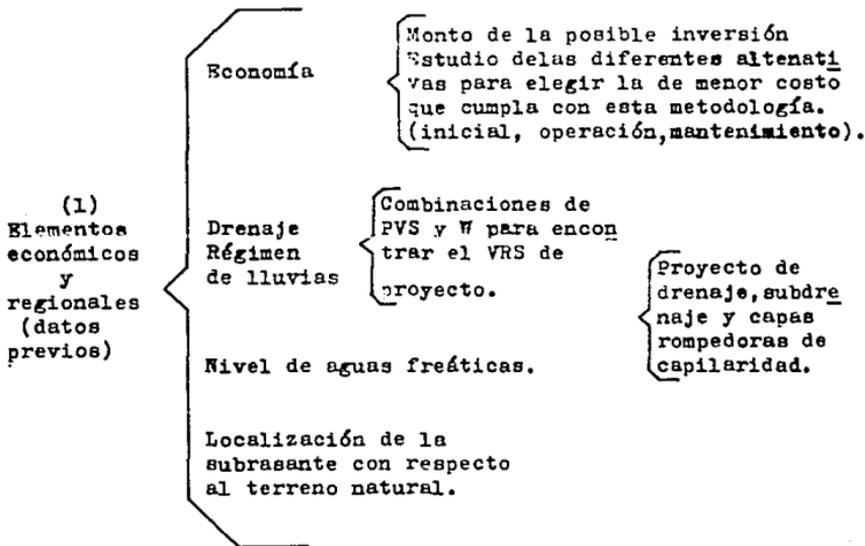
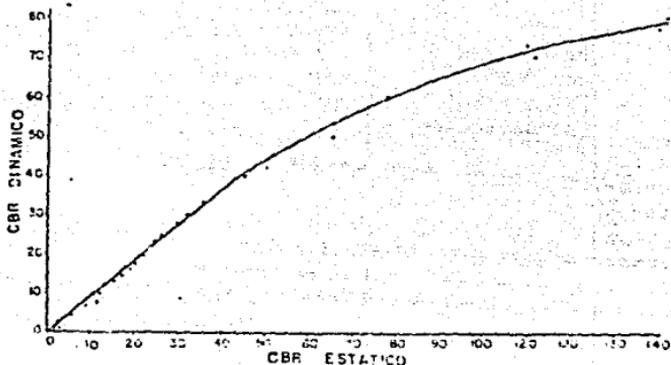


Figura (2.22)



Gráf.(2.10) Gráfica obtenida de los datos de la AASHTO Interim Guide for Design of Pavement Structures, 1972, en la que se muestra que los especímenes compactados estáticamente son más sensibles a los cambios de calidad de los materiales.

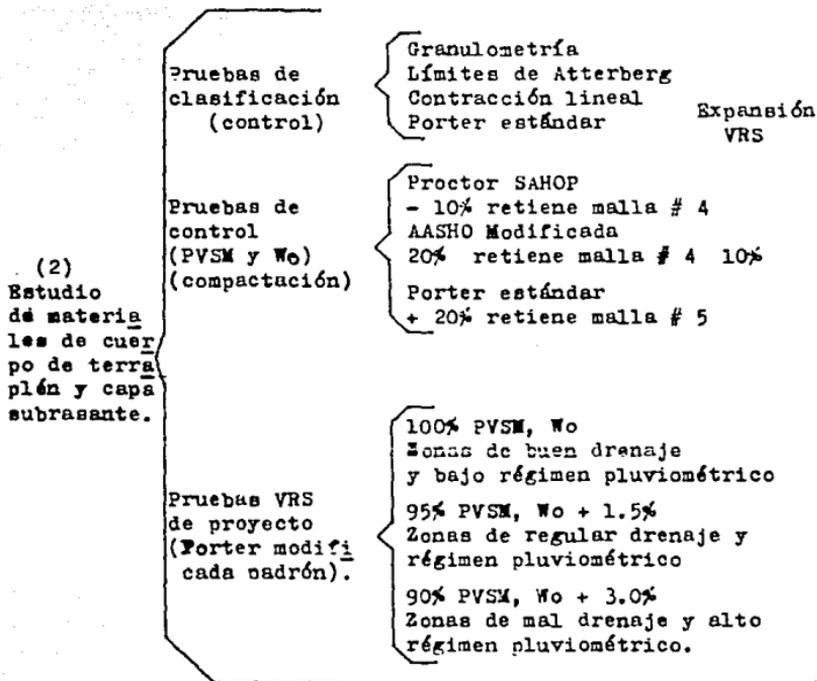


Figura (2.23) cuadro que muestra las pruebas que se realizan a los materiales de terracerías para el proyecto de la sección estructural de una vía terrestre.

Ensayo No. _____ Fecha _____ Laboratorio _____ Equipo No. _____

Peso (P) del molde, collarín y base, gramos _____ Volumen (V) del molde, cm³ _____

Alteza (a) del borde superior collarín a la placa de carga, cm³ _____

Peso volumétrico seco máximo (γ_m), kg/m³ _____ Humedad óptima (W_o) _____

Humedad que contiene el material (W₁) _____

Grado de compactación, % _____					
Peso volumétrico seco (γ _d) kg/m ³ _____					
Humedad de prueba (W ₂) _____					
Aguá por agregar, cm ³ = $500 \frac{(W_2 - W_1)}{(100 - W_1)}$ _____					
Peso máx húmedo, grs. $P_m = \frac{\gamma_d}{1000} \cdot \frac{(100 + W_2)}{100} V$ _____					
Peso de equipo con el máx húmedo, grs = P ₁ - P _m _____					
Carga de compactación, en kg _____					

Tabla(2.7) Forma para efectuar los cálculos y registrar los resultados de la prueba de Porter modificada (Padron).

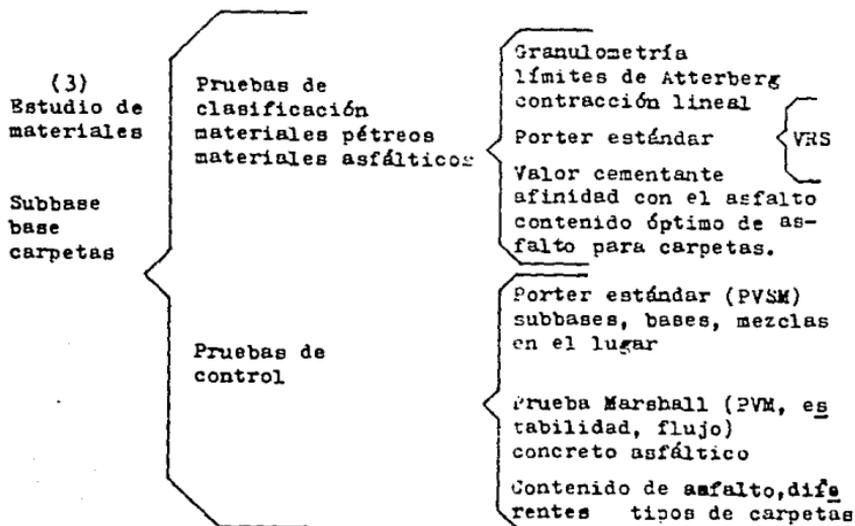


Figura (2.24) cuadro que muestra las pruebas que se realizan a los materiales de subbase, base y carpetas para el proyecto de la sección estructural de una vía terrestre.

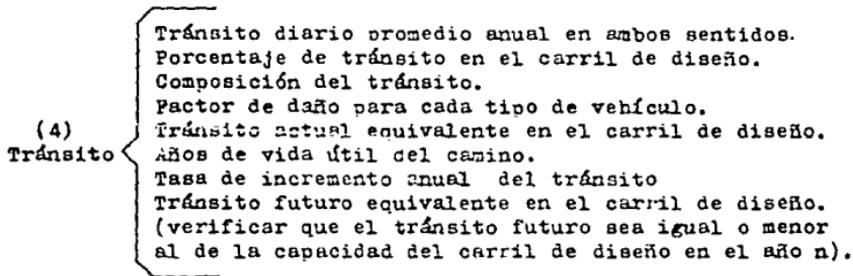


Figura (2.25) Resumen de características del tránsito para el proyecto de la sección estructural de una vía terrestre con pavimento flexible.

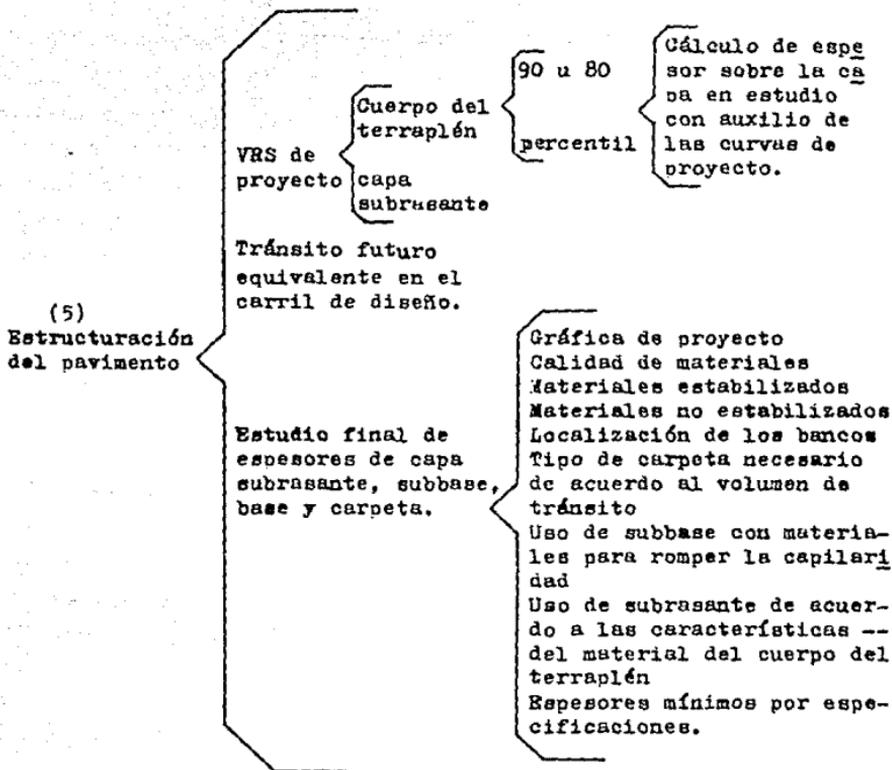


Figura (2.26) Elementos para la estructuración final de una vía terrestre.

En cuanto a economía, se debe conocer el volumen de tránsito que se tendrá al futuro para proyectar el tipo de vía terrestre

que se debe ejecutar, programándola de acuerdo con su evaluación por medio de la relación beneficio-costos o la tasa de retorno; - se deberán cuantificar económicamente las diferentes alternativas de estructuración de la sección transversal, tomando en cuenta - los costos de construcción del cuerpo del terraplén, capa subra--sante, subbase, base y carpeta para lo que se deben elegir, de -- acuerdo a la calidad y costo de extracción y acarreo, los bancos para los materiales que se utilizarán en la construcción (Fig. 2.22).

Para tomar en cuenta los problemas que el agua puede provocar a - los materiales y en la obra misma, es necesario conocer la preci--pitación pluvial y el drenaje que está influido por el tipo de to--pografía que se tenga; en general, se tiene mejor drenaje en terre--no montañoso o de lomerío que en terreno plano, aunque en aque--llos se tendrá mayor erosión; en el drenaje también influye la - formación geológica de los materiales que forman la corteza terre--stre; así, será diferente si se tienen arenas o arcillas, rocas - sanas o fisuradas.

La posición del nivel de aguas freáticas y la localización de la subrasante con respecto al terreno natural es de mucha importan--cia en el comportamiento de los materiales que se van a utilizar en la obra.

Conociendo estas características regionales que están muy relacio--nadas con el agua, el proyectista puede realizar o revisar el di--seño del drenaje y subdrenaje, así como realizar el estudio de -- los espesores de las capas, haciendo uso de las características - críticas de peso volumétrico y humedad que se deben reproducir -

en los especímenes para encontrar las resistencias de proyecto.

En este método, se realizan pruebas de clasificación, control y resistencia de los materiales de terracerías (cuerpo de terraplén y capa subrasante) y de los primeros dos tipos para las capas de base, subbase y carpetas.

Para clasificar los materiales de terracerías se realizan - las pruebas de granulometría, límites de Atterberg, contracción lineal y Porter estándar (Expansión y VRS) para realizar su control en la obra, además de las anteriores, la correspondiente a compactación, para la cual, en materiales con menos del 20% de finos o con índice plástico menor a 10% se aplica la Porter estándar, y para materiales con mayor cantidad de finos se utiliza la AASHTO modificada o la proctor 30 golpes. La prueba de resistencia de proyecto es la prueba de Porter modificada --- (Padrón) figura (2.23), que se lleva a cabo con los materiales de cuerpo del terraplén y capa subrasante con la combinación de peso volumétrico y humedad que el proyectista crea conveniente.

En los materiales de base y subbase, para clasificarlos se efectúan las pruebas de granulometría, límites de Atterberg, -- contracción lineal, Porter estándar (VRS), valor cementante y - afinidad de los pétreos con el asfalto, también es necesario conocer el peso volumétrico en estado suelto; la compactación se controla con la prueba Porter estándar.

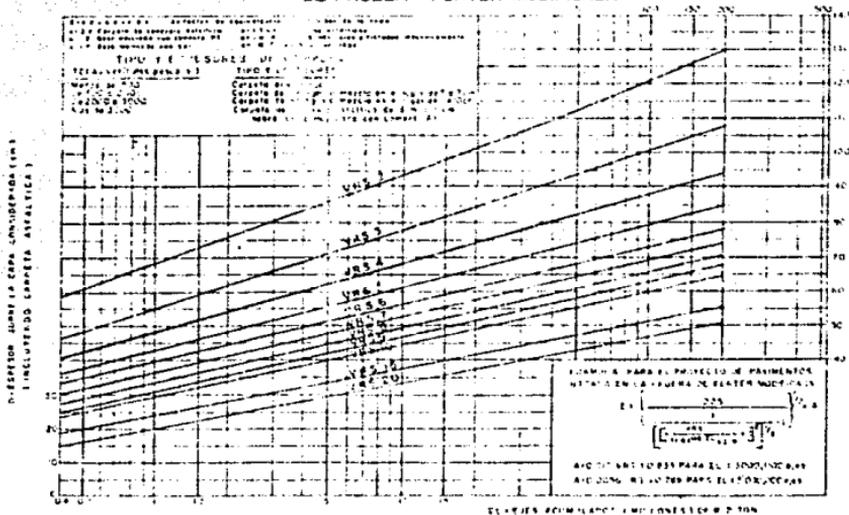
Para clasificar los materiales pétreos de carpeta se realizan las pruebas de granulometría, contracción lineal, dureza, - densidad y forma de la partícula; para los asfaltos se hacen - las pruebas de destilación, penetración, viscosidad, punto de - encendido, demulsibilidad, asentamiento, acidez y carga de la -

partícula, según el tipo de productos asfálticos que se utilizan, que pueden ser: cemento, rebajados ó emulsiones. Para las carpetas es necesario conocer el contenido óptimo de asfalto su resistencia ó estabilidad y el flujo; en la obra se controla, además de las características anteriores, el grado de compactación y la permeabilidad, fig.(2.24).

En cuanto al tránsito, se deben conocer las características que se indican en la fig. (2.25), revisando que el tránsito diario promedio anual en el último año de proyecto no rebase la capacidad del carril de diseño, pues en caso contrario se debe reducir el número de años de proyecto y programar la ampliación de la obra para esa fecha.

En resumen, la estructuración de la sección transversal --- con este método se realiza en la forma que se muestra en la --- fig.(2.26), se deberán conocer los valores relativos de soporte obtenidos de la prueba de Porter modificada (Padrón), para los materiales de cuerpo de terraplén y capa subrasante con la combinación de humedades que decida el proyectista y el tránsito futuro equivalente en el carril de diseño; por medio de las gráficas se calcula el espesor de capa subrasante (mínimo de 30 cm.) y de pavimento; de acuerdo a la calidad de los materiales (naturales ó estabilizados), el tránsito pesado actual y los espesores mínimos necesarios por construcción, se calculan los espesores de subbase (si se requiere), base y carpeta. Se debe tener especial cuidado en la calidad de los materiales, si se requieren capas rompedoras de capilaridad.

GRÁFICA PARA LA ESTRUCTURACION DE UNA OBRA VIAL EN BASE A VRS OBTENIDO DE PRUEBA PORTER MODIFICADA



Gráf.(2.11) Gráfica de proyecto por el método de Porter modificado (Padron), propuestas por el autor, con base en tránsito equivalente (8.2 ton) acumulado durante la vida útil de la obra.

Ejemplo No. 1

Para la construcción de un tramo de camino de dos carriles, se realizaron sondeos en los bancos para el cuerpo de terraplén (préstamo) y de capa subrasante; para cada uno de ellos se obtuvo el VRS de proyecto, correspondiente al 80 percentil, teniendo se los siguientes datos:

VRS de proyecto para el cuerpo del terraplén 5%.

VRS de proyecto para capa subrasante 7%.

El TDPA inicial será de 5640 vehículos con la siguiente composición:

Vehículos con menos de 15 toneladas 40%.

Autobuses 10%.

Camiones de 17 toneladas 20%.

Camiones de 25 toneladas 15%.

Camiones de 40 toneladas 10%.

Camiones de 70 toneladas 5%.

Período de diseño de 15 años

Tasa de incremento anual de tránsito 7%.

Resolución

1.- Los datos anteriores se registran en la hoja de proyecto tal como se indica en la figura (2.26); se calcula el TDPA para el carril de diseño que en este caso, por ser un camino de dos carriles es el 60% del TDPA en dos sentidos ó sea 3504 vehículos.

**Cálculo de espesores para pavimentos
flexibles método de Porter modificado
(Padrón)**

Obra _____ Fecha _____				
Tramo _____ Subtramo _____				
Datos para proyecto:				
Tránsito diario promedio anual en dos sentidos (TDPA) <u>5840 VEH.</u>				
Tránsito en el carril de diseño (60%) <u>3505</u> período de diseño (n) <u>15 años.</u>				
Tasa anual de crecimiento (r) <u>7.0%</u> factor de proyección al futuro (c) <u>9172.</u>				
Tipo de vehículos	Dist. del tránsito (%) (2)	Dist. del tránsito (Núm.) (3)	Coefficiente de equivalencia (4)	Ejes sencillos equivalentes de 8.2 T (5)
Vehículos hasta 15 ton.	40	1402	.06	84
Autobuses	10	350	2.1	735
Camiones (15 a 23 ton.)	20	700	2.1	1470
Tractor c/semirremolque (25 a 33 ton.)	15	526	4.1	2157
Camión con remolque (35 a 55 ton.)	10	350	6.4	2240
Tractor c/semi-remolque (65 a 85 ton.)	5	175	8.4	1470
			Suma	8156
				74806832

Tabla (2.8)

Tránsito equivalente acumulado

Al final de la vida útil = factor de proyecto (C) \times suma = 9172×8154

Cálculo de espesores

VR_g de diseño del cuerpo del terraplén 5 %.

D₁ = Espesor de capa subrasante + pavimento 77 cm. de grava.

VR_g de diseño de la capa de subrasante 7 %.

D₂ = Espesor de pavimento 68 cm. de grava.

Estructuración del pavimento

Capa	Tipo	Es. Real	Fact. de Conv.	Esp. de gravas (cm)		
				por capa	de páv.	Total
Carpeta		7	2	14		
Base		15	1.5	23		
Subbase		32	1	32		
Subrasante		30	1	30	69	99

$$C = \frac{(1+r)^n - 1}{r} \quad 365$$

Tabla (2.9) que muestra las características y los coeficientes de equivalencia a ejes estándar de 8.2 ton. para los vehículos que legalmente pueden transitar en la República Mexicana.

Tabla (2,9) continuación

Tipo de vehículos	Peso total (ton.)	Coeficiente de equivalencia	Peso de ejes cargados (ton)				
			Caja			Remolque	
			Tractor			Delan-tero	Trasero
Delan-tero	Trasero	tero	tero				
Automóvil A2	2	0.003	1.0(s)	1(s)			
Autobús B2	15.5	2.0	5.5(s)	10.0(s)			
B3	20.0	1.8	5.5(s)	14.5(t)			
B4	27.0	2.3	9.0(t)	18.0(t)			
Camiones A*2	5.5	0.06	1.7(s)	3.8(s)			
C2	15.5	1.8	5.5(s)	10.0(s)			
C3	23.5	2.2	5.5(s)	18.0(t)			
C4	28.0	2.5	5.5(s)	22.5(tr)			
T2-S1	25.5	4.0	5.5(s)	10.0(s)	10.0(s)		
T2-S2	33.5	4.2	5.5(s)	10.0(s)	18.0(t)		
T3-S2	41.5	4.3	5.5(s)	18.0(t)	18.0(t)		
C2-R2	35.5	5.5	5.5(s)	10.0(s)		10(s)	10(s)
C3-R2	43.5	6.3	5.5(s)	18.0(t)		10(s)	10(s)
C3-R3	51.5	6.3	5.5(s)	18.0(t)		10(s)	18(s)
T2-S1-R2	48.5	6.1	5.5(s)	10.0(s)	10.0(s)	10(s)	10(s)
T3-S3	50.5	6.0	5.5(s)	18.0(t)	22.5(tr)		
T2-S2-R2	53.5	6.4	5.5(s)	10.0(s)	18.0(t)	10(s)	10(s)
T3-S1-R2	53.5	6.6	5.5(s)	18.0(t)	10.0(s)	10(s)	10(s)
T3-S2-R2	61.5	8.4	5.5(s)	18.0(t)	18.0(t)	10(s)	10(s)
T3-S2-R3	69.5	8.2	5.5(s)	18.0(t)	18.0(t)	10(s)	18(t)
T3-S2-R4	77.5	8.0	5.5(s)	18.0(t)	18.0(t)	18(t)	18(t)

(S) = eje sencillo; (t) eje tándem; (tr) = eje triple.

- 2.- Se calcula el factor de proyección del tránsito al futuro, C, por medio de la fórmula que aparece en la hoja de cálculo, resultando en este caso de 9172.

- 3.- Se calculan los datos de la columna 3 (multiplicando el TDPA en el carril de diseño, por los porcentajes de la composición del tránsito, que se tienen en la columna 2) y los de la columna 5 (multiplicando las cantidades de la 3 por los factores de equivalencia, que para cada tipo de vehículo se colocan en la columna 4, para obtener los ejes correspondientes de 8.2 ton.). Se hace la suma de la columna 5 que se multiplica por el factor de proyección al futuro; ó sea $8156 \times 9172 = 74806832$ que corresponde al tránsito acumulado en ejes de 8.2 ton., al final de la vida de proyecto.

- 4.- Con el dato anterior y el VRS de proyecto del cuerpo del terraolén, se obtiene el espesor necesario desde la parte inferior de la capa subrasante hasta la superficie de rodamiento, utilizando el nomograma de proyecto de la gráfica (2.11); en este caso se tienen: 77 cm.; con el mismo dato de tránsito pero ahora con el VRS de proyecto del material de capa subrasante (7%) y el mismo nomograma, se obtiene el espesor del pavimento (subbase, base y carneta) = 68 cm.

5.- Con los dos valores anteriores se calcula el espesor de la capa subrasante: $77-68 = 9$ cm.; este valor, debido a las funciones que tiene esta capa además de la estructural, debe ser de 30 cm. como mínimo.

6.- Se efectúa el cálculo de las capas de pavimento; se procede como sigue: (supóngase 30% de vehículos con pesos de 5 ton.).

Cantidad de vehículos actuales con peso mayor a 5 ton.

$$0.70 \times 5840 = 4088 \text{ vehículos/día}$$

Según la recomendación que se encuentra en las curvas de proyecto, para más de 3000 vehículos pesados actuales se requiere carpeta de concreto asfáltico de 7 a 10 cm.; se colocarán 7 cm. (factor de conversión de grava 2).

El espesor mínimo de base es de 15 cm. y se colocará material rigidizado con cal (factor de conversión de grava 1.5).

Con los datos anteriores se puede calcular el espesor de la subbase:

$$\text{Espesor de pavimento} = a_1 d_1 + a_2 d_2 + a_3 d_3 \text{ ó sea:}$$

$$68 \text{ cm.} = 7 \text{ cm.} \times 2 + 15 \text{ cm.} \times 1.5 + \text{SB.}$$

$$\text{SB} = 68 - 36.5 \text{ cm.} = 13.5 \text{ cm.}$$

La estructuración final es:

Capa subrasante	30 cm.
Subbase	32 cm.
Base rigidizada con cal	15 cm.
Carpeta de concreto asfáltico	7 cm.

Si en las zonas se pudiera encontrar un mejor material de capa subrasante, se podría tener un ahorro importante en el costo de la subbase; supóngase que se puede utilizar un material de capa subrasante con VRS de 12%; entonces, se tendría un espesor de pavimento de 54 cm., con lo que el espesor de la capa subrasante sería $D_1 - D_2 = 72 - 54 = 23 \text{ cm.}$; el espesor de la capa subrasante seguiría siendo de 30 cm. por especificaciones, pero el espesor del pavimento disminuyó de 68 a 54 cm. ó sea 14 cm., así:

$$54 \text{ cm.} = 7 \text{ cm.} \times 2 + 15 \text{ cm.} \times 1.5 + \text{SB}$$

$$\text{SB} = 54 - 36.5 = 17.5 \text{ cm.}$$

En este caso la estructuración sería:

Capa subrasante	30 cm.
Subbase	18 cm.
Base rigidizada con cal	15 cm.
Carpeta de concreto asfáltico	7 cm.

También si se aumenta ligeramente el espesor de carpeta se puede disminuir más el de la subbase; la solución definitiva y racional puede hacerse por medio de análisis económicos, tomando en cuenta los tratamientos que se requieren para los materiales y los acarrees necesarios debido a la ubicación de los bancos.

Ejemplo No. 2

Supóngase que el tránsito diario promedio anual de un camino de dos carriles es de 1500 vehículos y que la composición del tránsito es la misma, con lo que el tránsito en ejes equivalentes al final de la vida útil es de 21×10^6 millones de ejes; el VRS de proyecto para el cuerpo de terraplén es de 8% y el de la capa subrasante de 12%.

Solución:

Por medio del nomograma de proyecto gráf. (2.11) se obtiene

el espesor D_1 de capa subrasante y pavimento con 21×10^6 ejes equivalentes y VRS de 8%, que es de 54 cm.

Igualmente ahora con VRS de 12% se obtiene el espesor D_2 de pavimento que es de 48 cm.

El espesor estructural de la capa subrasante es:

$$D_1 - D_2 = 54 - 48 = 6 \text{ cm.}$$

Por especificaciones el espesor será de 30 cm.

Como se tiene un tránsito menor a 5000 vehículos pesados - diarios, se colocará una carpeta asfáltica de 8 cm. sobre una base natural de 15 cm. de espesor; los coeficientes "a" de éstas capas son 1.5 y 1.0, respectivamente, con lo que tenemos:

$$48 \text{ cm.} = 8 \text{ cm.} \times 1.5 + 15 \text{ cm.} \times 1.0 + SB$$

$$\therefore SB = 48 - 27 = 21 \text{ cm.}$$

La estructura quedaría:

Capa subrasante	30 cm.
Subbase	21 cm.
Base natural	15 cm.
Carpeta en frío	8 cm.

Actualmente en Inglaterra se utiliza un método de proyecto que se describe en la Road Note 29 del Transport and Road Research Laboratory, que es semejante al desarrollado en México por Ing. Padrón en base al VRS obtenido de muestras compactadas en forma estática; en cuanto a la humedad de los especímenes, en la prueba Inglesa se recomienda: "Es importante que el contenido de humedad y peso volumétrico seco, en el momento de realizar la prueba sean aproximadamente los que se esperen cuando se termine el pavimento".

2.4 PROYECTO DE OBRAS AUXILIARES

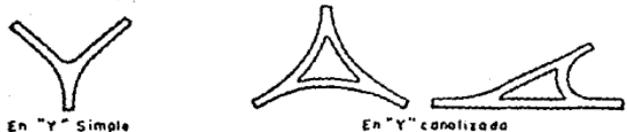
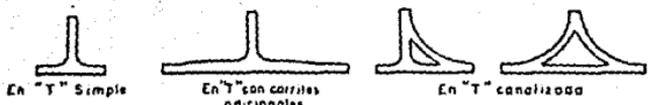
Las obras auxiliares son todas aquellas que contribuyen -- para el buen funcionamiento de una carretera, siendo las si--- guientes:

- 1.- Entronques.
- 2.- Pasos a desnivel.
- 3.- Paso del ferrocarril.
- 4.- Puentes peatonales.

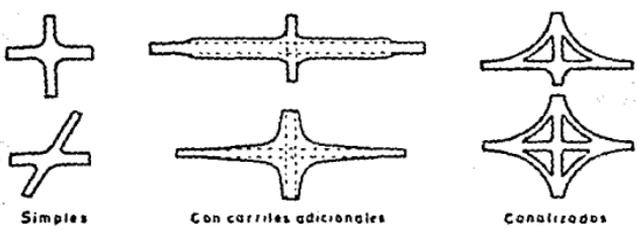
ENTRONQUES

Un entronque es el empalme de dos caminos y se conocen los siguientes tipos:

Entronques a nivel.- Un entronque a nivel implica la reali sación de un proyecto que permita al conductor efectuar oportu namente las maniobras necesarias para la incorporación o cruce de las corrientes de tránsito.



DE TRES RAMAS



DE CUATRO RAMAS

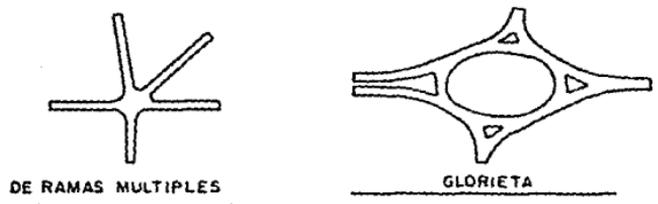


Fig.(2.27) Tipos generales de entronques a nivel.

Entronques a desnivel.- Los entronques a desnivel son necesarios en las intersecciones en donde un entronque a nivel no tiene la capacidad suficiente para alojar los movimientos de la intersección. El tipo adecuado de entronque a desnivel, así como su diseño, depende de factores tales como los volúmenes horarios de proyecto, el carácter y la composición del tránsito y la velocidad de proyecto.

PASOS A DESNIVEL

Son aquellos que sirven para cruzar un camino, sin afectar el tránsito del mismo, normalmente constan de un solo carril de circulación, este paso puede ser inferior ó superior.

PASO DEL FERROCARRIL

El cruce de ferrocarril puede ser de una ó dos vías, siendo muy importante la indicación de los señalamientos necesarios a una distancia adecuada antes de la intersección, para que el conductor tome las medidas de precaución al momento de cruzar.

PUNTES PEATONALES

Son puentes que se utilizan para el paso de las personas. Este tipo de obras generalmente se proyectan para las carreteras

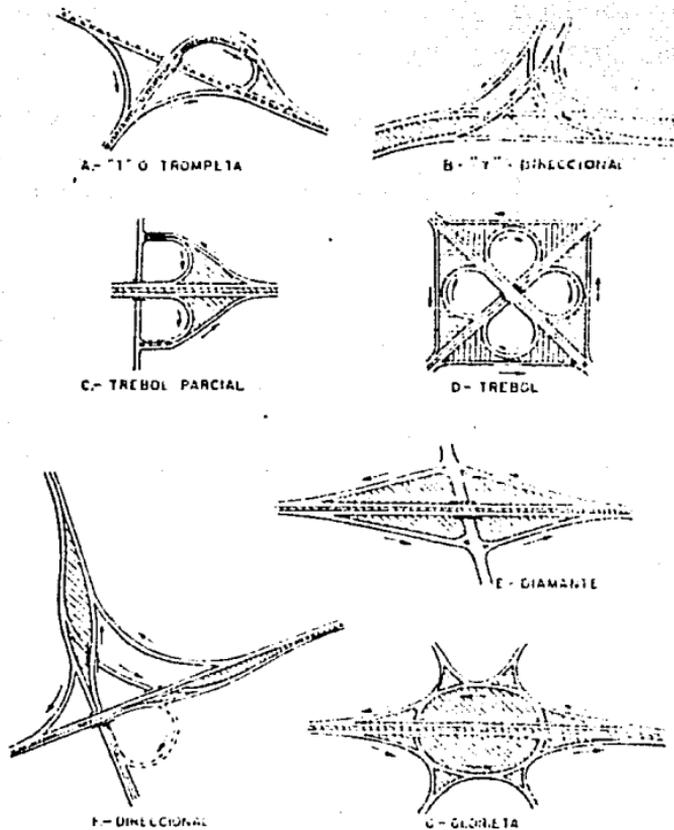


Fig.(2.28) Tipos generales de entronques a desnivel.

de acceso controlado y para los caminos con altos volúmenes de tránsito y frecuentes cruces de peatones.

Cabe mencionar que también se utilizan pasos inferiores -- para peatones y ganado, los cuales deberán proyectarse considerando un ancho libre que permita el paso de un vehículo.

CAPITULO III

ELECCION DE RUTA Y ANTEPROYECTO

ELECCION DE RUTA

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

Los puntos obligados son aquellos sitios por los que necesariamente deberá pasar el camino, ya sea por razones topográficas, técnicas, económicas, sociales ó políticas, tales como: puertos orográficos, la cabecera de un distrito, la capital de un estado, una mina en producción de bastante importancia ó un valle eminentemente agrícola que su producción sea importante para la economía del lugar.

En esta etapa se analizan todas las soluciones posibles para unir los puntos obligados del proyecto y determinar mediante un estudio la ruta más conveniente para proyectar sobre esta el eje que seguirá el camino.

La elección de ruta se realiza principalmente con los siguientes puntos:

- 1) Recopilación de datos de la zona.

- 2) Reconocimiento aéreo.
- 3) Estudio de rutas en fotografías aéreas a escala 1:50000.
- 4) Reconocimiento y análisis de rutas.
- 5) Evaluación de rutas.

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

ANTEPROYECTO

Una vez realizados los estudios anteriores, se procede a - dibujar y analizar en gabinete las curvas horizontales, verticales, circulares con espirales, se deduce el perfil del terreno y se dibujan los planos de planta, perfil y secciones transversales del camino, esto es de la alternativa más óptima del trazo de dicho camino.

ELECCION DE RUTA

Inicialmente se realiza la elección de ruta; comprende una amplia zona entre los puntos que se requiere comunicar; en esta intervienen Ingenieros especialistas en proyecto, en planeación y geólogos. Se hace un exhaustivo acobio de datos de la región, que pueden ser mapas con curvas a nivel, de clima, geológicos, planos fotogramétricos, fotografías aéreas; todo este material es analizado por los especialistas, quienes proponen varias alternativas que se recorren primero con vuelos altos en avioneta. Posteriormente se estudian las más viables por medio de helicóptero, con el cual se realizan vuelos bajos y permiten que se estudien en forma directa problemas importantes, ya que se tiene facilidad de aterrizar en zonas planas sin vegetación. En esta etapa se toman fotografías aéreas de los corredores que contienen las rutas más probables a escala 1:25000, ó si se tiene más seguridad en esas rutas, la escala puede ser de 1:10000. Para el fin de la estructuración de obra de que se trate en esta etapa, por medio de los recorridos aéreos y las fotointerpretaciones topográficas y geológicas, se pueden tener datos cuantitativos de pendientes transversales del terreno, de la posible pendiente longitudinal, del tipo y densidad del drenaje, de la formación geológica, de las fallas estructurales, de los plegamientos, de la posición de los hechados, de zonas pantanosas y de inundación.

3.1 RECOPIACION DE DATOS DE LA ZONA

La recopilación de datos de la zona son los primeros estudios que se realizan para llevar a cabo el proyecto de un camino, que justifiquen la construcción del mismo ó las mejoras de los ya existentes. Podemos considerar que este análisis forma parte del acopio de datos económicos y sociales para dicho proyecto.

Básicamente se hace un análisis del funcionamiento que pudiera tener la red carretera, mediante la determinación de los enlaces necesarios entre los puntos que pudiera unir según las siguientes actividades:

- Agrícolas
- Ganaderas
- Pesqueras
- Industriales
- Comerciales
- Educativas
- Turísticas

De tal manera, si suponemos que se requiere construir un camino para generar el desarrollo de una zona potencialmente agrícola mediante la unión de la población productora (A), con la población consumidora agrícola (B), lo primero que se debe hacer es determinar el uso actual y potencial del suelo de la población productora (A), dicha información es obtenida de las publicaciones estadísticas que edita la S.A.R.H., la cual se --

representa por medio de cartas geográficas. En seguida se determina la capacidad de consumo de la población consumidora (B), - tomando en cuenta investigaciones por muestreo y censos de población e industriales. No hay que olvidar la posibilidad de -- que haya puntos intermedios entre los de referencia (A) y (B), de los cuales también debe obtenerse su información socio-económica.

Con esto a grandes rasgos puede tener el proyectista la -- faja del terreno por donde pudiera pasar el camino; posteriormente se hace la evaluación del camino, utilizando el criterio de productividad, por medio del cual obtenemos un índice que -- nos marca la efectividad de la inversión; cuando este índice -- resulte mayor que la unidad, nos indicá que conviene su realización y nos dá también la posibilidad de seguir un orden en las inversiones y programarlas.

Todos los datos anteriores deben vaciarse en plenos restituidos en donde queda marcada la ruta aceptada, igualmente que en las fotografías aéreas y en los mosaicos fotográficos correspondientes.

3.1.1 EVALUACION DEL CAMINO

Cuando se requiera hacer un camino para una zona desarrollada, por ejemplo el acortamiento de un camino ya existente, - deberá obtenerse el índice de rentabilidad de la inversión, el cual nos dirá si es conveniente ó no la construcción del camino; por lo tanto el primer paso consiste en determinar cual será la composición del tránsito que empleará el camino, esto se hace - mediante estudios de ingeniería de tránsito, como pueden ser - los aforadores y los estudios de origen y destino, así tenemos que la composición del tránsito para el camino en cuestión es - la que a continuación se menciona:

Vehículos A = 40% (Vehículos ligeros, automóviles de hasta 15 - ton.).

Vehículos B = 22% (Vehículos pesados, camiones de 15 a 25 ton.).

Vehículos C = 38% (Vehículos especiales, con semi-remolque de - 25 a 33 ton.).

Posteriormente se obtiene la determinación de los ahorros en tiempo, obtenidos al efectuar la construcción de la vía de - comunicación.

Se observa que se reduce la distancia y se aumenta la velocidad, por lo que se obtiene una economía en tiempo:

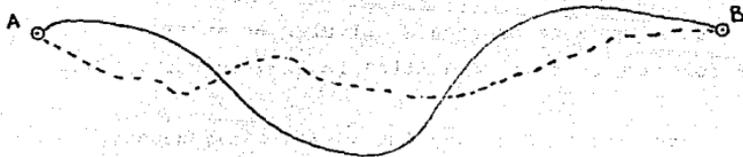


Fig. (3.1) Líneas de proyecto

Longitud actual (línea llena) = 90 Km. distancia.

Velocidad actual = 50 Km./Hr.

Longitud de proyecto (línea punteada) = 60 Km. distancia.

Velocidad de proyecto = 80 Km./Hr.

Obteniendo laosos de recorrido para ver el ahorro de tiempo tenemos:

1) Tiempo de recorrido camino actual:

$$90 \text{ Km. a } 50 \text{ Km./Hr.} = (90 \text{ Km.}) / (50 \text{ Km./Hr.}) = 1.8 \text{ Hrs.}$$

2) Tiempo de recorrido camino nuevo:

$$60 \text{ Km. a } 80 \text{ Km./Hr.} = (60 \text{ Km.}) / (80 \text{ Km./Hr.}) = 0.75 \text{ Hrs.}$$

Ahorro de tiempo: (At) = 1.8 Hr. - 0.75 Hr. = 1.05 Hr. = At

En seguida se procede a calcular el ahorro unitario por tiempo, para lo cual se utiliza la siguiente expresión:

$A_{utv} = (V_{hh} \times N_{pv} + V_{hv}) (365) (A_t) (C_t)$; donde:

A_{utv} = Ahorro unitario por tiempo de acuerdo al tipo de vehículo.

V_{hh} = Valor hora - hombre promedio.

N_{pv} = Número de pasajeros por vehículo.

V_{hv} = Valor hora - vehículo.

A_t = Ahorro en tiempo.

C_t = Composición del tránsito en %.

Sabemos que el valor hora - hombre promedio en la zona del proyecto es de \$100.00 y que el número promedio de pasajeros por vehículo es el siguiente:

Vehículos A = 3 pasajeros.

Vehículos B = 20 pasajeros.

Vehículos C = 2 pasajeros.

También se ha determinado que el costo por hora - vehículo es de:

Vehículos A = \$500.00

Vehículos B = \$1000.00

Vehículos C = \$1000.00

Entonces al aplicar nuestra ecuación sustituyendo valores, tenemos que:

$$\text{Autv} = (\text{Vhh} \times \text{Npv} + \text{Vhv}) (365) (\text{At}) (\text{ct})$$

$$\text{Vehículos A} = \text{Autv} = (100 \times 3 + 500)(365)(1.05)(0.40) = 122,640.00$$

$$\text{Vehículos B} = \text{Autv} = (100 \times 20 + 1000)(365)(1.05)(0.22) = 252,945.00$$

$$\text{Vehículos C} = \text{Autv} = (100 \times 2 + 1000)(365)(1.05)(0.38) = 174,762.00$$

La suma de los costos de los tres tipos de vehículos nos dará el ahorro unitario por tiempo de todo el tránsito; por lo tanto, tenemos:

$$(122,640) + (252,945) + (174,762) = \$550,347.00$$

Dentro del proyecto, se está considerando un costo promedio por kilometro construido de \$28'000,000.00, por lo tanto el costo total de la construcción es: $(28'000,000) (60) = \$1.68 \times 10^9 = \$1680'000,000.00$

Se está considerando un costo promedio de mantenimiento de \$1'500,000.00 por Km./año, lo que nos dará un costo total de mantenimiento anual de:

$$(1'500,000) (60) = \$9.0 \times 10^7 = \$90'000,000.00$$

Para la proyección del tránsito y la evaluación del proyecto, se hace una tabla con los datos hasta aquí obtenidos, después de hacerla se da una explicación detallada de la misma.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
No. DE ORDEN	AÑO	FACTOR DE INCREMENTO DEL TRÁNSITO.	TRÁNSITO VEHICULOS	BENEFICIOS \$X10 ⁸	COSTOS \$X10 ⁷	FACTOR DE ACTUALIZACIÓN	BENEFICIOS ACTUALIZADOS \$X10 ⁸	COSTOS ACTUALIZADOS	
1	1980	1.000	1000	5.5035	168.00	0.8929	4.9140	150.067	
2	1981	1.095	1095	6.0263	9.00	0.7118	4.2895	6.4062	
3	1982	1.090	1194	6.5711	9.00	0.6355	4.1759	5.7195	
4	1983	1.085	1296	7.1325	9.00	0.5066	3.6133	4.5594	
5	1984	1.080	1400	7.7049	9.00	0.4523	3.4849	4.0707	
6	1985	1.075	1505	8.2827	9.00	0.4038	3.3445	3.6342	
7	1986	1.070	1611	8.8664	9.00	0.3220	2.8548	2.8980	
8	1987	1.065	1716	9.4440	9.00	0.2567	2.4242	2.3103	
9	1988	1.060	1819	10.0108	9.00	0.2046	2.0482	1.8414	
10	1989	1.050	1910	10.5116	9.00	0.1827	1.9204	1.6443	
							Σ =	33.0697	183.090

Tabla(3.1)

Las columnas 1 y 2, simplemente son los años que se considera tendrá de vida útil de obra; sin embargo por razones de simplificación, nada más consideramos 10 años (1980-1989).

La columna 3 se determina con la ayuda de la ingeniería de tránsito, obteniéndose los índices de incremento observados para los caminos. Si el camino es nuevo, se puede hacer un estudio de "origen y destino"; en caso de que el camino requiera de una ampliación, los "aforadores" pueden ser de utilidad.

La columna 4 se obtiene multiplicando el número inicial de vehículos por el factor de incremento del tránsito del año siguiente y así sucesivamente; es decir:

$$(1000)(1.095) = 1095; (1095)(1.090) = 1194; \text{ etc.}$$

La columna 5 se obtiene multiplicando los ahorros unitarios por tiempo de todo el tránsito, por la columna 4 ó sea:

$$(550,347)(1000) = 5.5035 \times 10^8; (550,347)(1095) = 6.0263 \times 10^8; \text{ etc.}$$

La columna 6 se determina mediante los costos por Km. total los construidos, así como los costos por mantenimiento al año; es decir:

$$\text{Costo total por Km. construidos} = \$168 \times 10^7$$

$$\text{Costo por mantenimiento al año} = \$ 9 \times 10^7$$

La columna 7 es un factor de actualización que afecta a los beneficios y a los costos; dicho factor se obtiene con la siguiente expresión:

$$Va = Vn \frac{1}{(1+i)^n} ; \text{ en la que:}$$

Va = Valor actual del producto

Vn = Valor del producto en el año (n).

i = Tasa de interés = 12% (esta tasa se utiliza en nuestro medio).

La columna 8 se obtiene de multiplicar la columna 5 por la columna 7. Ahora bien, la columna 9 se obtiene del resultado de la multiplicación de la columna 6 por la 7.

Finalmente, como ya se mencionó, se hace la evaluación del camino para ver si es factible realizar la inversión, aplicando el criterio del índice de rentabilidad, el cual nos dice:

$$I.R. = \frac{\text{Beneficios Actualizados}}{\text{Costos Actualizados}} > 1.0$$

I.R. = Índice de Rentabilidad.

Si los valores encontrados son mayores que la unidad, - significa que si debe hacerse la inversión; de nuestro ejemplo tenemos:

$$I.R. = \frac{\text{Columna 8}}{\text{Columna 9}} ; I.R. = \frac{33.0697 \times 10^8}{183.090 \times 10^7} = 1.806 > 1.0$$

Esto nos indica que si conviene hacer la inversión.

NOTA: Los valores utilizados en este ejemplo no son reales, sin embargo sirven para fines didácticos.

Por lo tanto, dentro del estudio socio-económico se analiza si el camino será de función social, para el desarrollo o en zonas desarrolladas y con base en esto se determinan los índices de productividad y rentabilidad de las obras, así como el orden de preferencia para su cumplimiento.

3.1.2.- DETERMINACION DEL TRANSITO DE UN CAMINO.

El tránsito es el elemento al cual el camino le dará servicio; el tránsito puede ser para el transporte de mercancías - (flete) y/o para el transporte de personas (pasaje).

La SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES (S.C.T.), - tiene clasificados de manera general a los vehículos que transitan por carretera en:

- I) Vehículos de tipo A ó ligeros.
- II) Vehículos de tipo B ó pesados.
- III) Vehículos de tipo C ó especiales.

Los vehículos ligeros son los utilizados para el transporte de pasajeros y carga respectivamente, los cuales constan de

dos ejes y cuatro ruedas; se incluyen en esta denominación los automóviles, camionetas y las unidades ligeras de carga o pasajeros.

Los vehículos pesados son unidades destinadas al transporte de carga y de pasajeros respectivamente, los cuales constan de dos ó más ejes y seis ó más ruedas, en esta denominación se incluyen los camiones y los autobuses.

Los vehículos especiales son aquellos que eventualmente transitan o solamente cruzan el camino, se incluyen en esta denominación los camiones y remolques especiales para el transporte: troncos, minerales, maquinaria pesada, maquinaria agrícola u otros productos voluminosos; y en general todos los demás -- vehículos no clasificados anteriormente. La tabla (3.2) muestra la clasificación de vehículos adoptada por la S.C.T., así como los resultados obtenidos en la elaboración de un estudio de origen y destino.

La ingeniería de tránsito, establece las siguientes definiciones:

- 1.- TRANSITO INDUCIDO O DESVIADO: Es la parte del volumen de tránsito que para llegar a un lugar está haciendo uso de los caminos actuales, pero que al construirse el camino nuevo, va a hacer uso de este.

TIPO DE VEHICULO	NOMBRE EN ESPAÑOL	E S S E M B L A S		SIMBOLO	PORCENTAJE RESPECTO AL TOTAL DE CAMIONES	PORCENTAJE RESPECTO AL TOTAL DE VEHICULOS
		PLANTA	PLANTA			
VEHICULOS LIGEROS	Automóviles			A ₁		16
	Camionetas			A ₂		12
VEHICULOS PESADOS	Autobuses			B		12
	CAMIONES			C ₁	75	
				C ₂	15	
				C ₃	10	
				C ₄	50	42
				C ₅	7	
				C ₆	7	
	OTRAS COMBINACIONES					
VEHICULOS ESPECIALES	CAMIONES Y OTRAS MAQUINARIAS ESPECIALES	VARIABLE		E ₁	VARIABLE	
	MAQUINARIA AGRICOLA					
	BICICLETAS Y MOTOCICLETAS					
	OTROS					

FUENTE SOP - PROMEDIO DE LOS ESTUDIOS DE ORIGEN Y DESTINO DEL AÑO 1964-65

Tabla (3.2) Promedio de los estudios de origen y destino.

- 2.- TRANSITO GENERADO: Es el volumen de transito que se origina por el desarrollo de la zona de influencia del camino y/o por el mejoramiento de la carretera.

- 3.- VOLUMEN DE TRANSITO: Es el número de vehículos que pasan por un tramo determinado de la carretera en un intervalo de tiempo dado; los intervalos más usuales son la hora y el día, y se tiene el tránsito horario (TH) y el tránsito diario (TD).

- 4.- DENSIDAD DE TRANSITO: Es el número de vehículos que se encuentran en una cierta longitud del camino en un instante dado.

- 5.- TRANSITO DIARIO PROMEDIO ANUAL: Es la suma de todos los vehículos que pasan en un año en los dos sentidos de un camino, dividido entre 365 días (es decir, es el tránsito promedio diario).

- 6.- TRANSITO HORARIO MAXIMO ANUAL: Es el máximo número de vehículos que pasan en un tramo del camino durante una hora, para un lapso establecido de observación; normalmente un año.

Al proyectar una carretera, la selección del tipo de camino (tipo A, tipo B, tipo C, etc.), depende fundamentalmente de la demanda, es decir, del volumen de tránsito que circulará en un intervalo de tiempo dado, su variación, tasa de crecimiento y composición.

Un error en la determinación de éstos parámetros, ocasionará que la carretera funcione durante el periodo de previsión, bien con volúmenes de tránsito muy inferiores a aquellos para los que se proyectó ó que se presenten problemas de congestión cuando el volumen de tránsito sobrepase a lo proyectado.

El tránsito futuro debe preverse para un plazo de 15 a 20 años; para fijar las cifras, no es posible emplear fórmulas matemáticas, ya que no podrían recoger todas las diversas circunstancias que puedan influir en el incremento del tránsito.

Así para determinar la sección de un camino, se necesita conocer el volumen del tránsito que circulará en los diferentes tramos de una carretera; para esto, se utilizan los datos obtenidos de los aforadores y de los estudios de deducción del tránsito.

Cuando el proyecto sea para un camino nuevo, se realizarán estudios de deducción del tránsito, los cuales se analizan mediante los conceptos de : 1) Tránsito inducido y 2) Tránsito generado.

1.- TRANSITO INDUCIDO: Como ya se dijo, es el tránsito - que para llegar a un lugar esta haciendo uso de los caminos actuales, pero al construirse el nuevo, hará uso de este; para obtener el tránsito inducido se - realizan estudios de "Origen y Destino".

1.1.-ESTUDIOS DE ORIGEN Y DESTINO: Su objetivo primordial es conocer el movimiento del tránsito en cuanto a los puntos de partida y de llegada de los viajes; además de obtener los datos del comportamiento del tránsito, tanto en lo que se refiere a su magnitud y composición, como a los diversos tipos de productos que se transportan. Esto último, con miras a determinar el grado de desarrollo de los sectores que integran la vida económica y social, así como la localización de los centros productores y consumidores.

El método más apropiado para estudios en carretera es el de las entrevistas directas, ya que se obtiene en forma rápida y eficiente el origen, destino y punto intermedio del viaje de cada conductor entrevistado, es decir, se tiene un número de vehículos y se les pregunta a los interesados su destino y recorrido.

La duración de estos estudios es variable, dependiendo del grado de confianza requerido. También, en vez del interrogatorio directo, puede entregarseles a los automovilistas una "Ficha" que deban devolver llena.

En estos estudios se registran las rutas de los diferentes tipos de vehículos y los productos ó pasajeros que transportan por cada sentido, así como las longitudes de recorrido. Se incluyen los volúmenes-horarios de los diferentes tipos de vehículos registrados por sentido de circulación.

2.- TRANSITO GENERADO: Es el tránsito que aparecerá por el desarrollo de la zona de influencia del camino, - es decir, al construirse un camino, se generan zonas alrededor del mismo, las cuales propician desarrollo y este desarrollo a su vez hace que aparezca el tránsito generado de un camino, se hacen estudios de tipo socioeconómico como los ya mencionados, en la zona de influencia. Datos obtenidos por la técnica americana nos proporcionan la zona de influencia de un camino en relación al número de habitantes que tengan las poblaciones por las que pase el camino. Esto se muestra en la tabla (3.3).

Cuando el camino necesite de una ampliación, ya sea porque el tránsito va creciendo y pueda sobrepasar la capacidad de la vía, trayendo como consecuencia pérdidas de horas-hombre, congestionamientos, accidentes, etc., se utilizan los datos obtenidos de los aforadores, con estos y con los obtenidos en los estudios de origen y destino, podemos conocer el volumen de tránsito, la densidad de tránsito, el tránsito diario promedio anual y el tránsito horario máximo anual, con lo cual nos daremos cuenta de la relación que va teniendo el tránsito con el camino.

NUMERO DE HABITANTES	ZONA DE INFLUENCIA (RADIO Km.)
3'000,000 ó más	56.00
1'000,000 a 3'000,000	48.00
500,000 a 1'000,000	40.00
300,000 a 500,000	32.00
100,000 a 300,000	24.00
50,000 a 100,000	20.00
25,000 a 50,000	15.00
10,000 a 25,000	10.00

Tabla (3.3)

El crecimiento de los volúmenes de tránsito en la red de carreteras, así como la variación de su composición, ha conducido a que se instalen estaciones de aforo en toda la red, procurando que éstas capturen el tránsito representativo en cada tramo y a su vez registren el tránsito promedio diario en base al periodo de una semana (TDPS), el cual correlacionado con estaciones muestreas, dará como resultado un muestreo razonablemente cercano al tránsito diario promedio anual (TDPA).

El conteo de los vehículos se realiza por medio de contadores (manuales ó electromecánicos), registrando estos volúmenes cada hora, clasificándolos en : Vehículos ligeros, Vehículos pesados y Vehículos especiales.

Actualmente la S.C.T utiliza dos tipos de contadores, los cuales son:

- a) CONTADORES NEUMATICOS.
- b) CONTADORES ELECTRICOS.

a) Contadores neumáticos: Constan de un tubo de goma que - se instala transversalmente a la carretera y se fija en un firme por medio de unas abrazaderas, ver figura (3.2); sirven para detectar el número de ejes que pasan, cuyas - lecturas se realizan cada 24 horas.

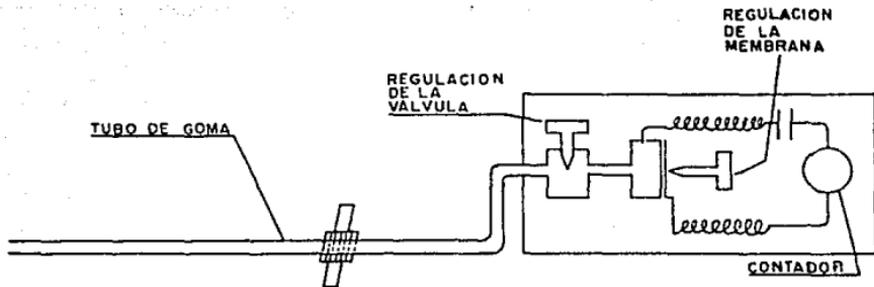


Fig. (3.2) Contador Neumático.

El tubo de goma del contador neumático debe ser muy flexible y va cerrado por un extremo; el otro va unido al contador, de tal forma que al pisar un vehículo, el exceso de la presión producida en el aire encerrado en el tubo, se transmite a una membrana que actúa sobre el contador por medio de un contacto eléctrico; este contacto puede regularse por un desplazamiento determinado de la membrana, lo cual permite regularlo para que no sea sensible a pesos menores de uno determinado; el contador puede estar dispuesto en forma que cuente una vez cada dos impulsos, con lo cual registra vehículos de dos ejes aislados; estos aparatos pueden ser totalizadores de registro horario ó tiempos menores. Son sencillos de concepto, pero si el servicio de vigilancia y mantenimiento no es adecuado tienen averías frecuentes. Hay errores inevitables como los producidos por el peso simultáneo de dos vehículos; pero a pesar de ello es posible alcanzar una precisión que si no hay paradas por avería, puede ser aceptable.

- b) Los contadores eléctricos: Son aparatos más complicados, en los cuales el conteo puede hacerse para los vehículos en las dos direcciones, los cuales registran durante lapsos de una hora, el número de vehículos que cruzan por la estación.

Hay otros que pueden registrar los pesos, éstos tipos complicados son muy costosos y solamente se emplean en puntos determinados, en los cuales la obtención de estos datos, con gran exactitud, tenga una especial importancia.

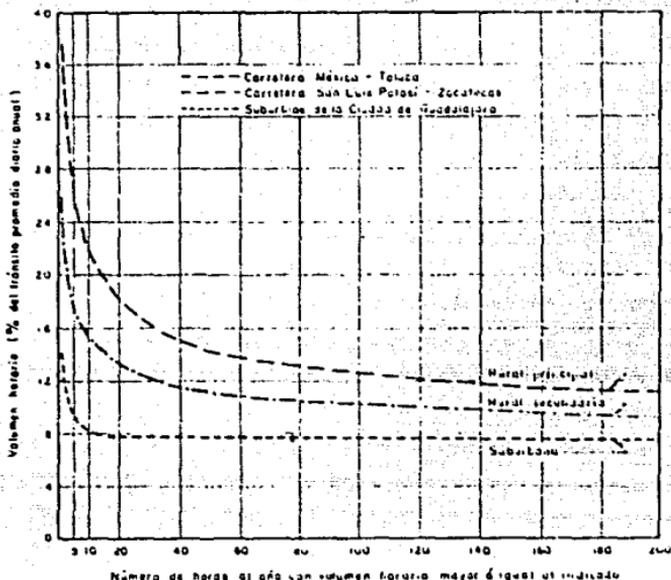
Con el objeto de complementar, tanto los muestreos de tránsito como los estudios de origen y destino se han instalado en diversos tramos de la red de estaciones permanentes, provistas de contadores automáticos, cuya finalidad es registrar las variaciones y comportamiento de las corrientes de tránsito durante el año. Desde el punto de vista estadístico, se ha zonificado la red nacional de carreteras en tal forma que cada estación permanente tenga funciones de correlación con otras estaciones de muestreo.

Las casetas de cobro del Organismo Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos, funcionan como estaciones maestras, ya que registran los volúmenes de tránsito, así como su composición, en forma continua, permitiendo conocer las variaciones estacionales.

Cierto es que para hacer la predicción del tránsito existen diferentes métodos estadísticos, de los cuales se encarga la ingeniería de tránsito, como son la extrapolación de la tendencia media ó un estudio de regresión múltiple entre el volumen de tránsito y otros elementos, por ejemplo, el consumo de gasolina, el producto Nacional bruto, etc.; pero en virtud de que en muchas ocasiones la falta de datos impide aplicar los métodos mencionados anteriormente (además de no formar parte del objetivo del presente estudio), es necesario estudiar en forma empírica, hipótesis de crecimiento pesimista, normal, optimista, para diferentes rangos de volúmenes de tránsito. Estas tasas de crecimiento se obtienen de la observación del incremento del tránsito en carreteras con varios años de operación.

La selección de la hipótesis queda al criterio de las personas que realizan la planeación ó el proyecto, quienes deberán analizar previamente, el desarrollo socio-económico actual y potencial de la zona; por lo tanto, el análisis de los datos obtenidos para estimar el volumen del tránsito, tanto para carreteras nuevas como para el mejoramiento de las existentes es en general privativo de cada proyecto.

Finalmente, para determinar las características y principalmente la sección que llevará el camino, es necesario conocer la variación del tráfico y su distribución por clases durante un período menor que el día; normalmente se escoge la hora; Tráfico Horario (TH); este dato nos definirá la congestión existente en las diferentes horas, y por consiguiente, de él se podrá partir para dimensionar la sección; pero no sería lógico calcular la vía para el Tráfico Horario Máximo (THM), pues aunque hay que evitar las pérdidas de velocidad que la congestión representa, sería antieconómico considerar para el cálculo de la sección, la hora "pico" del año; por ello, es norma tomar, a estos efectos, la "hora 30", que es aquella cuyo tráfico solo se excede 30 horas al año (TH 30). Suele ser del 12% al 18% del Tráfico Medio Diario (TMD). El valor de la "hora 30", se deduce de la curva que relaciona el número de vehículos que la carretera sirve y el número de horas gráfica (3.1).



Gráfica (3.1) Relaciones entre los volúmenes horarios más altos del año y el tránsito promedio diario anual.

La simple enumeración de los puntos anteriores a considerar es demostración evidente de la imposibilidad práctica del empleo de fórmulas matemáticas. Es el estudio de las circunstancias económicas del país y de la zona afectada por la vía en proyecto, - la única manera racional de prever la evolución del tráfico en el futuro.

La elección de ruta abarca una amplia zona entre los puntos que se requiere comunicar; en ésta interviene una comisión interdisciplinaria formada por ingenieros especialistas en localización de vías terrestres en planeación, geólogos, drenajistas y de suelos, los cuales deben ser técnicos con gran experiencia -- principalmente en la construcción de los caminos, con el objeto de precisar hasta donde sea posible todos los detalles y aspectos relacionados con la construcción misma. Cabe mencionar que el ingeniero especialista en localización de vías terrestres, es quién tiene el mando en esta comisión interdisciplinaria y debe tener conocimientos de las disciplinas de sus demás compañeros.

Para seleccionar la ruta más viable que ha de dar solución al problema de localización de un camino, se hace un minucioso acopio de datos existentes de la región. La topografía, la geología, la hidrología y como han quedado analizados, los estudios socio-económicos y los de vialidad, constituyen la información básica para el proyecto de éstas obras.

Los integrantes del grupo pueden contar con cartas geográficas del país, del estado, de la región y de la zona en estudio, con curvas de nivel, así como con fotografías aéreas con lo cual puedan ubicar esquemáticamente las diferentes rutas que pudiera tener el camino.

Las principales cartas geográficas y geológicas disponibles en la República Mexicana, son las elaboradas por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), que pertenece a la Secretaría de Programación y Presupuesto -- (S.P.P.), por la Secretaría de la Defensa Nacional (S.D.N.) y en algunos casos por los gobiernos estatales "cuando se requiere de alguna población que no aparezca en ninguna carta", con escalas (1:250000), (1:100000) y (1:50000), que cubren parcialmente el territorio, generalmente se utiliza la escala (1:50000), con curvas de nivel a cada 5 metros en los estudios preliminares para diferentes alternativas de proyecto. Dichas cartas, sustituyen en muchas ocasiones o son un valioso auxiliar de las fotografías a escala (1:50000).

3.2.- PRIMEROS RECONOCIMIENTOS

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

En el "Sistema Antiguo", únicamente se realizaban reconocimientos de tipo terrestre, este reconocimiento se realizaba si acaso, después de haber estudiado en las cartas geográficas (si

es que tenían) las diferentes rutas y estimar las cantidades de obra de cada una de ellas, eligiendo la más conveniente; pues por este procedimiento, poco práctico, se analizaban desde el terreno una que otra alternativa. Se puede decir que el reconocimiento de tipo terrestre es menos efectivo que el de tipo aéreo, ya que el ingeniero localizador no puede abarcar grandes áreas y tiene que estudiar por partes su línea; de la misma manera, el ingeniero geólogo realiza un estudio de detalle que cae en los defectos que este procedimiento antiguo implica, ya que la geología requiere estudiarse en grandes zonas que permitan definir las formaciones, los contactos, las fallas y las fracturas; el técnico en planeación realiza sus estudios previos y marca los puntos obligados auxiliado con las cartas geográficas.

En el reconocimiento terrestre de este tipo, el ingeniero localizador se ayuda con el siguiente equipo: brújula, barómetro aneroides, clisímetro, binoculares y cámara fotográfica; la brújula servirá para tomar rumbos de los ríos, cañadas, caminos ó veredas que atraviesan su ruta, así como el rumbo general de la línea que va a estudiar; el barómetro aneroides le sirve para verificar las cotas de los puertos orográficos, de los fondos de cañadas y otros puntos de interés; el clisímetro, sirve para determinar las pendientes que tendrá la ruta, y los binoculares para poder observar las diferentes formaciones que se atraviesan a lo largo de la ruta y ver si es posible encontrar otros puntos en mejores condiciones; la cámara fotográfica le permitirá contar con fotografías de los sitios que se considere conveniente incluir en los informes que se presentan después de los reconocimientos. La figura (3.3) muestra estos instrumentos.

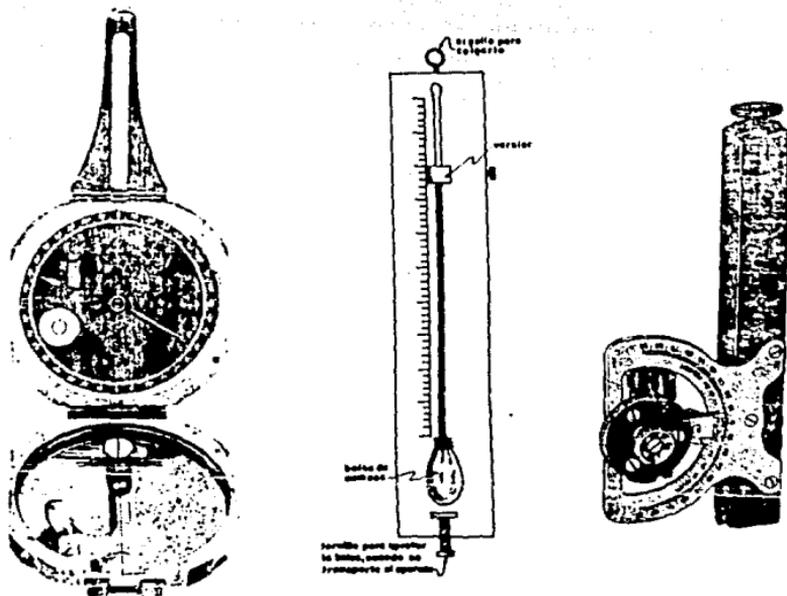


Fig. (3.3) Equipo básico para reconocimiento terrestre: Brújula, aneroide y clisímetro.

Es muy importante contar con un guía que conozca la región, para tener seguridad de que el reconocimiento se haga sobre los mismos lugares que previamente se han fijado en la carta.

Durante el reconocimiento se deberán dejar señales sobre la ruta, para que posteriormente puedan ser seguidas por el trazo de la preliminar.

En el sistema actual (Métodos; Convencional y fotogramétrico-Electrónico), éstos reconocimientos son de tipo aéreo y al final pueden ser de tipo terrestre en zonas especiales con grandes problemas; ofrecen mayores ventajas sobre el anterior, por la oportunidad de observar el terreno desde la altura que convenga, abarcando grandes zonas, lo que facilita el estudio; se dividen en:

3.2.1.- Reconocimientos con avioneta.

3.2.2.- Reconocimientos con helicóptero.

RECONOCIMIENTOS CON AVIONETA

El primer reconocimiento aéreo se efectúa con avioneta y tiene por objeto determinar las rutas que se consideran viables y fijar el área que debe fotografiarse a escala (1:50,000), para que en ella queden incluidas con amplitud. Lo realizan técnicos especialistas en planeación, localización y geotécnia. Antes de iniciar el vuelo, los especialistas deben estudiar y memorizar las cartas geográficas y geológicas disponibles, a fin de que durante el vuelo observen las distintas rutas, estudiándolas dentro de su especialidad; así por ejemplo, el especialista en planeación verificará si la potencialidad de la zona concuerda con lo que se ha supuesto en los estudios previos, observándose las áreas de cultivo ó de agostadero, así como las poblaciones que quedan dentro de la zona de influencia de las diferentes rutas; el especialista en localización verifica en el terreno si la ruta marcada en el plano es correcta, sobre todo en

lo relacionado con el relieve topográfico, ya que en las cartas, por ser escalas pequeñas existe la posibilidad de cometer errores al marcarla.

En caso de que haya discrepancia entre el terreno y el mapa con que se cuenta, la cual puede ser de índole local ó general, se deberá buscar una nueva ruta que se ajuste a las condiciones reales del terreno.

El especialista en geotecnia comprobará desde el avión, la clasificación general de rocas y suelos, la morfología del terreno, la existencia de fallas y problemas de suelos. De acuerdo con el localizador observará la hidrología de la zona, apreciando tamaños y tipos de cuencas para prever las dificultades que se pueden presentar en el cruce de las corrientes pluviales.

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

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

- a) Los puntos de paso obligados.

- b) Los posibles problemas geotécnicos y de cobertura vegetal que se hallaran en - cada una de las rutas posibles.
- c) Los estudios económicos de rentabilidad de la obra.
- d) La faja del terreno que debe fotografiar se a escala 1 : 50,000.

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

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

Sobre una carta geográfica, lo más detallada posible de que se disponga, (escalas 1:50,000, 1:100,000, etc.), se delimita la zona por fotografiar y se proyectan las líneas de vuelo que deberán cubrir sobradamente el área señalada; es muy importante que la dirección de las líneas de vuelo que se marcan con flechas, sean dirigidas a los lugares que se han marcado en principio como de paso obligado; este requisito facilita grandemente el estudio de la fotografía de los pares estereoscópicos y el - proyecto del control terrestre que puede requerirse.

Las líneas de vuelo inclusive pueden quebrarse hasta un - ángulo de 90°, si así se considera conveniente, con tal de tener

continuidad en la fotografía, en toda la longitud de las rutas elegidas.

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

Existen diferentes tipos de cámaras para fotografía aérea y cada una de ellas tiene su uso específico, todas las cámaras son automáticas; a continuación se citan las más importantes:

- a) Trimetrogón; que se compone de tres cámaras fotográficas, una vertical y dos inclinadas que disparan simultáneamente abarcando fotografía de horizonte a horizonte, se emplean principalmente para levantamientos en - la obtención de planos cartográficos.
- b) Cámara Normal; cuya distancia focal comprende un ángulo de apertura tomada de 60°, se emplea para levantamientos de catastro urbano.

- c) Cámara Granangular; cuya distancia focal comprende una abertura de ángulo de toma de 90° , se emplea de preferencia para la obtención de planos fotogramétricos -- para el proyecto de vías terrestres, aeropuertos, presas, irrigación, etc..

- d) Cámara Supergranangular; cuya distancia focal comprende la abertura de toma de 120° ; se emplea de preferencia para la obtención de planos cartográficos de alta precisión.

Por su precisión las cámaras fotográficas se dividen en primer orden y segundo orden.

Las cámaras de primer orden son las que dan un valor de distorsión despreciable, que se clasifican como libres de distorsión; este tipo de cámaras se utilizan para trabajos de alta precisión, como son los levantamientos fotogramétricos para el proyecto de carreteras y ferrocarriles.

El efecto de la distorsión radial, es la desviación que sufre el rayo luminoso al pasar a través del lente de la cámara y que por lo tanto no se proyecta en la película con la posición debida. Las cámaras de segundo orden, se emplean por lo general para levantamientos cartográficos.

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

- 1) La distancia focal ó constante de la cámara "f", que

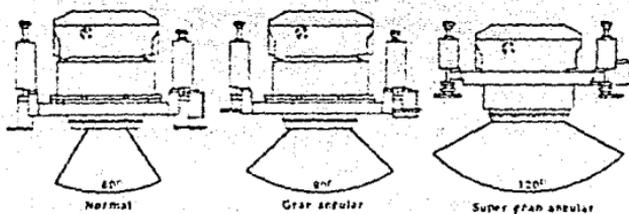


Fig. (3.4) Cámaras fotográficas clasificadas de acuerdo al campo angular de la lente.

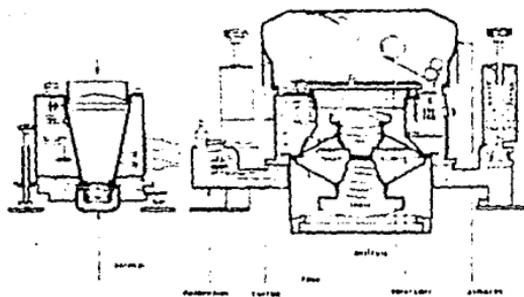
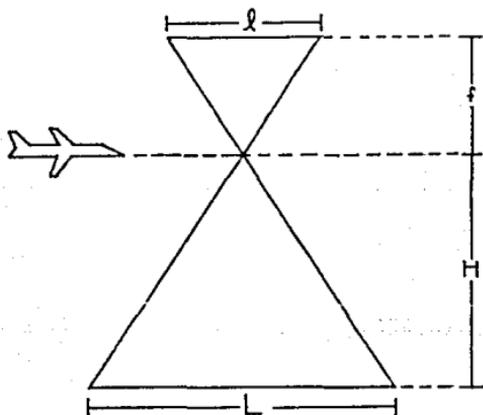


Fig. (3.5) Cámara aérea.

es la distancia entre el centro óptico del objetivo y el plano de la imagen fotográfica o plano focal.

- 2) El formato " l ", que corresponde a las dimensiones del negativo de toma ó sea las longitudes de sus lados.
- 3) La altura de vuelo " H ", que es la distancia del centro óptico del objetivo al nivel medio del terreno en el área cubierta por la fotografía.

La escala media " E_m " de las fotografías llamada también escala del vuelo, se obtiene por la relación siguiente:



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

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

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

Fig. (3.6) Relación de escalas.

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

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

$$H = \frac{f}{E_m} = \frac{0.5}{1/50,000} \quad ;$$

$$H = 0.5 \times 50000 = 25000 \text{ pies.}$$

Lo anterior nos indica que la altura de vuelo expresada en pies será igual a la mitad del denominador de la escala deseada, -- cuando se use una cámara granangular. Esta expresión es de uso general, dado que los altímetros de los aviones vienen en unidades inglesas.

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

Para lograr la continuidad estereoscópica, debe existir -- una sobreposición de los pares fotográficos que cumpla con lo siguiente:

- a) Un vuelo fotográfico que va a ser utilizado para estudios fotogramétricos, es indispensable que cada par fotográfico tenga una sobreposición longitudinal mínima del 60% y máxima del 80%, y una sobreposición transversal del 20% mínimo y 30% máximo. Valores inferiores al mínimo especificado, hacen inservible el trabajo; valores mayores al máximo especificado es antieconómico, - ver figura (3.7). La sobreposición longitudinal de la fotografía la dá automáticamente la cámara mediante la acción de un intervalómetro.
- b) La deriva o deslazamiento transversal de la línea de vuelo no debe excederse de 4° .
- c) El movimiento de balances no debe excederse de 3° .
- d) El movimiento de cabeceo no debe excederse de 3° .

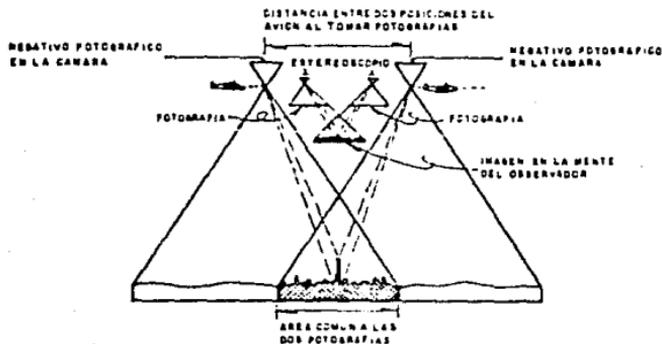


Fig. (3.7) Formación de la visión estereoscópica.

Para llevar a cabo el vuelo fotogramétrico, el medio atmosférico debe estar exento de polvo, humo, nubes y no haber fuertes corrientes de aire, sin embargo puede llevarse a cabo cuando la capa atmosférica abajo del vuelo fotográfico sea nublado varejo. La toma de fotografía también está restringida a ciertas horas del día y la época del año, principalmente cuando el vuelo va a ser destinado a la obtención de planos fotogramétricos.

Se especifica que la altura del sol forme con respecto al horizonte un ángulo comprendido entre 45° y 75° , dependiendo de la topografía del terreno.

Cuando se trata de terreno plano es conveniente que el ángulo sea poco menor, porque ayudan las sombras a observar la este reoscopia.

El levantamiento fotográfico es muy rápido, con un buen equipo se pueden tomar en una semana los datos precisos de 150 kilómetros de itinerario con una faja de 300m. de ancho.

El tipo de película que se emplea para este trabajo, en general es el que se denomina pancromática de base fotográfica de alta resolución y alto contraste, es decir, de muy buena claridad o definición y que presenta una diferencia notable de tonos de blanco y negro. Esta película está compuesta de tres capas que son: Emulsión, Base y Antihalo; la base es la que correponde al plástico que forma el rollo de la película, el cual es indeformable; el antihalo es una capa de material antirreflejante

que impide que la luz atraviese la emulsión; la emulsión de la película está comouesta por cristales en suspensiones de uno o varios halogenuros de plata.

La película que se emplea puede ser blanco y negro, en color ó infrarroja en color y blanco y negro.

Una forma rápida de saber la clase de cámara que se utilizó en la toma de fotografías es examinando ciertas marcas, denominadas "fiduciales", que aparecen en las cuatro orillas ó en las esquinas de las copias, donde también aparecen; la altura de vuelo, la distancia focal y la hora en que se tomó la fotografía.

Cuando la fotografía aérea sea destinada para la obtención de planos fotogramétricos, se procede a obtener del negativo fotográfico, copias de contacto en placas de vidrio denominadas diapositivas, este trabajo se hace en copiadoras de contacto, las cuales pueden ser manuales ó electrónicas. Estas placas diapositivas pueden obtenerse en dos tamaños, según el uso para el que se destinen; de 23x23cm. que es el mismo tamaño de la fotografía y del formato de la cámara, ó bien de 11x11cm. mediante el empleo de una reductora.

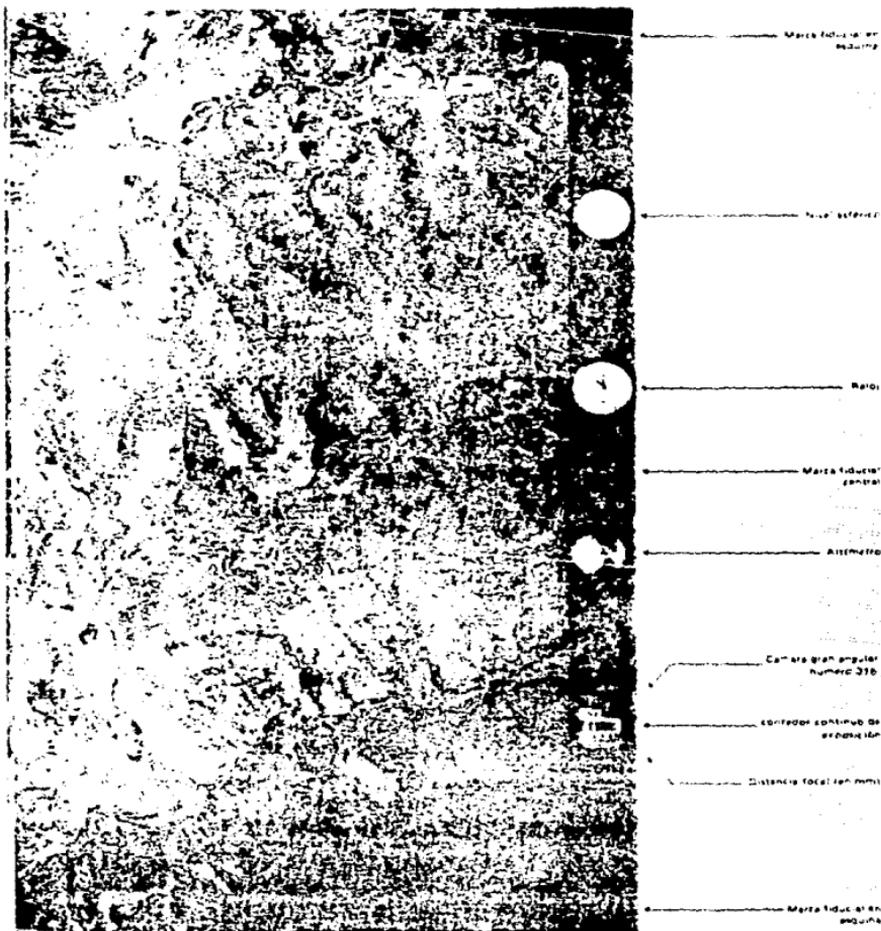


Fig. (3.8) fotografía aérea pancromática blanco y negro
 escala 1:25000, donde se muestra la informa-
 ción que se encuentra sobre el marco.

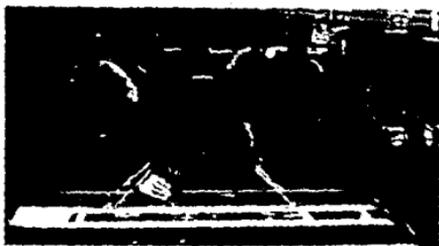


Fig. (3.9) Grupo de especialistas haciendo fotointerpretaciones.



Fig. (3.10) Fotografía aérea para la elección de ruta.

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

3.3.- ESTUDIO DE RUTAS EN FOTOGRAFÍAS AERÉAS A ESCALA 1:50000.

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

La fotointerpretación con fotografías aéreas, escala 1:50000 consiste en realizar un estudio estereoscópico que es muy útil, pues permite analizar en el gabinete, el terreno desde los puntos de vista; topográfico, geológico, hidrológico y socio-económico, delimitando las unidades geomórficas, rocas, suelos, drenajes, zonas apropiadas de cruces y materiales de construcción, es decir, se procura detallar lo necesario en los corredores de las rutas posibles, identificando rasgos en las fotografías y determinando su significado para poder seleccionar la mejor ruta.

El estereoscopio es un pequeño instrumento de óptica, propio para examinar los pares estereoscópicos y ver así las fotografías en relieve; el par estereoscópico es un conjunto formado por dos fotografías tomadas desde puntos diferentes, que vistas simultáneamente cada una de ellas por un ojo, dan la sensación de relieve; la figura (3.10) muestra una fotografía aérea para la elección de ruta y un grupo de especialistas realizando fotointerpretaciones en el estereoscopio.

- a) **CARACTERISTICAS FISICAS DE LAS FOTOGRAFIAS.**- El tono y la textura en una fotografía son muy importantes; cada uno de los tonos entre el blanco y el negro y su frecuencia de cambio en la imagen manifiesta la textura, haciendo más fácil la identificación de los objetos; - por ejemplo, en las fotografías aéreas, las cimas de - las montañas se ven en tonos más claros que las barrancas, porque aquellas reciben más luz del sol.
- b) **CARACTERISTICAS TOPOGRAFICAS Y GEOMORFOLOGICAS.**- El aspecto del relieve generalmente indica la dureza de los materiales; los materiales resistentes forman partes - altas con taludes acentuados; y los materiales blandos forman llanuras o lomeríos suaves; a cada resistencia de material corresponde un talud natural, por lo tanto puede decirse que los cambios de talud indican cambio de material. La disposición ó alineamiento puede indicar flujo, plegamientos, fracturas, fallas, etc., el - drenaje está dado por la pendiente del terreno y por - las características de resistencia a la erosión de los materiales superficiales y subyacentes de la zona, así como por las fracturas y las fallas.
- c) **CARACTERISTICAS DE LA VEGETACION.**- Por el tipo de vege tación se puede identificar el tipo de suelo y el de - la roca original. Un determinado tipo de vegetación - puede identificar la composición del suelo, contenido de humedad, permeabilidad, variación de su espesor y - de su pendiente.

Debe distinguirse la vegetación natural de la de los cultivos, reforestaciones, etc., que pudiesen desorientar. Para este tipo de estudios las fotografías de color, las infrarrojas de color y las infrarrojas blanco y negro, son de valor inestimable.

El estudio de las aerofotos en gabinete requiere del siguiente equipo: ESTEREOSCOPIO, BARRA DE PARALAJE, CALCULADORA, ESCALIMETRO, LUPA, ESCUADRAS, LAPICES DE CERA, ETC. El estereoscópio sirve para observar el relieve del terreno en la faja de superposición de las fotografías, la barra de paralaje sirve principalmente para estimar los desniveles del terreno, ver la figura (3.11).

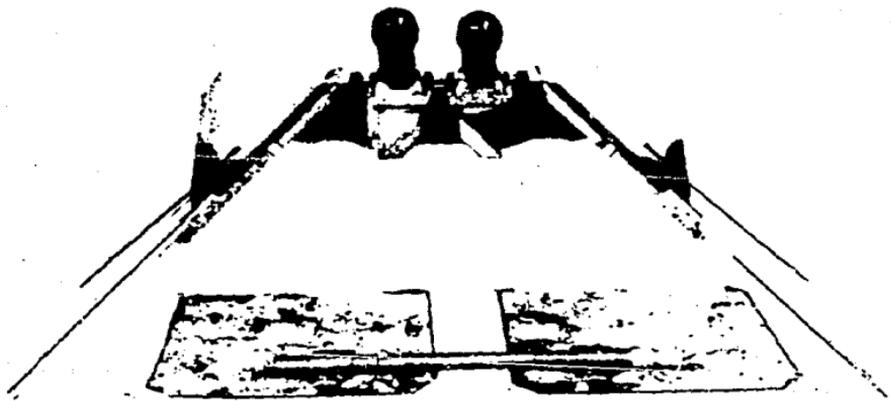


Fig. (3.11) Estereoscópio de espejos y barra de paralaje.

3.4.- RECONOCIMIENTO Y ANALISIS DE RUTAS.

En el mosaico índice de las fotografías aéreas a escala 1:50000 se marcan las diferentes rutas estudiadas previamente, a fin de facilitar la elección de las aerofotos que cubren el área donde van a desarrollarse las distintas alternativas.

Con pares sucesivos de las fotografías seleccionadas, los diferentes especialistas estudian con el auxilio del estereoscopio, la localización de las rutas, los aspectos geotécnicos, los de drenaje y los aspectos socio-económicos, a fin de conocer las ventajas y desventajas de cada una de las rutas marcadas.

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

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

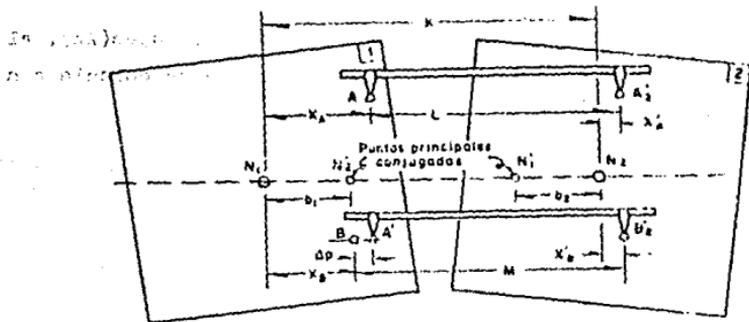
Un factor importante en la elección de una ruta es la pendiente del terreno; por lo que para tener una idea aproximada de

ella y definir si las rutas vistas estan dentro de lo especificado, se determinan las elevaciones de los puertos orográficos, las de los fondos de las barrancas y las de otros puntos que -- queden afectar la posición de la línea.

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

Se procura determinar con la mayor aproximación la escala de las fotografías. Para esto se verá si en algunas de ellas -- aparecen puntos de control terrestre ó bien alguna estructura -- cuya longitud se conozca.

En caso de no haberlas se toma como buena la escala indicada en las fotos. Apoyándose en las marcas fiduciales de las dos fotos que se estudian se determinan los puntos principales, N_1 y N_2 , los cuales estan definidos por la intersección de las líneas -- que unen las marcas fiduciales, ver figura (3.12).



Figura(3.12).Determinación de desniveles mediante la barra de paralaje.

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

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

Supóngase que se trata de determinar el desnivel existente entre los puntos A y B, que aparezcan en ambas fotografías (A_2^1 y A_2^1 en foto 2). Se coloca la barra de paralaje haciendo coincidir sus índices con los puntos A y A_2^1 , girando el micrómetro de la barra para hacer que el punto flotante (toque) el terreno; en esta posición se toma la lectura del micrómetro. Se llevan después los índices de la barra a los puntos B y B_2^1 , girando el micrómetro hasta que el punto flotante (toque) el terreno.

Se toma esta nueva lectura del micrómetro, la diferencia de lecturas es precisamente la diferencia de paralajes (Δp); el desnivel (Δh) que existe entre los puntos A y B, se calcula con la siguiente expresión:

$$\Delta h = \frac{h}{b} \Delta p$$

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

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

El drenaje rectangular suele estar controlado por las diaclasas, las fallas y plegamientos; el drenaje radial se produce desde un cono montañoso ó hacia el centro de una depresión ó --

cuenca; el drenaje concéntrico suele ser indicativo de la presencia de una estructura en forma de domo. Un sistema de drenaje dentrítico generalmente representa un área de rocas bastante homogéneas, mientras que el drenaje paralelo se suele formar por un control de estratos de diferentes resistencias a la erosión. El drenaje emparrado es característico de rocas sedimentarias fuertemente plegadas, ver figura (3.13).

Al irse efectuando la fotointerpretación de cada par, se van vaciando estos datos en un mosaico, llamado mosaico rectificado, a la misma escala 1:50000 (los hay también a escala 1:25,000), el cual se ha hecho previamente.

Los mosaicos rectificados son formados haciendo coincidir las porciones centrales de las fotografías aéreas individuales. Cuando han sido acopladas y hecho coincidir cuidadosamente, dan la apariencia de una sola fotografía.

La figura (3.14), nos muestra este tipo de mosaico fotogramétrico, donde se marcan las características de una ruta estudiada; y la figura (3.15) nos muestra como se forman éstos mosaicos para el reconocimiento de las diferentes rutas que pudieran unir dos puntos, dichos mosaicos son de utilidad para iniciar la segunda etapa (reconocimiento con helicóptero).

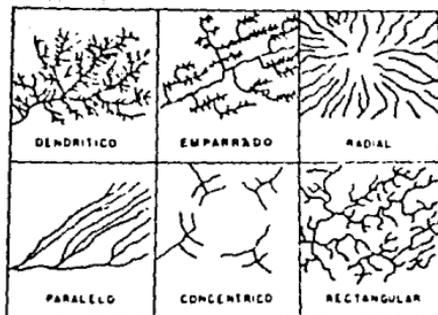
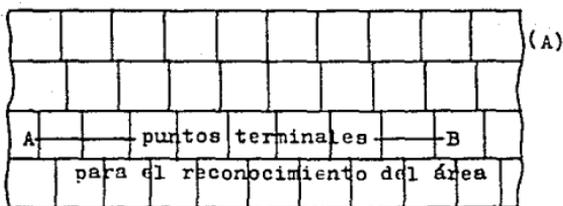


Fig. (3.13) Apariencias típicas de los drenajes.



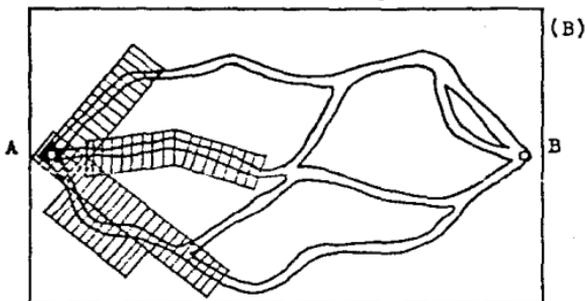
Fig. (3.14) Mosaico fotogramétrico.

Fotografía aérea



Primera etapa

Rutas fusionables fotografiadas



Segunda etapa

Fig. (3.15 A y B)

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

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

3.5.- EVALUACION DE RUTAS.

De acuerdo con el estudio anterior el experto en esta materia decidirá si continúa vigente el paso por los poblados y zonas que se habían previsto inicialmente ó en su defecto se hacen las proposiciones de las modificaciones pertinentes.

Para tener más seguridad en la escala de las fotografías aéreas y a manera de comprobación de la misma, se realiza el apoyo terrestre necesario para cada tipo de vuelo, el cual consiste en marcar (con la ayuda del estereoscopio de espejos), puntos de control terrestre sobre las fotografías aéreas a escala 1:50,000; dichos puntos de control terrestre deben de estar referenciados a puntos que en las fotografías aéreas y en el campo sean facilmente identificables y visibles entre sí, tales como las cimas de los cerros, las cruces de las iglesias, etc..

Para poder localizar los puntos de control sobre el terreno, se toma la fotografía con un alfiler en el lugar que corresponde a dichos puntos y esos piquetes se localizan con relativa facilidad en el terreno, pues como se mencionó, quedan cerca de puntos que se identifican rápidamente.

Las brigadas de localización de dichos puntos, se acompañan con las fotografías del lugar y croquis respectivos, con lo cual se les facilita la localización.

En el campo, se colocan puntos de control terrestre por medio de unas " monas " (asilamiento de piedras), estacas ó mojones de concreto, en el lugar que corresponde al piquete de la fotografía; después se mide la distancia de dichas monas ó estacas a los puntos de referencia, la cual debe de coincidir con la de la escala de las fotografías.

A éstos puntos de control terrestre se les obtiene sus coordenadas (X, Y y Z), las cuales nos ayudan en primera instancia a tener una idea de los alineamientos, tanto horizontal como vertical, que tendrá el posible eje del camino.

3.5.1.- METODO DEL COMPAS

Una vez representadas las posibilidades en las cartas geográficas y en los planos restituidos de las fotografías a escala

1:50,000, se procederá a realizar el trazo de la " Línea a pelo de tierra " utilizando el "METODO DEL COMPAS", el cual se enuncia a continuación:

El método del compás se realiza en el gabinete; y consiste en localizar una línea de control sobre las cartas de I.N.E.G.I. ó sobre planos restituidos de las fotografías aéreas, que reúna ciertas características específicas al tipo de camino de que se trate, esta línea recibe el nombre de "LINEA A PELO DE TIERRA".

Se le dá ese nombre de línea a pelo de tierra a una línea con una pendiente dada (siempre menor que la gobernadora), que se arrastra adaptándose a las irregularidades del terreno y que por lo tanto no tiene terracerías (ya sean cortes o terraplenes).

Para el trazo de la línea a pelo de tierra se necesitan - los siguientes datos:

- a) Escala de los planos restituidos.
- b) Equidistancia entre curvas de nivel.
- c) Pendiente que llevará el camino.

Lo que en el terreno se puede hacer con un clisímetro para llevar una línea con una pendiente dada, puede hacerse en un -

plano restituído, 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 para que al interceptar con sus puntas dos curvas de nivel contiguas, la línea imaginaria que une estos puntos tenga la pendiente deseada; ejemplos:

- 1.- Suponemos que la equidistancia entre curvas de nivel es un metro y la pendiente con que se quiere proyectar una línea en una ladera es de 5%; entonces la separación entre las puntas del compás deberá ser $1/5$ ó sea 20 metros, para que cada vez que se suba ó se baje un metro, se recorran 20, con lo que equivale a 5%.
- 2.- Suponemos una equidistancia entre curvas de nivel igual a 2 metros y una pendiente de 6%; cada vez que se pase de una curva a otra, se subirá o se bajará 2 metros, - por lo tanto la abertura entre las puntas del compás - será de $2/6$, ó sea 33.33 metros. Con la misma escala - en que está dibujado el plano, se separan las puntas - del compás y partiendo del punto inicial, se procede a ascender ó descender, brincando de curva en curva. La unión de estos puntos dará la línea a pelo de tierra.

Esta línea quebrada es la base para proyectar el trazo de la línea definitiva que con las mayores tangentes posibles, deberá apearse lo más que se pueda a la línea a pelo de tierra.

En la práctica es muy difícil lograr esto, debido a que se debe cumplir con las especificaciones geométricas, principalmente de tipo horizontal; pero se procurará enderezar el trazo con tangentes largas hasta donde sea posible, compensando a izquierda y derecha, para obtener la línea de proyecto a través de la imaginaria del trazo a pelo de tierra, para lograr una primera compensación longitudinal. Las tangentes se unen con curvas que igualmente, se apeguen lo más posible a la línea imaginaria ó - compensen las desviaciones a izquierda y derecha lo más que sea posible. Por lo tanto, la línea a pelo de tierra no puede construirse, por ser una línea muy cuebrada y además por carecer de drenaje, su utilidad entonces es la de marcar la dirección general en que se debe de llevar el alineamiento, para reducir las terracerías. La figura (3.15) muestra el Método del Compás.

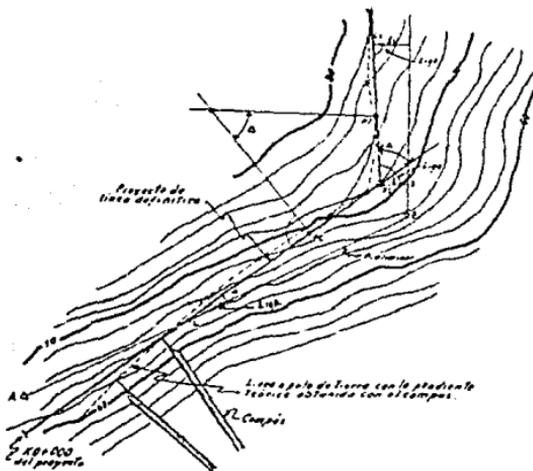


Fig. (3.16) Ejecución del método de compás.

Lo ideal en el trazo del alineamiento de una vía terrestre, es que éste fuera recto desde su origen hasta su destino y a nivel; sin embargo al tener que salvar los accidentes topográficos, es necesario buscar los lugares más fáciles para salvarlos y de la manera más económica posible. Estos lugares por donde debe pasarse para llegar al destino final, son los llamados " PUNTOS DE PASO FORZOSO U OBLIGADOS ", que son puntos que ha de tocar el camino y como su nombre lo indica, es indispensable que se pase por ellos, ya sea por razones socioeconómicas ó técnicas, por ejemplo: Una zona industrial que propicia el desarrollo, es forzoso que el camino toque ese punto; la formación geológica de un estrato del terreno, la cual puede ser muy buena para lograr ahorros en la cimentación de algún puente ó la excavación de un túnel, también es forzoso que el camino toque ese punto; etc..

Los puntos obligados guían el alineamiento general de la ruta. Para ello, la ruta en estudio se divide en tramos, designándolos generalmente con el nombre de los pueblos extremos que unen. De esta manera es posible señalar sobre el plano varias rutas posibles, la figura (3.17) ilustra los conceptos anteriores.

Al dibujar las diferentes líneas que definen las posibles rutas, deben considerarse los desniveles entre puntos obligados, así como las distancias entre ellos, para darse una idea de la pendiente que regirá en su trazado, la cual se le -

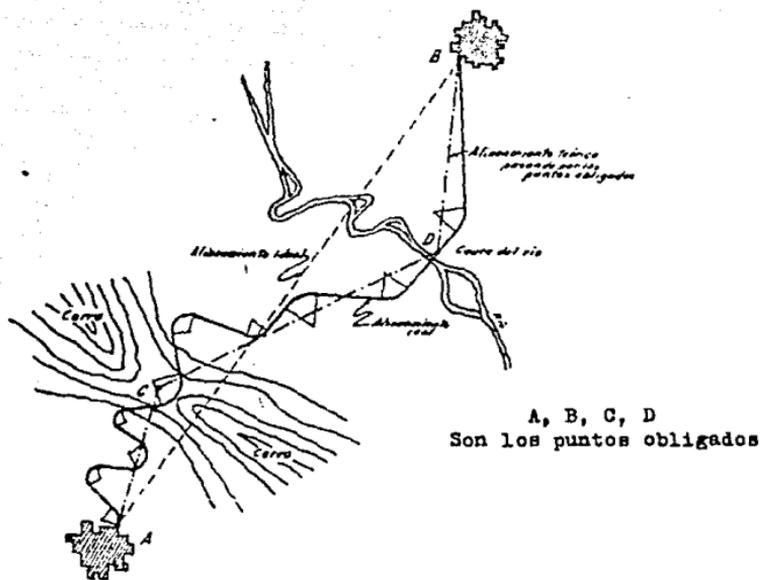


Fig. (3.17) Puntos obligados del alineamiento.

conoce como pendiente gobernadora y debe estar entre el 2% y 10% dependiendo del tipo de camino.

La pendiente que se les puede dar a los caminos para salvar los accidentes topográficos, es el número de unidades (metros) - que sube ó baja una línea por cada 100 unidades horizontales y - entonces se expresa como por ciento, por ejemplo; 3%, 6%, 7.5%, 9%, etc.

CAPITULO IV

PROYECTO DEFINITIVO (METODO TRADICIONAL Y FOTOGRA METRICO)

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:

- 1.- Proyecto en planta del eje del camino, con planos a escala 1:2000 ó 1:1000.
- 2.- Perfil del eje del camino y proyecto de la subrasante en planos a escala 1:2000 horizontal y 1:200 vertical.
- 3.- Cálculo de áreas y volúmenes de las secciones transversales de construcción.
- 4.- Proyecto de la curva masa y movimiento de tierras con los acarrees correspondientes.
- 5.- Proyecto de 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 máximo de curvatura.
- La pendiente máxima.

Un estudio detallado 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, tales 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 son: puentes, muros de retención u obras auxiliares y también para tener conocimiento de los materiales con que se dispone para formar los terraplenes.

Una vez teniendo todos éstos 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 alcantárillas, etc..

Teniendo 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.

METODO TRADICIONAL Y FOTOGRAMETRICO PARA PROYECTO DEFINITIVO

4.1.- ANTECEDENTES

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 PLANEACION, otro en GEOTECNIA y otro en LOCALIZACION.

Se toman fotografías aéreas desde la avioneta, a una altura de aproximadamente 7600m. para producir una escala en las fotografías de 1:50,000. De las fotografías tomadas, se colocan - las dispositivos 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 helicóptero y sirve para verificar lo observado en las fotografías aéreas y mosaicos fotogeológicos; realizado este segundo reconocimiento se elabora un antepresupuesto aproximado de cada ruta, para elegir de ellas la más 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.

4.2.- METODOS EMPLEADOS PARA LA DETERMINACION 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 METODOS TRADICIONALES TERRESTRES ó empleando las ventajas que proporciona LA FOTOGRAMETRIA Y LAS COMPUTADORAS -- ELECTRONICAS.

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 - cualquiera de los dos métodos; METODO TRADICIONAL ó METODO FOTOGRAMETRICO, deberá emplearse para obtener el eje definitivo del camino.

4.3.- SELECCION DEL METODO A SEGUIR PARA EL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO

La elección del método ó procedimiento más 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 práctica se han encontrado cuatro factores que determinan de manera general, el procedimiento a seguir para el levantamiento topográfico, estos son:

I.- LA VEGETACION.

II.- LA CONFIGURACION TOPOGRAFICA.

III.- EL PLAZO DE EJECUCION.

IV.- LA ACCESIBILIDAD DE LA ZONA.

I.- LA VEGETACION

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 0.10m., cuando la altura de vegetación está comprendida entre 0.10m. y 1.00m., 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.

Cuando 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 VEGETACION (m)	PROMEDIO DIAMETRO DE FOLLAJE (m)	PROMEDIO SEPARACION DE ARBOLES (m)	PROMEDIO MAXIMO DE ARBOLES POR (Ha)
5	5	12	60
10	6	15	50
15	7	18	46
20	8	23	20
30	8	29	12

Tabla (4.1)

Cuando la densidad sobrepasa a éstos valores no se podrá utilizar el método fotogramétrico, por la dificultad que presenta el poder observar estereoscópicamente la mayoría de los puntos del terreno, debiendo utilizar en este caso el PROCEDIMIENTO TERRESTRE.

En caso de que las áreas de vegetación densa son aisladas y representa menos del 50% de la longitud de proyecto, podrá utilizarse la combinación de procedimientos.

II.- LA CONFIGURACION TOPOGRAFICA

La influencia de la topografía en la elección del procedimiento es decisiva.

La configuración se puede clasificar en:

- a) Terreno plano.
- b) Terreno en lomerío.
- c) Terreno montañoso.

y su influencia para la elección del procedimiento es la siguiente:

a) Terreno plano.

El tiempo requerido para el control terrestre es más ó 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 MAS ECONOMICO y RAPI DO que el fotogramétrico.

b) Terreno de lomerío.

La elección del procedimiento depende de su costo, el cual a su vez varia con la longitud del camino. Se ha podido deducir que para una longitud menor de 30Km. el procedimiento terrestre es el más conveniente y para una longitud de camino mayor de -- 10Km.

c) Terreno montañoso.

Para elegir el procedimiento en este tipo de terreno es necesario analizar su costo, el cual esta en función de la longitud del camino, normalmente se utiliza el método fotogramétrico ya que facilita el procedimiento de trazo, mismo que se realiza en gabinete.

III.- PLAZO DE EJECUCION.

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.

IV.- ACCESIBILIDAD DE LA ZONA.

La accesibilidad de 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.

4.4.- METODO TRADICIONAL TERRESTRE.

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

4.4.1.- PROYECTO PRELIMINAR POR METODO 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 envia a una brigada de preliminares, la cual lleva como datos el larguillo topográfico en planta con la ruta marcada a una escala de 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 TECNICO

- 1 INGENIERO JEFE DE LA BRIGADA
- 1 INGENIERO TRAZADOR
- 1 INGENIERO NIVELADOR
- 2 TOPOGRAPOS
- 2 DIBUJANTES

PERSONAL AUXILIAR

- 1 MEDICO
- 1 PROVEEDOR

PERSONAL OBRERO (SECCION DEL TRAZO)

1 CADENERO
1 CONTRACADENERO
1 ESTAQUERO
1 CABO DE BRECHA
8 BRECHEROS
1 APARATERO

PERSONAL OBRERO (SECCION DE NIVELACION)

1 ESTADALERO
1 APARATERO
2 BRECHEROS

SECCION DE TOPOGRAFIA (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 (PEON ESPECIALIZADO)

1 ARRIERO

1 PEON

LABOR DE LA BRIGADA PRELIMINAR

Traze

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 este 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 20m. fija trompos en los cruces de los ejes de arroyos, caminos, ferrocarriles, puertos orográficos, 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 la 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, estadal, cinta, etc.

Para obtener el perfil longitudinal de la línea marcada -- por el trazador, toma lectura de las estacas colocadas sobre el terreno y se 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 tales 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 500m. de avance, estos bancos deberán contener los datos suficientes para su identificación. Diariamente calculará y dibujará el perfil de la línea levantada.

SECCIONES DE TOPOGRAFIA

Los topografos se dedican a levantar las secciones transversales de la línea a cada 20m. ó en aquellos sitios que por interés se necesite conocer; utilizan para su trabajo nivel de mano ó clisimétrico, 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 necesario. Esta distancia se conoce aproximadamente con el perfil del terreno y la sección transversal de construcción requerida.

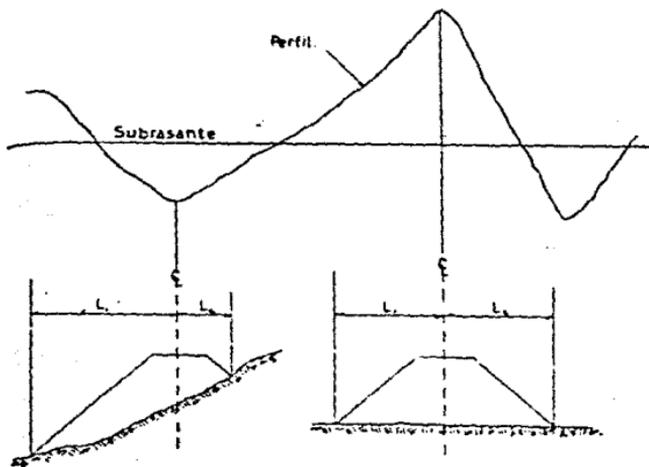


Fig. (4.1) Secciones por configurar a cada lado del eje.

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 varia de 200m. a 300m.

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 cerrado inmediato, ordena en seguida que le vayan alejando el estadal según la dirección de la sección, hasta observar la lectura calculada, mide la distancia que se alejó el estadal y anota, colocándose en el lugar donde se -- quedó el estadal de cota ya conocida cerrado y procede de igual forma a buscar el siguiente punto, de aquí en adelante sus lecturas serán constantes para localizar las siguientes cotas cerradas, el procedimiento sigue hasta cubrir la distancia requerida; diariamente se dibujarán sobre un papel grueso, las secciones -- transversales configuradas y se colocarán los puntos de cota conocida al rededor 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, el cual contiene los datos obtenidos del levantamiento como son:

La línea preliminar ó poligonal de apoyo perfectamente situada y referenciada, con curvas de nivelación obtenidas a través de las secciones transversales dibujadas a láoiz. Este plano se obtiene a una escala aproximada de 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.

4.4.2.- OBTENCIÓN DEL PROYECTO DEFINITIVO

El eje definitivo del camino se obtiene en gabinete sobre los planos de preliminar. Con el METODO DEL COMPAS se busca la línea que con la pendiente especificada recorra la ruta marcada en la etapa preliminar; apeándose lo más que se pueda a esta línea llamada "LINEA A PELO DE TIERRA", se trazan las tangentes y curvas horizontales, requeridas para cumplir con las especificaciones de proyecto, tales como: velocidad máxima, grado de curvatura, distancia de visibilidad, pendiente máxima, etc. Marcando 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 preliminar esta constituida por una serie de tangentes y curvas horizontales; esta es la diferencia esencial entre la línea preliminar, que es un trazo con quiebres 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.

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 graficamente sus coordenadas, rumbos y distancias de cada tangente con respecto a la poligonal de referencia (puntos de liga), así como deflexiones en los P.I.; con estos datos se 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, ya conocido por sus coordenadas y rumbo respecto a la poligonal de referencia; conocida la distancia al P.I. trazará la tangente de entrada, colocando estacas a cada 20m., 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 hace -- las tangentes y otro traza las curvas.
Para el trazo de las curvas se lleva un registro con los datos necesarios para su replanteo.

En el campo se fija el P.I. y mide la distancia de la S.T. para fijar el P.C. y P.T. con la mayor precisión, después se -- procede a trazar la curva por el método de deflexión, con estaciones en P.C. y P.T.

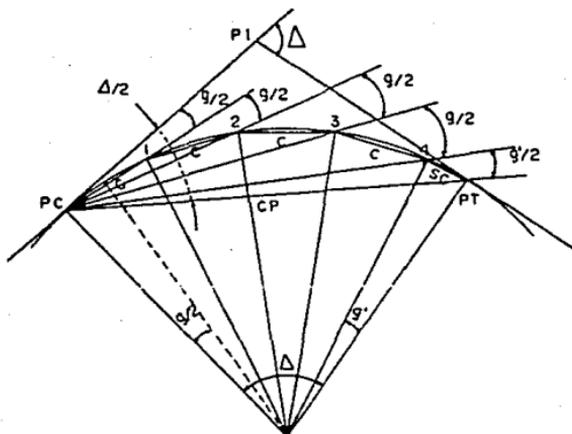


Fig. (4.2) Curva trazada por el método de deflexión.

El origen de la visual será la tangente, es decir, la visual al P.I., como estos ángulos de deflexiones son la mitad de los ángulos centrales, para ir marcando cada curva que es abarcada por "g", desde el centro, las deflexiones irán variando -- " $\frac{g}{2}$ ". Se coloca el tránsito viendo al P.I., las deflexiones -- que hay que ir marcando son: " $\frac{g}{2}$ ", "g", " $1\frac{1}{2}g$ ", "2g"... hasta -- llegar a ver el P.T. Para mayor exactitud en el trazo se reco-- mienda medir la mitad de la curva desde el P.C. y la otra mitad desde el P.T., para disminuir errores acumulativos.

Si el P.C. no cae en un cadenamamiento cerrado, la primer -- cuerda que debe marcarse, será lo que le falte al cadenamamiento que le toque al P.C. para llegar a la siguiente estación cerra-- da, para lo cual se necesita conocer la deflexión por metro -- ($d = \frac{A/2}{LC}$ deflexión por metro).

Cuando por algún obstáculo no se puede ver toda la curva -- desde el P.C. ó P.T. para trazarla, será necesario hacer esta-- ciones de trazo intermedias. Se traslada el aparato al último -- punto marcado, se ve hacia atrás el punto-estación de trazo an-- terior, se gira el aparato con el mismo ángulo que se marcó en la estación anterior para fijar el nuevo punto-estación de tra-- zo; se da vuelta de campana, con esto la línea de colimación -- queda tangente a la curva en ese punto, a partir de esta direc-- ción se sigue el trazo en igual forma que el punto anterior.

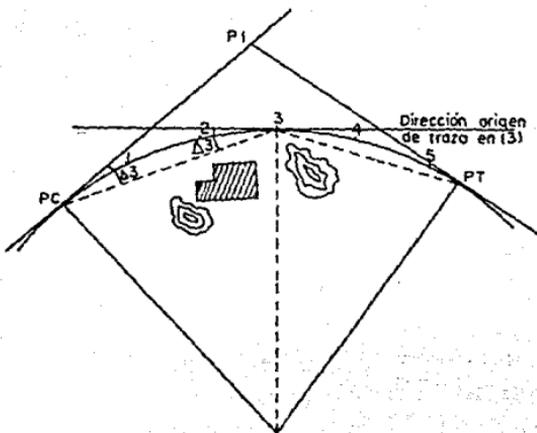


Fig. (4.3) Obstáculos en el trazo de la curva.

Sobre las curvas trazadas se colocarán estacas a cada 20, 10 ó 5m., 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 20m., cada uno de éstos 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 mojeneras ó rocas fijas, midiéndose sus ángulos y distancias; como esta línea definitiva es abierta, su trazo deberá comprobarse cada vez que sea fácil ligarla con un vértice de la preliminar ó a cada 5 Km., en terreno llano de lomerío y a cada 2 km. en terreno montañoso, checando rumbos y distancias con los vértices ó lados de la preliminar de topografía, lo cual debe cerrar en un punto de intersección del trazo definitivo con un lado de la preliminar ó con un vértice. La tolerancia angular deberá ser:

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

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

La tolerancia en distancia es 1:2000 en terreno montañoso y de 1:8000 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 tramo por comprobar es (dif.X) y la de las ordenadas es (dif. Y), entonces la tolerancia aceptada no deberá ser mayor que:

$$\frac{I}{T} = \frac{\text{Dif. de coordenadas del tramo}}{\text{Dif. de coordenadas de los puntos extremos}}$$

T = Es la tolerancia indicada anteriormente.

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

La diferencia de coordenadas de los puntos extremos es el error de cierre ó 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 dá por bueno y se prosigue el trazo, si no sucede deberán revisarse otra vez los ángulos ó 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, repartiéndose las diferencias encontradas en las abcisas y ordenadas con el signo correspondiente entre los distintos lados de la preliminar según sus proyecciones X e Y.

Una vez trazados los primeros 5 a 10km. de proyecto, se solicitarán los datos de estudio geotécnicos correspondientes al tramo para completar el proyecto y asegurar que la línea trazada no tendrá problemas posteriores y los que se tengan sean de fácil solución.

NIVELACION

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

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

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

Sobre el perfil del terreno obtenido, dibujado en papel milimétrico grueso a escala 1:200 vertical y 1:2000 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 cruvas verticales.

Realizando esto se determinan los espesores de corte ó terraplén correspondientes.

SECCIONES TRANSVERSALES PARA CONSTRUCCION

Simultáneamente a la nivelación ó poco después de ésta, se realiza el seccionamiento transversal en las estaciones cerradas de 20m. 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 ó nivel 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 subsiguiente.

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 SECCION DE PROYECTOS.

CURVA MASA

El cálculo de áreas, volúmenes y ordenadas de curva masa puede efectuarse por dos procedimientos:

PROCEDIMIENTO MANUAL (hecho en el gabinete de la propia brigada)

PROCEDIMIENTO ELECTRONICO.

Procedimiento manual

Dibujadas las secciones de proyecto, se miden con planímetro las áreas de corte y terraplén de cada una, cosignando su valor; inmediatamente después se calculan los volúmenes entre dos secciones consecutivas, multiplicando la suma de las áreas de corte ó 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 y esta se limita a enviar en tramos de 5Km. los datos de las secciones del terreno, vaciadas en las formas (L.280) tab. (4.1), 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) tabs. (4.2) y (4.3). 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 más convenientes.

ESTUDIO DE DRENAJE

En la etapa elección de ruta, el drenaje fué tomado en --- cuenta en forma general; junto con las características topogr^áficas y del suelo definieron la ruta más conveniente que cumplera con los requisitos de planeación.

En la etapa preliminar se tomó en cuenta el número de o--- bras, pero sin llegar a dimensionarlas.

En la etapa definitiva el eje de las obras se estudia en - los planos a escala 1:2000, en planta y perfil, fijándose directamente en el campo; si se tiene duda al tratar de fijarlos, se procederá a realizar un levantamiento topográfico de detalle a escala 1:5000, 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; se fijará la estación de cruce; se nivelará el - eje trazado a cada 10m., marcando los fondos de arroyos; se hace 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 esviamiento y la pendiente del eje trazado. Sobre el perfil de la obra se proyecta la plantillade la misma.

El tipo de obra más adecuada y económica, se selecciona 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 obras tales como dimensiones de tubos, longitud del cuerpo, aleros, elementos constructivos de estribos, losas, etc.

PROYECTO DEFINITIVO

Los datos de dimensionamiento de cada obra son vaciados en dos formas de proyecto constructivo. Para las obras de drenaje mayor (puentes), 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

ración de la zona de cruce, los planos obtenidos se realizan a escala 1:500 con curvas de nivel a cada 0.50m.

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

Realizando esto se procede a efectuar el dimensionamiento de la obra.

PLANOS DEFINITIVOS

La planta se presenta en papel transparente resistente en tramos de 5Km. del trazo definitivo; conteniendo el trazo del camino con su kilometraje, la configuración topográfica de la zona, conteniendo esta a unos 200m. antes y después del inicio y final del trazo; se tendrán marcados los puntos de los vértices de la poligonal de referencia con su número y elevación, se dibujarán casas, alambrados (cercas) y caminos cercanos; se especificarán las coordenadas de la poligonal y de ángulos del trazo; se indicará con flecha el norte astronómico y magnético.

PERFIL

Se dibuja el perfil en papel ó tela milimétrica a escala 1:200 vertical ó 1:100 y 1:2000 horizontal, dibujando también 200m. 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 PIV, PCV y PTV de las curvas - verticales; se dibuja el diagrama de curva masa a escala vertical conveniente, para que deje claro el perfil y las compensado ras; 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 en cada estación de 20m., cotas del terreno, de la subrasante, el espesor de corte ó terraplén, ordenadas de la curva masa, clasificación del suelo, coeficiente de variación volumétrica; contendrá nombres de poblaciones, caminos, arroyos, puertos orográficos, etc. y el procedimiento constructivo del - camino.

PLANO DE SECCIONES DE CONSTRUCCION

Dibujadas en papel milimétrico de 75cm. 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.

4.5.- METODO FOTOGRAMETRICO

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

4.5.1.- 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 1:25000.
- c) Anteproyecto en Balplex ó autógrafo A-8.
- d) Restitución en planos a escala 1:2000 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 relacionar cuantitativamente el terreno con sus imágenes fotográficas; es indispensable para poder efectuar en equipo Balplex ó 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 500m. y sus vértices deberán encontrarse lo más cercano posible a la línea probable de trazo definitivo.

FOTOGRAFIAS AEREAS A ESCALA 1:25000

Sobre los mosaicos fotográficos elaborados en el vuelo a escala 1:50000 se marcan las líneas aéreas de vuelo, para poder obtener las fotografías aéreas a escala 1:25000 de la ruta estudiada.

ANTEPROYECTO EN BALPLEX O AUTOGRAFO

Con las fotografías tomadas a escala 1:25000 y en el equipo Balplex ó autógrafa A-8 se obtiene la restitución y maqueta estereoscópica 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 1:25000.

Para simplificar las etapas posteriores del proyecto, se -
necesitará afinar esta línea de anteproyecto; para poder afinar
la se tienen dos opciones; la primera consiste en enviar a una
brigada de localización, para que mediante un levantamiento re-
duzca el ancho de la faja de terreno; la segunda es continuar -
por fotogrametría, se traza una poligonal de apoyo en el terre-
no; esta poligonal deberá contener alternamente a sus lados, --
los vértices de un apoyo terrestre para poder ligarlos con esta.

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

- a) La distancia entre dos vértices contiguos deberá -
ser de 250 a 400m., 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 general-
mente a distancia entre 30 y 50m.

Colocada la poligonal de referencia con el apoyo terrestre
se toman fotografías aéreas a escala 1:5000, estas fotografías
se envían al campo para identificar vértices y escoger los pun-
tos laterales de nivel en los triples traslapes de las fotos.

RESTITUCION DE PLANOS PARA PROYECTO DEFINITIVO

La restitución se realiza por medio del autógrafa A-8 generalmente a escala 1:2000 ó 1:1000 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, gene-- ralmente son suficientes 200m. a cada lado de la línea. Con esta restitución se obtienen planos en planta a escala --- 1:2000 conteniendo la línea de anteproyecto, planos de perfil a escala 1:2000 horizontal y vertical la que se haya elegido, indicándose la subtransante proyectada.

4.5.2.- PROYECTO DEFINITIVO

DEFINICION

Es el conjunto de trabajos y estudios que dan como resulta do los planos, datos y procedimientos de construcción, elabora dos con la aproximación y claridad necesarias para que pueda -- llevarse a cabo la construcción de la obra con facilidad.

De la elección de la línea definitiva en los estudios de - anteproyecto, dependerá el costo inicial de la obra, su opera-- ción y conservación económicas. Es indispensable por lo tanto, que esos estudios se hayan llevado a cabo minuciosamente, para que el proyecto definitivo sea practicamente la solución óptima.

Quando en el ante-proyecto haya quedado la duda de la bondad de dos líneas por su semejanza en características y costo, y a causa de la aproximación de los datos con que se contó y no fué posible referenciarlas para elegir una de ellas, corresponderá al proyecto definitivo, obtener datos más aproximados a la realidad para estar en condiciones de elegir la más económica.

DATOS PREVIOS

Se requiere contar con los datos de tránsito que incluyen el T.D.P.A. y el T.H.M.A., la composición y características del mismo, los cuales se deben haber proporcionado desde las etapas anteriores.

Los datos que además debe proporcionar el ante-proyecto -- son:

- 1.- Puntos obligados, como cruces de corrientes fluviales, puertos topográficos y los que resulten del estudio -- geológico y de suelos.
- 2.- Un juego de plantas a escala 1:2000, con la línea del ante-proyecto aprobado.
- 3.- Un juego de perfiles a escala horizontal 1:2000 y la vertical que se haya escogido, indicándose la subrasante fijada.

- 4.- Dos juegos de fotografías a escalas 1:50000 y 1:25000, indicándose en ellos la línea aprobada en anteproyecto.
- 5.- Los estudios de foto-interpretación geológica incluyen do mosaicos.
- 6.- Un informe resumiendo los estudios geotécnicos elaborados antes y los últimos resultados a que se haya llegado.

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

MATEMATIZACION

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

llenadas las formas se envían a captura y posteriormente a procedimiento de datos, los resultados son presentados según se indica en la fig. (4.4), conteniendo lo siguiente:

----- ESPECIFICACIONES DEL TRAZO 2075 -----

VELOCIDAD = 70 KPH
 CARPETA = 5.50 M.
 GRADO MAX. = 8.000
 SOBR. MAX. = 0.12

ORIGEN = 80+000.00 R.A.C. = S355W
 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.C.A. = S355W TANG. = 549.82M.

PI = 80+606.91
 $\Delta T = 11^\circ 23' \text{ IZQ.}$
 $G = 2^\circ 00'$
 $R = 572.96 \text{ M.}$
 $ST = 57.10 \text{ M.}$
 $LC = 113.83 \text{ M.}$

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

COORDS. CENTRO
 $X_0 = 104571.56$
 $Y_0 = 150555.83$

COORDENADAS DE LOS PUNTOS ADICIONALES

ESTACION	ABSCISA	ORDENADA
80+785.36	104019.28	150390.69
80+907.08	104035.10	150270.00

Fig. (4.4) Matemización

1.- Listado con cadenamamiento de los P.I. y de los puntos importantes de 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) de las coordenadas del (Ec), el valor de (P) y el (K) y las coordenadas del centro a la curva circular. También se dan longitudes de las tangentes y rumbos astronómicos.

NIVELACION Y SECCIONAMIENTO

Una vez teniendo los resultados de la matematización se dibujan los planos a lápiz en papel indeformable por temperatura ó humedad, a escala 1:1000, por ser esta 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 puntos de apoyo, en los de nivel y la orientación del modelo, ó 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 este dotado de un aditamento especial llamado perfilómetro el cual proyectará la imagen 6 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 20m., en la cual se desea conocer su desnivel, inmediatamente se recorre la sección, deteniéndose en cada quiebra 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 ó punto requerido y se prosigue en la misma forma descrita, así obtenemos el perfil detallado del eje, así como su seccionamiento en cada estación, se indica en la tabla (4.1).

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.

Realizando 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 capturar y procesar en la computadora, la cual dará como resultado un listado con los volúmenes y ordenadas de la curva masa. Inmediatamente después se dibuja esta y se procede a su interpretación racional para realizar un primer estudio del monto de las terrazas, en este primer intento siempre se encuentran lugares ó tramos donde convenga modificar la subrasante ó el alineamiento horizontal.

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

ESTUDIO DE DRENAJE

En la etapa de selección de ruta, el drenaje fué tomado en cuenta en forma general, basando sus características con las topográficas, de suelos, etc., para llegar a obtener las rutas más convenientes que cumplieran con los requisitos de planeación. En la etapa preliminar, ya fué tomado en cuenta el número de obras, pero sin llegar a dimensionarse (la elección del tipo fué aproximada de acuerdo a las características del terreno).

En la etapa de proyecto definitivo, tomando como base las fotointerpretaciones hidrológicas efectuadas en las diferentes etapas; los planos a escala 1:5000 y 1:2000 de anteproyecto 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 -- 1:2000) particular de cada obra para proyectar el eje de cada uno, obteniéndose el perfil del fondo del cauce, esto se realiza aprovechando el tiempo en que un car fotográfico está 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 50cm., para en las mismas estudiar varias 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 distintos 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 escurridor.

Con todos estos datos se obtiene el dimensionamiento parti-- cular de cada obra.

Finalmente se realiza un informe de funcionamiento del dre-- naje 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 escurrimiento, 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 del 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

Realizando todo lo anterior se preparan los planos definitivos en fajas de 5Km., para indicar la construcción del camino, estos planos serán los siguientes y contendrán la información - que a continuación se menciona:

- I.- Planta del camino
- II.- Perfil del eje definitivo.
- III.- Listado del estacamiento del proyecto definitivo.

I.- Planta del camino

Representada en tramos de 5Km., dibujada en papel transparente y resistente en tamaños de 0.50m. de ancho, por el largo necesario; conteniendo el trazo del eje definitivo con su cadenamamiento y curvas de nivel, la topografía de la zona; los puntos de la poligonal de referencia, además de casas, cercas ó caminos cercanos.

II.- Perfil del eje definitivo

Conteniendose subrasante proyectada; kilometraje, los datos del alineamiento vertical como: PIV, PCV, PTV y elevaciones, el diagrama de curvas masa, anotando los enunciados de terracerías y sus valores, la ubicación y tipo de las obras de drenaje, en la parte inferior contendrá los datos relativos a la curva - masa, la clasificación del suelo, su coeficiente de variación - volumétrica y el procedimiento de construcción.

III.- 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 la tabla (4.4).

Camino La Paz - San José del Cabo Tramo 115
 Datos para el Estacamiento del Trazo Definitivo Hoja 53

** DATOS DEL TRAZO DEFINITIVO **

Datos de la poligonal de apoyo.	Referencias al apoyo		Replanteo de coordenadas						
	Distancias		Coordenadas Polares			Las Curvas			Rectangulares
	Est. PV	Azimut - Long. Elev.	Estación	Axial Normal	Angulo	Dist.	Cuerda	Abscisa ordenada	
	G MI M M	M M	M M	G MI M G MI M	M	M	M		
**			68 240.00	359.16 46.54		6 33 401.86		65555.74 196554.44	
**				-6.80 -45.54		-100 43 47.37			
**	43 44 139 52	402.42 483.40						65705.82 196579.70	
**			68 260.00	10.56 55.69		79 18 56.59		65670.82 196535.10	
**				391.86 -55.69		-8 5 395.80			
**			68 280.00	20.47 64.54		66 13 70.59		65675.90 196515.76	
**				373.95 -64.54		-9 48 379.49			
**			68 300.00	-46.39 73.45		57 44 85.00		65680.99 196496.41	
**				355.04 -73.45		-11 40 363.54			
**			68 320.00	64.36 82.39		57 2 104.51		65685.07 196477.07	
**				338.13 -82.39		-13 42 348.02			
**			68 340.00	62.21 91.28		47 50 123.85		65691.15 196457.73	
**				320.21 -91.28		-15 55 332.97			
**			68 360.00	100.12 100.16		45 1 141.82		65696.24 196438.39	
**				302.30 -100.16		-18 20 318.47			
**			68 380.00	118.03 109.09		42 45 160.72		65701.32 196419.04	
**				284.36 -109.09		-20 59 304.54			
**	TE		68 400.00	126.07 114.66		41 34 172.19		65704.51 196400.21	
**				273.15 -114.66		-22 46 356.24			
**			68 420.00	135.95 117.96		40 57 179.99	0 9 7.45	65706.42 196380.70	
**				266.47 -117.96		-23 53 291.41			
**			68 440.00	154.26 125.28		39 14 199.17	-2 2 12.69	65712.42 196361.64	
**				248.16 -125.28		-26 55 270.31			
**	EC		68 460.00	165.18 130.30		37 35 213.55	-5 1 15.53	65718.99 196342.55	
**				233.24 -130.30		-29 11 267.17			
**			68 480.00	173.57 131.67		37 4 217.59	-1 33 4.45	65724.29 196323.75	
**				220.80 -131.67		-29 48 263.73			
**			68 500.00	193.51 131.51		34 12 231.97	-8 33 15.95	65734.99 196304.44	
**				208.91 -131.51		-32 11 246.85			
**			68 520.00	212.97 127.10		30 50 248.02	-15 33 19.95	65750.20 196285.68	
**				189.45 -127.10		-33 51 229.14			
**	CE		68 540.00	225.72 121.25		28 15 256.23	-20 29 14.03	65765.00 196267.93	
**				176.70 -121.25		-34 27 214.00			
**			68 560.00	230.76 118.13		27 8 259.27	-1 59 5.93	65768.69 196250.17	
**				171.63 -118.13		-34 32 208.06			
**			68 580.00	246.45 105.72		23 13 268.15	-7 15 19.66	65788.39 196234.54	
**				155.96 -105.72		-34 8 189.43			
**	ET		68 600.00	258.75 93.66		19 57 275.26	-12 17 17.05	65805.34 196220.01	
**				143.57 -93.66		-33 10 171.63			
**			68 620.00	276.85 81.82		16 24 276.34		65828.20 196207.80	
**				141.57 -81.82		-32 58 158.74			
**			68 640.00	275.08 77.77		15 47 285.60		65828.20 196207.80	
**				127.34 -77.77		-31 25 149.21			
**			68 660.00	292.31 63.71		12 25 298.24		65848.17 196194.99	
**				113.11 -63.71		-29 23 129.62			
**			68 680.00	303.24 49.06		9 17 307.58		65868.11 196181.47	
**				98.89 -49.06		-26 40 116.65			
**			68 700.00	317.77 35.51		5 24 319.76		65888.08 196168.05	

Tabla (4.4) Datos del trazo definitivo.

Este listado consta de dos columnas identificadas claramente por su encabezado. El grupo de columnas de la izquierda contiene los datos de la poligonal de referencia ó de apoyo, el grupo de columnas de la derecha contiene los datos para el establecimiento 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 ó 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 columna 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 20m. y para aquellas que limitan cambios de geometría en el alineamiento horizontal (TE, EC, CE, ET, PE, PT); la ubicación del centro de línea refiriendolo 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 estan contenidas en dos renglones para cada estación son las siguientes:

- 1) Kilometraje de la estación.
- 2) Las cuatro columnas siguientes, encabezadas por el título de referencias al apoyo, contienen 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:

I.- 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 coordenadas es la recta que une a los dos vértices de la poligonal, su sentido es del vértice, estación hacia el vértice visado y el origen de coordenadas se encuentra en el vértice estación, en consecuencia toda distancia medida del vértice estación al vértice visado será distancia (Y) axial positiva (ordenadas positivas), toda distancia (X) medida normalmente a la recta que une los vértices será positiva si es a la derecha (abscisa positiva), ó negativa 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° .

II.- 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 a 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 iz---

quiera 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.

III.- 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.

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 1:2000 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.

4.6.- 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 acarrees correspondientes.

Para la obtención del diagrama de curva masa, se necesita contar con una serie de datos, tales como el perfil del eje del camino, en el cual se representa la subrasante económica y la sección transversal adaptada:

SECCION 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.

ELEMENTOS QUE INTEGRAN UNA SECCION TRANSVERSAL

Los elementos que integran y definen la sección transversal son los siguientes:

La corona, la subcorona, las cunetas y contracunetas, los taludes y las partes complementarias, ver sección típica.

Corona.- Es la superficie de terreno determinado, que queda comprendida entre los hombros del camino, o sea, 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.

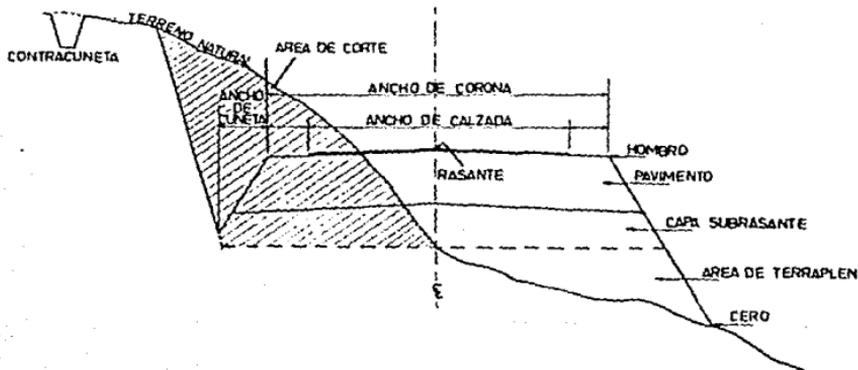


Fig. (4.5) Sección típica en tangentes del alineamiento horizontal.

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.

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

TIPO DE SUPERFICIE DE RODAMIENTO		BOMBEO
Muy buena	Superficie de concreto hidráulico ó asfalto tendido con extendidora mecánica.	0.010 a 0.020
Buena	Superficie de mezcla asfáltica tendida con motoconformadora carnetada de riegos.	0.015 a 0.030
Regular a mala	Superficie de tierra a 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/Hr.

R = Radio de la curva (m).

μ = Coeficiente de fricción lateral.

Algunos problemas de construcción y mantenimiento del camino, mostraron la necesidad de fijar una sobreelevación máxima, admitiéndose cuatro valores.

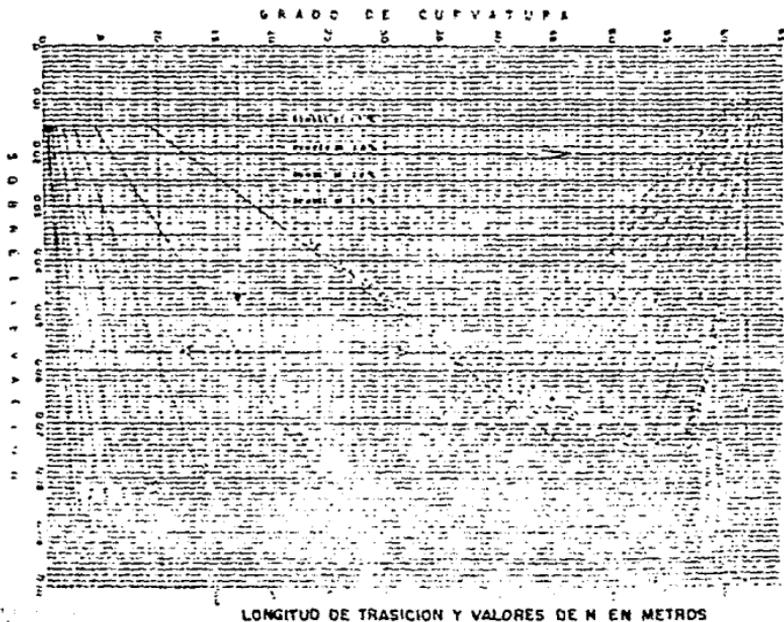
- 12% en aquellos lugares donde no existen heladas ni nevadas, y el porcentaje de vehículos pesados es mínimo.
- 10% en los lugares en donde sin haber nieve ó hielo, se tiene un alto porcentaje de vehículos pesados.
- 8% en lugares donde las nevadas ó heladas son frecuentes.
- 6% en zonas urbanas.

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

$$G \text{ max} = \frac{146000 (\mu + S \text{ max})}{V^2}$$

Para calcular la sobreelevación en curvas de grado menor al máximo, la SCT utiliza el siguiente procedimiento:

Calcular la sobreelevación proporcionalmente al de curvatura, de manera que $S = 0$ para $G = 0$ y $S = S \text{ max}$ para $G = G \text{ max}$ ó sea: $S = (S \text{ max}/G \text{ max}) G$. En la gráfica(4.5) se puede obtener la sobreelevación para el grado de curvatura y velocidad de proyecto, así como la longitud de transición de la sobreelevación.



Gráfica (4.5) Sobreelevación y longitudes de transición para sobreelevación máxima de 10%.

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 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 consiste 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 de menor longitud de transición y los desniveles relativos de los hombros son uniformes. En las figuras (4.6) y (4.7) se ilustran los procedimientos indicados.

c).- Calzada: Es la parte de la corona destinada al tránsito de vehículos y constituida por uno ó más carriles.

cl).- Ancho de calzada en tangente: Para determinar el ancho de calzada en tangente, debe establecerse el nivel de

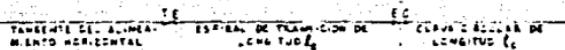
SECCIONES TRANSVERSALES



VARIACION DE LA SUPERFICIE



LOCALIZACION RELATIVA DE LA CURVA CON ESPERALES DE TRANSICION



LOCALIZACION RELATIVA DE LA CURVA CIRCULAR SIMPLE

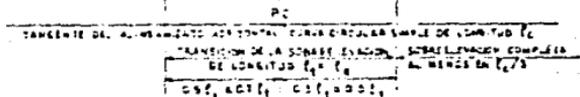


Fig. (4.6) Transición de la sección en tangente a la sección en curva, girando sobre el eje de la corona.

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: - 2.75m., 3.05m., 3.35m., y 3.65m. y normalmente se -- proyectan dos, cuatro ó más carriles, sin embargo -- cuando el volumen de tránsito es bajo ó sea de 75 -- vehículos por día ó menos, llamados caminos de segundo orden, pueden proyectarse caminos de un carril para dos direcciones de tránsito, con un ancho de 4.5m.

c2).- Ancho de calzada en curvas del alineamiento horizontal: Cuando un vehículo circula por una curva, 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 este sobre ancho se le llama ampliación, la cual debe darse tanto a la calzada como a la corona.

Para fines de proyecto no se consideran ampliaciones menores de 20cm.; la ampliación en curva se dá 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 sobreelevación.

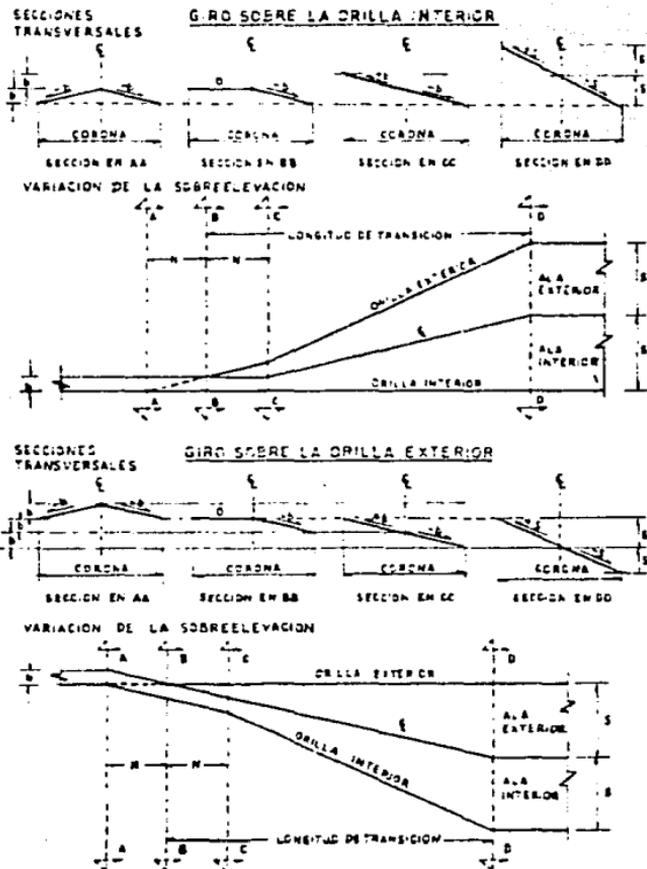


Fig. (4.7) Transición de la sección en tangente a la sección en curva, girando sobre la orilla de la corona.

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 2.50m.

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 ó terraplenear para formar el camino hasta la subcorona. La diferencia de cotas entre - el terreno natural y la subcorona, define los espesores de corte ó terraplén en cada punto de la sección. Se entiende por pavimento, a la capa ó capas de material seleccionado comprendido entre la subcorona y la corona.

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

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

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

Partes complementarias: Reciben esta denominación aquellos elementos de la sección transversal que concurren ocasionalmente y con los cuales se trata de mejorar la operación y conservación del camino, dichos elementos son las guarderías, bordillos, banquetas y fajas separadoras.

Las secciones transversales pueden presentarse a lo largo del camino en cualquiera de sus tres formas: Sección en corte, Sección en Terraplén y Sección en balcón, ver fig. (4.8). En --

una sección transversal del camino, se cuenta con datos relativos de 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 construcción pueden separarse en dos grupos y son los siguientes:

a) Los propios del diseño geométrico.-

Espesor de corte ó terraplén.

Ancho de corona.

Ancho de calzada.

Ancho de acotamiento.

Pendiente transversal.

Ampliación en curva.

Longitud de transición.

Espesor de pavimento.

Ancho de subcorona.

Talud de corte y terraplén.

Dimensión de cunetas.

b) Los impuestos por el procedimiento de construcción de las terracerías.-

Despalme.

Compactación del terreno natural.

Cuerpo del terraplén.

Capa subrasante necesaria.

Cuña de afinamiento.

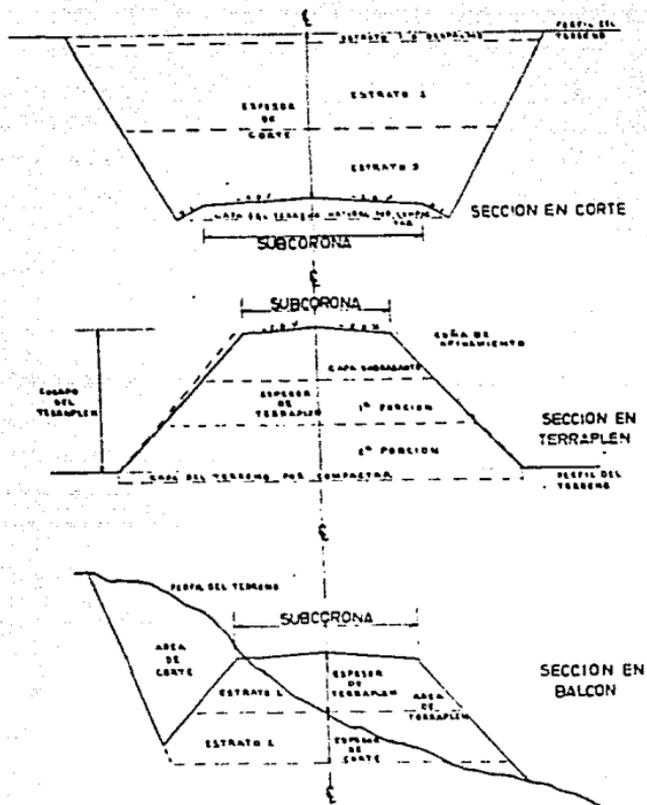


Fig. (4.8) Secciones transversales.

Muros de retención (si son necesarios).

Bermas.

Estratos de corte, que aparecen en la excavación.

Proyecto de la subrasante económica.

Los costos de construcción son parte integrante de la evaluación de un camino, la cual esta gobernada por el movimiento de terracería, 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 corresponden los movimientos de terracerías más 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 cavidad a las - estructuras tales como puentes, pasos a desnivel, alcantarillas, etc.

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.

Condiciones topográficas.- Generalmente se puede decir que en terreno plano, el proyecto de la subrasante será en terraplén, ligeramente paralelo al terreno, con altura suficiente para dar cavidad a las alcantarillas y puentes, a su vez quedará a salvo de la humedad propia del suelo y de los escurrimientos laminares de este.

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.

En terreno montañoso, como consecuencia de la configuración topográfica, se emplean frecuentemente las especificaciones máximas, tanto en el alineamiento horizontal como vertical; el proyecto de la subrasante queda generalmente condicionado a la pendiente transversal del terreno, en ocasiones debido a excesiva pendiente transversal del terreno, la elevación de la subrasante debe estudiarse considerando la construcción de muros de retención ó túneles en su caso.

Condiciones geotécnicas.- La calidad de los materiales que se encuentran en la zona donde se localiza el camino, es factor muy importante para el proyecto de la subrasante, ya que además del estileo que tendrán en la formación de terracerías, servirá de apoyo al camino. La elevación de la subrasante esta limitada en ocasiones por la capacidad de carga del suelo que servirá de base al camino.

Subrasante mínima.- Es la elevación mínima que se le pueda dar a la rasante, en un punto determinado del camino, los elementos que fijan esta elevación mínima son:

- 1) Obras menores.
- 2) Puentes.
- 3) Zonas de inundaciones.
- 4) Intersecciones con otros caminos.

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:

a) Costos unitarios.

Excavación en corte.

Excavación en préstamo.

Compactación en el terraplén 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.

b) Coeficiente de variabilidad volumétrica.

Del material de corte.

Del material de préstamo

c) Distancia económica de sobre-acarreo.

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:

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

Donde:

DME = Distancia máxima de sobrecarreo económico.

ad = Costo unitario de sobrecarreo del material de corte de desperdicio.

P_c = Precio unitario de la compactación en el terraplén, del material producto del corte.

AL = Acarreo libre del material, cuyo costo está incluido en el precio de excavación.

P_p = Costo unitario del terraplén formado con material producto del préstamo.

P_{sa} = Precio unitario de sobrecarreo del material de corte.

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.

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 "diagrama de curva masa".

Métodos empleados para la determinación de las áreas de 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 este fin se encuentran los métodos siguientes:

- 1) Método analítico.
- 2) Método gráfico.
- 3) Método del planimetro.

Método analítico.- Este método se basa en la descomposición de la sección en figuras regulares, la cual debe estar graficada en el sistema de ejes coordenados.

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 ellas y el área total de la --

sección será igual a la suma de las áreas parciales.

Método del planímetro.- Llamado también método mecánico, - se basa en la obtención de áreas por medio de un aparato denominado planímetro.

Existen dos clases de planímetros; el polar y el rodante, el -- primero es el que más se utiliza por su sencillez de operación, consta principalmente de un polo fijo, una punta trazadora, la cual va unida a un brazo móvil; un brazo fijo, un tambor graduado, una rueda que contiene un vernier, un disco que registra -- las vueltas completas y un dispositivo que permite ajustar el -- brazo trazador a la escala del dibujo.

Existen otros métodos, los cuales muestran ciertos artificios para el cálculo de las áreas; estos métodos son empleados cuando la precisión requerida no es muy importante y la rapidez para saber aproximadamente el área de las secciones es preponderante, entre estos métodos prácticos se encuentran:

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

- b) Dividir la superficie verticalmente en fajas del mismo ancho, las cuales se miden con una tira de papel, en el cual se van marcando sucesivamente las longitudes y al

terminar se mide toda la longitud acumulada, la cual multiplicada por su ancho constante nos dará el área aproximada de la sección.

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 presupone que el camino esta formado por una serie de prismoides, tanto en terraplén como en corte, 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.

Fórmula del prismoide

$$V = \frac{d}{6} (A_1 + 4 A_m + A_2)$$

Donde:

d = Distancia entre las dos secciones extremas del prisma.

(A₁ y A₂) = Areas de esas secciones.

(A_m) = Area de una sección, cuyas dimensiones son el promedio de las dimensiones de las secciones extremas. Obsérvese que (A_m) no es el promedio de (A₁ y A₂).

Esta fórmula se puede aplicar para cualquier caso que requiera la determinación de volúmenes de prismas irregulares; --

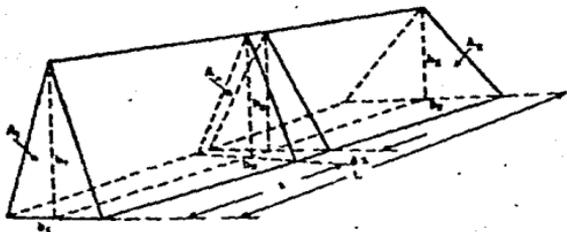


Fig. (4.9) Volumen de un
prismoide
triangular.

sin embargo, en los estudios de vías de comunicación se prefiere aplicar una fórmula más sencilla, aunque menos aproximada y que en general dá valores más grandes para los volúmenes, dicha fórmula es la siguiente:

$$V = \frac{A_1 + A_2}{d} \cdot d$$

Cálculo de volúmenes de terracería en curvas.- Para el cálculo del volumen en curva se utiliza el " TEOREMA DE PAPPUS Y GULDINUS ", según el cual, el volumen de un sólido engendrado por una superficie plana que gira alrededor de un eje, contenido en el plano de su superficie, es igual al producto del área por la distancia recorrida por el centro de gravedad de la superficie durante el giro.

Si todas las secciones del camino en curva fueran iguales, sería fácil calcular el volumen con el teorema anterior, sin embargo el caso más común es que sean diferentes, con lo cual el cálculo del volumen exacto es complejo, requiriéndose introducir algunas hipótesis simplificadoras.

La S.C.T. no considera las correcciones prismoidales y por curvatura, debido a la laboriosidad que representa, en cambio considera el mayor número de secciones posibles.

Diagrama de curva masa.- Es una gráfica dibujada en ejes cartesianos, cuyas abscisas representan el cadenamamiento de la línea y las ordenadas representan los volúmenes de excavación y relleno.

De la figura (4.10) tenemos:

L = Distancia entre las secciones 1 y 2 medidas en el eje.

R = Radio de la curva 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.

$$V_1 = A_1 \ell_1$$

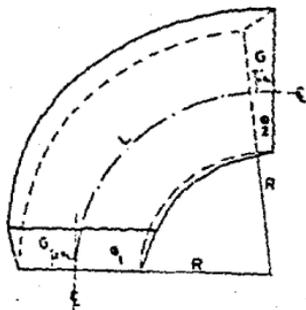


Fig. (4.10)

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:

$$\frac{L}{R} = \frac{l}{R + e_1} \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad l = \frac{L}{R} (R + e_1)$$

Sustituyendo:

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

La corrección por curvatura será:

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

El diagrama de curva masa es un método gráfico que permite determinar la distribución económica de los volúmenes excavados y calcular el costo para llevar a cabo dicha distribución.

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 de corte (+) y los de terraplén (-), para que al ir su mando se obtengan las ordenadas de la curva masa.

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 diagrama 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.

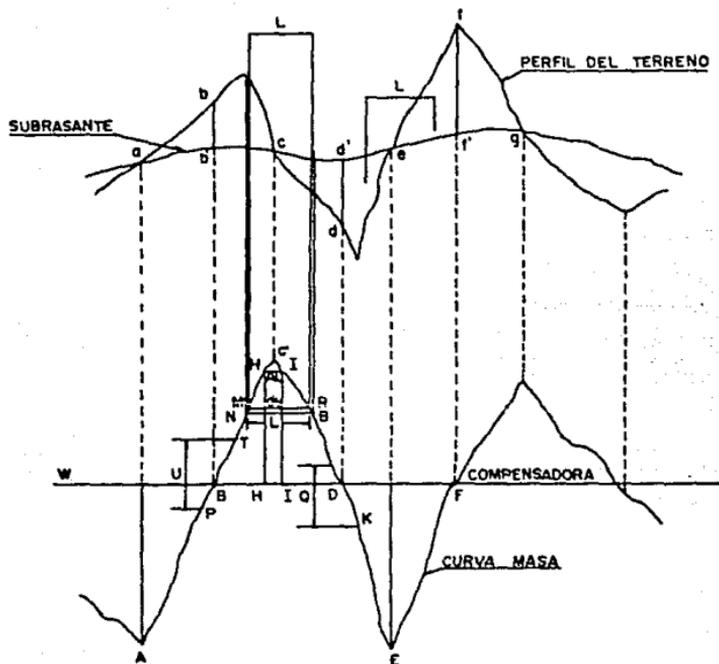


Fig. (4.11) Diagrama de curva masa.

- 4.- Si en el diagrama de masas se dibuja una línea horizontal de tal forma que lo corte en dos puntos consecutivos, éstos tendrán las mismas ordenadas y por consiguiente el tramo comprendido entre ellos, serán iguales los volúmenes de corte y terraplén, o sea éstos 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 esta, el sentido del acarreo es hacia adelante, contrariamente cuando el contorno queda abajo de la compensadora el sentido del movimiento es hacia atrás.

- 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.

Movimiento de terracerías.

Los volúmenes ya sean de corte ó 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.

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

- a) Despalme.- Pago que se realiza midiendo el volumen geométrico de excavación en metros cúbicos, multiplicado por el precio unitario correspondiente.
- b) Corte ó excavación.- El pago se realiza midiendo el volumen geométrico correspondiente, multiplicado por su precio unitario.
- c) Préstamo lateral.- Son las excavaciones que se hacen 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 terraplenes contiguos.
El límite exterior de cada faja se fija a una distancia máxima de 100m. contados desde el eje del camino. El pago se hace de la misma forma descrita para corte.
- d) Préstamo de banco.- Son las excavaciones hechas fuera del límite de 100m. de ancho, su pago se realiza en la misma forma del inciso anterior.

- e) Compactación.- Su pago se realiza en base al volumen -- geométrico de terraplén, multiplicado por el precio unitario correspondiente a esta función.
- f) Bandedo.- Es el tratamiento que se le dá 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 pasada del equipo.
- g) Agua para compactación.- El pago se realiza en base a - los volúmenes de agua medida en las pipas, multiplicadas por su precio unitario correspondiente.
- h) Acarreos.- Consiste en el transporte del material producto de cortes ó préstamos a los lugares determinados 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.
- Los acarreos consisten en la colocación de materiales - producto de corte ó préstamo de un lugar a otro, ya sea para formar terraplén ó 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 ó el -- sitio donde el desperdicio se va a depositar:

1.- Acarreo libre.

Es aquel que se efectúa dentro de una distancia de 20m. y su precio está incluido en el de la excavación.

2.- Sobreacarreo en m^3 . (Estación)

Cuando los centros de gravedad estén comprendidos entre una distancia de 20 y 120m.

3.- Sobreacarreo en m^3 . (Hectometro)

Cuando la distancia entre centros de gravedad esta comprendida entre 120 y 520m.

4.- Sobreacarreo en m^3 . (Kilometro)

Cuando la distancia entre centros de gravedad excede a 520m.

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 que la compensadora se corte en ciertos puntos, reanudándose en otros situados arriba ó abajo de la anterior, originándose tramos sin compensación resultando excedente (desperdicio) ó falta de material (préstamo).

Compensadora auxiliar.- Es una compensadora adicional que se coloca entre los máximos y/o mínimos del diagrama, que la compensadora general no ha cubierto ó para hacer mínimos los costos de los sobreacarreos en esos movimientos.

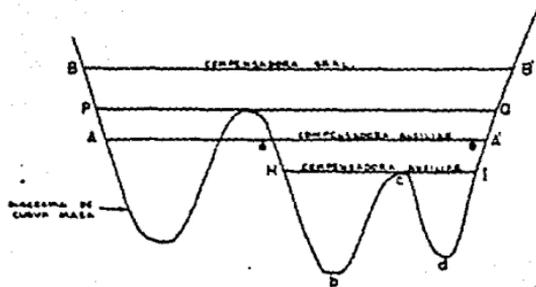


Fig. (4.12) Compensadora auxiliar.

La ecuación que coloca a una compensadora auxiliar económica es:

$$A(d_1 - AL + d_3 - AL) = A(d_2 - AL + B(d_4 - AL_B))$$

En donde:

d_1, d_2, d_3 y AL = Distancias medidas en unidades de longitud. En tanto que d_4 y AL_B lo están en unidades.

Como observación se puede notar que en la figura anterior, que si la compensadora auxiliar es AA' el tramo (a, b, c, d, e) quedará sin proyecto de movimiento, por lo que se requiere de otra compensadora auxiliar (HI), que pasa por el máximo para no involucrar sobrecarros dobles.

CAPITULO V

EJERCICIOS Y PROYECTO DE GABINETE

En este capítulo se presentan diversos problemas resueltos y propuestos para el cálculo de curvas horizontales y verticales. Asimismo, se presenta un proyecto de gabinete el cual consiste en el trazo de la carretera LORETO-SANTA ROSALIA, que se localiza en la Península de Baja California Sur, La Paz.

El tramo consta de 2.2Km. se anexa lo siguiente:

- 1.- Plano restituído a escala 1:2000, con curvas de nivel a cada metro, en el cual se incluye el trazo de la línea a pelo de tierra y a su vez el trazo de la línea definitiva del proyecto del camino.
- 2.- Perfil del terreno y diagrama de curva masa.
- 3.- Secciones transversales.

CURVAS HORIZONTALES
(PROBLEMAS RESUELTOS)

Problema No. 1

Calcular los elementos de la curva horizontal simple con los datos siguientes:

$$\Delta = 75^\circ$$

$$G = 15^\circ$$

$$PI = 3 + 348.00$$

$$R = \frac{1145.92}{G} = \frac{1145.92}{15^\circ} = 76.39\text{m.}$$

$$LC = \frac{\Delta}{G} (20) = \frac{75^\circ}{15^\circ} (20) = 100.00\text{m.}$$

$$ST = R \tan \frac{\Delta}{2} = 76.39 \left(\tan \frac{75^\circ}{2} \right) = 58.62\text{m.}$$

$$E = \frac{R}{\cos \left(\frac{\Delta}{2} \right)} - R = \frac{76.39}{\cos \left(\frac{75^\circ}{2} \right)} - 76.39 = 19.90\text{m.}$$

$$M = R - R \cos \frac{\Delta}{2} = 76.39 - 76.39 \cos \left(\frac{75^\circ}{2} \right) = 15.79\text{m.}$$

$$CL = 2 R \sin \left(\frac{\Delta}{2} \right) = 2 (76.39) \sin \left(\frac{75^\circ}{2} \right) = 93.01\text{m.}$$

$$PC = PI - ST = 3 + 348 - 58.62 = 3289.38\text{m.}$$

$$PT = PC + LC = 3289.38 + 100.00 = 3389.38\text{m.}$$

Problema No. 2

Calcular los elementos de la curva horizontal simple con los siguientes datos:

$$\Delta = 60^\circ 30' \text{ I}$$

$$G = 6^\circ \text{ I}$$

$$PI = 2 + 226.00$$

$$ST = R \tan \frac{\Delta}{2} = 191.07 \times \tan 30^\circ 15' = 111.40\text{m.}$$

$$R = \frac{1145.92}{G} = 191.00\text{m.}$$

$$LC = 20 \frac{\Delta}{G} = 201.70\text{m.}$$

$$E = 191.00 \frac{R}{\cos \left(\frac{\Delta}{2} \right)} - R = 30.10\text{m.}$$

$$M = 191 - 191 \cos \frac{\Delta}{2} = 26.00\text{m.}$$

$$CL = (2) 191 \text{ sen } \frac{\Delta}{2} = 192.40\text{m.}$$

$$PC = 2 + 226.00 - 111.40 = 2 + 114.60\text{m.}$$

$$PT = 2 + 114.60 + 201.70 = 2 + 316.30\text{m.}$$

Problema No. 3

Calcular los elementos de la curva horizontal simple con -
los siguientes datos:

$$PI = 2 + 354.00$$

$$\Delta = 24^\circ 20'$$

$$G = 4^\circ 00'$$

$$R = \frac{1145.92}{G} = \frac{1145.92}{4^\circ} = 286.48\text{m.}$$

$$LC = \frac{\Delta}{G} 20 = \frac{24^\circ 20'}{4^\circ} (20) = 121.67\text{m.}$$

$$ST = R \tan \frac{\Delta}{2} = 286.48 \tan \frac{24^\circ 20'}{2} = 61.76\text{m.}$$

$$E = \frac{R}{\cos \left(\frac{\Delta}{2} \right)} - R = \frac{286.48}{\cos \frac{24^\circ 20'}{2}} - 286.48 = 6.58\text{m.}$$

$$M = R - R \cos \left(\frac{\Delta}{2} \right) = 286.48 - 286.48 \cos \frac{24^\circ 20'}{2} = 6.43\text{m.}$$

$$CL = 2 R \operatorname{sen} \left(\frac{\Delta}{2} \right) = 2 (286.48) \operatorname{sen} \frac{24^\circ 20'}{2} = 120.75\text{m.}$$

$$FC = PI - ST = 2 + 354 - 61.76 = 2292.24\text{m.}$$

$$PT = PC + LC = 2292.24 + 121.67 = 2413.91\text{m.}$$

Problema No. 4

Calcular los elementos de la curva horizontal simple y llevar el control del registro de los datos.

$$\Delta = 21^\circ 17.5' D.$$

$$G = 2^\circ 10'$$

$$PI = 47 + 010.82$$

$$R = \frac{1145.92}{G} = \frac{1145.92}{2^\circ 10'} = 528.89m.$$

$$LC = \frac{\Delta}{G} 20 = \frac{21^\circ 17.5'}{2^\circ 10'} (20) = 196.54m.$$

$$ST = R \tan \frac{\Delta}{2} = 528.89 \tan \frac{21^\circ 17.5'}{2} = 99.42m.$$

$$E = \frac{R}{\cos \frac{\Delta}{2}} - R = \frac{528.89}{\cos \frac{21^\circ 17.5'}{2}} - 528.89 = 9.26m.$$

$$M = R - R \cos \frac{\Delta}{2} = 528.89 - 528.89 \cos \frac{21^\circ 17.5'}{2} = 9.10m.$$

$$CL = 2R \sin \frac{\Delta}{2} = 2 (528.89) \sin \frac{21^\circ 17.5'}{2} = 195.41m.$$

$$PC = PI - ST = 47,010.82 - 99.42 = 46,911.40$$

$$PT = PC + LC = 46,911.40 + 196.54 = 47,107.94$$

Angulos de deflexión.

Primer ángulo: $\frac{d}{2} = \frac{c}{20} \times \frac{G}{2} = \frac{8.60}{20} \times 65' = 28'$

Incremento por estación completa: $\frac{G}{2} = 1' 05'$

Ultimo incremento: $\frac{d}{2} = \frac{7.94}{20} \times 65' = 25.8'$

Estación	Cuerda	Incremento de deflexión	Deflexión total	Datos de curva
46+911.40(PC)				
920	8.60	0° 28.0'	0° 28.0'	
940	20	1° 05'	1° 33.0'	PI=47+010.82
960	20	1° 05'	2° 38.0'	$\Delta=21^\circ 17.5'$ Der
980	20	1° 05'	3° 43.0'	G=2° 10'
47+000	20	1° 05'	4° 48.0'	R=528.89
020	20	1° 05'	5° 53.0'	ST=99.42
040	20	1° 05'	6° 58.0'	LC=196.54
060	20	1° 05'	8° 03.0'	PG=46+911.40
080	20	1° 05'	9° 08.0'	PT=47+107.94
100	20	1° 05'	10° 13.0'	
47+107.94(PT)	7.94	0° 25.8'	10° 38.8'	

CURVAS HORIZONTALES
(PROBLEMAS PROPUESTOS)

Problema No. 1

Calcular los elementos de la curva horizontal simple con -
los siguientes datos:

$$\Delta = 70^{\circ} 20'$$

$$G = 6^{\circ}$$

$$PI = 3 + 230.00$$

Problema No. 2

Calcular los elementos de la curva horizontal simple con -
los siguientes datos:

$$\Delta = 67^{\circ} 30'$$

$$G = 4^{\circ}$$

$$PI = 2 + 250.00$$

Problema No. 3

Calcular los elementos de la curva horizontal simple con -
los siguientes datos:

$$\Delta = 85^{\circ} 10'$$

$$G = 12^{\circ}$$

$$PI = 4 + 618.00$$

CURVAS VERTICALES
(PROBLEMAS RESUELTOS)

Problema No. 1

Calcular los elementos de la curva vertical en cresta con los siguientes datos:

1a. Subrasante: + 4%

2a. Subrasante: - 3%

Cota PIV: 100.00

$v = 1\%$ /est.

$$V = (+4) - (-3) = 7$$

$$V = 7\%; \quad v : 1\%/est.$$

$$L = \frac{7}{1} = 7 \text{ estaciones: se ponen } 8 \text{ estaciones.}$$

Cota de PCV:

$$100.00 - \frac{4}{100} \times 60$$

$$100.00 - 3.20 = \underline{96.80}$$

Cota de A:

$$100 + \frac{4}{100} \times 80 = \underline{103.20}$$

Cota de PTV:

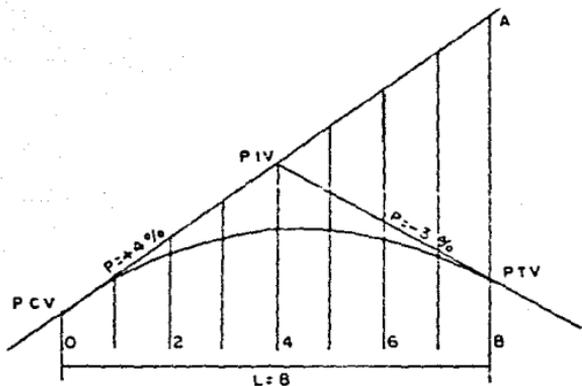
$$100 - \frac{3}{100} \times 80 = \underline{97.60}$$

$$D = 103.20 - 97.60 = 5.60\text{m.}$$

Ecuación:

$$y = \frac{D}{L^2} n^2 \quad (\text{por facilidad } (n) \text{ y } (L) \text{ se aplican tomando como unidad una estación}).$$

$$y = \frac{5.60}{8^2} n^2 \quad y = 0.0876 n^2$$



Cotas sobre la 1^a. subrasante.

(con 4%, cada 20 mts. sube 0.80m.)

PCV 96.80
 .80
 97.60
 .80
 98.40
 .80
 99.20
 .80

PIV 100.00
 .80
 100.80
 .80
 101.60
 .80
 102.40
 .80
 103.20

A

	n	n ²	COTAS SOBRE LA 1a.SUBRASANTE	y	COTAS CURVA
PCV	0	0	96.80	0	96.800
	1	1	97.60	0.087	97.513
	2	4	98.40	0.350	98.050
	3	9	99.20	0.789	98.411
	4	16	100.00	1.400	98.600
	5	25	100.80	2.185	98.615
	6	36	101.60	3.130	98.450
	7	49	102.40	4.260	98.110
PTV	8	64	103.20	5.600	97.600

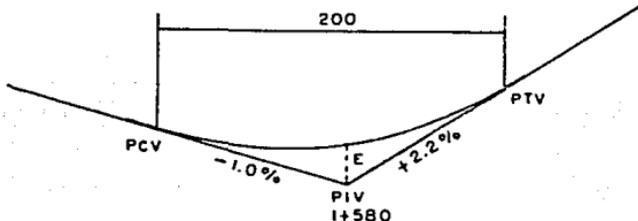
Problema No. 2

Calcular los elementos de la curva vertical en columpio y llevar el control de los datos de campo.

$$\begin{aligned} \text{PCV} &= \text{estación } 1 + 480 \\ \text{Elev} &= 432.34 + (100)(0.01) \\ &= 433.34 \\ \text{PTV} &= \text{Est. } 1 + 680 \\ \text{Elev} &= 432.34 + (100)(0.022) \\ &= 434.54 \end{aligned}$$

Ordenada E en el PIV

$$E = \frac{1}{2} \left(\frac{433.34 + 434.54}{2} - 432.34 \right) = 0.80$$



Punto	Elevación sobre la tangente	Ordenada (Corrección)	Elevación sobre la curva
1+480(PCV)	433.34	0	433.34
500	433.14	$\frac{20}{100}^2 \times 0.80 = +0.03$	433.17
520	432.94	$\frac{40}{100}^2 \times 0.80 = +0.13$	433.07
540	432.74	$\frac{60}{100}^2 \times 0.80 = +0.29$	433.03
560	432.54	$\frac{80}{100}^2 \times 0.80 = +0.51$	433.05
580	432.34	+0.80	433.14
600	432.14	+1.15	433.29
620	431.94	+1.57	433.51
640	431.74	+2.05	434.79
660	431.54	+2.59	434.13
1+680(PTV)	431.34	+3.20	434.54

METODOLOGIA PARA LA ELABORACION DEL PROYECTO DE GABINETE

- 1.- Plano restituído (obtenido de la restitución fotogra métrica). Esc. 1:200 con curvas de nivel a cada me--tro.
- 2.- Ubicación de los puntos de comunicación (A) inicio y (B) término del camino, en dicho plano.
- 3.- Trazo de la línea a pelo de tierra sobre un plano res--tituido, con el comoás, con pendiente y grado máximo de curvatura $G_{max} = 0.5$, esto se hizo de A-B y de B-A.
- 4.- Una vez calculados los radios de las cerchas, estas - se hacen con mica transparente, para poder utilizarlas en el plano.
- 5.- Con las cerchas se trazan las curvas uniendolas en -- forma adecuada, según se encuentre la topografía de - la línea de trazo.
- 6.- Ya trazadas las tangentes y curvas del camino, se pro--cede a trazar las secciones transversales a lo largo del eje del camino a cada 20 mts. y con 12 mts. a ca--da lado del camino.

- 7.- Se obtienen las elevaciones del terreno en cada sección, se toman tres lecturas, central, izquierda y derecha, esto es a cada 20 mts. en toda la línea de trazo.
- 8.- Con los datos hasta aquí se procede a dibujar todas las secciones, tomando en cuenta el bombeo y la sobre elevación.
- 9.- Las secciones se dibujan en papel milimétrico, a una escala convencional 1:22 para este caso específico.
- 10.- Teniendo trazadas y dibujadas las secciones, se calcu la el volumen de cada una de ellas.
- 11.- Con los datos de las elevaciones en los puntos centra les de las secciones a cada 20 mts. y el cadenamamiento se procede a dibujar el perfil del terreno por donde pasa el trazo del camino (Línea del camino).
- 12.- En el dibujo del perfil, se traza la línea subrasante, esto se hace tomando en cuenta los cortes y terraplenes, para equilibrar los acarreos de material.

- 13.- Una vez trazada la línea subrasante, se debe trazar la curva masa, en donde se reflejan todos los acarrees de material, equilibrándolos de tal forma que se compensen cortes con terraplenes. Para esto se consideran: Acarreo libre (0-20m.), sobrecarreo -- (20-100m.), acarreo corto (100-500m.) y acarreo largo (500m.-20km.).
- 14.- Se calculan los volúmenes acumulados y se indican en una tabla en el plano, junto a la gráfica de la curva masa.

NOTA: Este proyecto es hipotético y solo tiene fines didácticos, para los alumnos de la materia de carreteras.

CURVAS VERTICALES DE PROYECTO,
TRAZO DEL CAMINO LORETO-SANTA -
ROSALIA, BAJA CALIFORNIA SUR, -
LA PAZ.

Curva No. 1

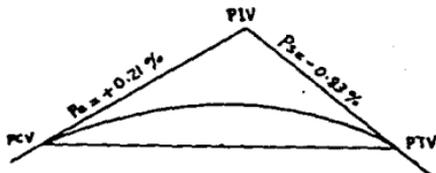
Curva en cresta ó cima

Cad. PIV = 0 + 047.00m.

Elev. PIV = 130.20m.

Pe = + 0.21%

Ps = - 0.83%



1.- Longitud de la curva

$$L_c = \left| + 0.21 \right| + \left| - 0.83 \right| = 1.04 = 2 \text{ estaciones}$$

$$L_c = 2 \times 20m. = 40m.$$

2.- Cálculo del cadenamiento de PCV y PTV.

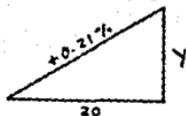
$$0 + 047 - 20 = 0 + 027$$

$$\text{Cad. PCV} = 0 + 027$$

$$0 + 047 + 20 = 0 + 067$$

$$\text{Cad. PTV} = 0 + 067$$

3.- Cálculo de la elevación del PCV y PTV.

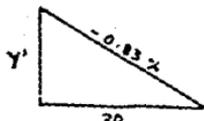


$$Y = 20 \times 0.0021 = 0.042$$

$$\text{Elev. PCV} = \text{Elev. PIV} - Y$$

$$= 130.20 - 0.0042$$

$$\text{Elev. PCV} = 130.158$$



$$Y' = 20 \times 0.0083 = 0.166$$

$$\text{Elev. PTV} = \text{Elev. PIV} - Y'$$

$$= 130.20 - 0.166$$

$$\text{Elev. PTV} = 130.034$$

$$Y = KX^2$$

$$K = \frac{D}{10L} = \frac{1.04}{10 \times 2} = 0.052$$

Estación	Gotas en tangente	X	X ²	K	Y	Gotas en curva
0 + 027	130.15	0	0	0.052	0	130.15
0 + 047	130.20	1	1	0.052	0.052	130.15
0 + 067	130.03	2	4	0.052	0.208	129.82

Curva No. 2

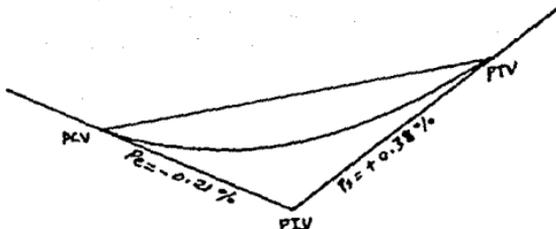
Curva en columpio

Cad. PIV = 0 + 183.00

Elev. PIV = 129.025

Pe = - 0.21%

Pb = + 0.38%



1.- Longitud de la curva.

$$L_c = \left| - 0.83 \right| + \left| + 0.38 \right| = 1.21 = 2 \text{ estaciones.}$$

$$L_c = 2 \times 20 = 40\text{m.}$$

2.- Cálculo del cadenamamiento del PCV y PTV.

$$0 + 183 - 20 = 0 + 163$$

$$\text{Cad. PCV} = 0 + 163$$

$$0 + 183 + 20 = 0 + 203$$

$$\text{Cad. PTV} = 0 + 203$$

3.- Cálculo de la elevación del PCV y PTV

$$Y = 20 \times 0.0021 = 0.042$$

$$\text{Elev. PCV} = 129.025 + 0.042$$

$$\text{Elev. PCV} = 129.067$$

$$Y' = 20 \times 0.0038 = 0.076$$

$$\text{Elev. PTV} = 129.025 + 0.076$$

$$\text{Elev. PTV} = 129.101$$

$$Y = KX^2$$

$$K = \frac{D}{10L} = \frac{1.21}{10 \times 2} = 0.060$$

Estación	Cotas en tangente	X	X ²	K	Y	Cotas en curva
0 + 163	129.067	0	0	0.060	0	129.067
0 + 183	129.025	1	1	0.060	0.060	128.965
0 + 203	129.101	2	4	0.060	0.240	129.341

Curva No. 3

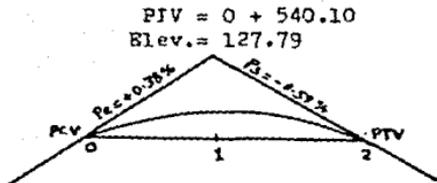
Curva en cresta ó cima

Cad. PIV = 0 + 540.10

Elev. PIV = 127.79

Pe = + 0.0038

Ps = - 0.0059



1.- Longitud de la curva.

$$L_c = | + 0.38 | + | - 0.59 | = 0.97 = 2 \text{ estaciones.}$$

$$L_c = 2 \times 20\text{m.} = 40\text{m.}$$

2.- Cálculo del cadenamiento de PCV y PTV.

$$0 + 540.10 - 20 = 0 + 520.10$$

$$\text{Cad. PCV} = 0 + 520.10$$

$$0 + 540.10 + 20 = 560.10$$

$$\text{Cad. PTV} = 0 + 560.10$$

3.- Cálculo de la elevación del PCV y PTV.

$$Y = 20 \times 0.0038 = 0.076$$

$$\text{Elev. PCV} = 127.79 - 0.076$$

$$\text{Elev. PCV} = 127.714$$

$$Y' = 20 \times 0.0059 = 0.118$$

$$\text{Elev. PTV} = 127.79 - 0.118$$

$$\text{Elev. PTV} = 127.672$$

$$Y = K X^2$$

$$K = \frac{0.97}{10 \times 2} = 0.0485$$

Estación	Cotas en tangente	X	X ²	K	Y	Cotas en curva
0 + 520.10	127.714	0	0	0.0485	0	127.714
0 + 540.10	127.79	1	1	0.0485	0.0485	127.741
0 + 560.10	127.672	2	4	0.0485	0.1940	127.478

Curva No. 4

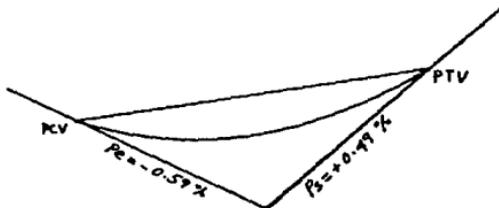
Curva en columpio

Gad. PIV = 1 + 016.00

Elev. PIV = 124.98

$P_e = - 0.59\%$

$P_s = + 0.49\%$



Gad. PIV = 1 + 016.00

Elev. = 124.98

1.- Longitud de la curva.

$$L_c = \left| - 0.59 \right| + \left| + 0.49 \right| = 1.08 = 2 \text{ estaciones.}$$

$$L_c = 20 \times 2 = 40\text{m.}$$

2.- Cadenamiento del PCV y PTV.

$$1 + 016.00 - 20 = 996.00$$

$$\text{Gad. PCV} = 0 + 996.00$$

$$1 + 016.00 + 20 = 1036.00$$

$$\text{Gad. PTV} = 1 + 036.00$$

3.- Elevación del PCV y PTV.

$$Y = 20 (-0.0059) = - 0.118$$

$$124.98 + 0.118 = 125.098$$

$$\text{Elev. PCV} = 125.098$$

$$Y' = 20 (+ 0.0049) = 0.098$$

$$124.98 + 0.098 = 125.078$$

$$Y = KX^2$$

$$K = \frac{1.08}{10 \times 2} = 0.054$$

Estación	Cotas en tangente	X	X ²	K	Y	Cotas en curva
0 + 996	125.098	0	0	0.054	0	125.098
1 + 016	124.980	1	1	0.054	0.054	124.926
1 + 036	125.078	2	4	0.054	0.216	125.294

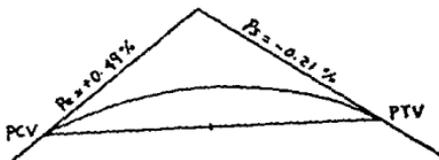
Curva No. 5

Curva en cresta ó cima

Gad. PIV = 1 + 995.90
Elev. 129.79

Gad. PIV = 1 + 995.90
Elev. = 129.79

Pe = + 0.0049
Ps = - 0.0021



1.- Longitud de la curva.

$$L_c = | + 0.49 | + | - 0.21 | = 0.70 = 2 \text{ cuerdas.}$$
$$L_c = 2 \times 20 = 40\text{m.}$$

2.- Cálculo del cadenamamiento de PCV y PTV.

$$1 + 995.90 - 20 = 1975.90$$

$$\text{Gad. PCV} = 1 + 975.90$$

$$1 + 995.90 + 20 = 2015.90$$

$$\text{Gad. PTV} = 2 + 015.90$$

3.- Cálculo de la elevación de PCV y PTV.

$$Y = 20 \times 0.0049 = 0.098$$

$$129.79 - 0.098 = 129.692$$

$$\text{Elev. PCV} = 129.692$$

$$Y' = (20) (-0.0021) = -0.042$$

$$129.79 - 0.042 = 129.748$$

$$\text{Elev. PTV} = 129.748$$

$$Y = KX^2$$

$$K = \frac{D}{10L} = \frac{0.70}{10 \times 2} = 0.035$$

Estación	Cotas en tangente	X	X ²	K	Y	Cotas en curva
1 + 975.90	129.692	0	0	0.035	0	129.692
1 + 995.90	129.790	1	1	0.035	0.035	129.755
2 + 015.90	129.748	2	4	0.035	0.140	129.608

Curva No. 6

Curva en cresta ó cima

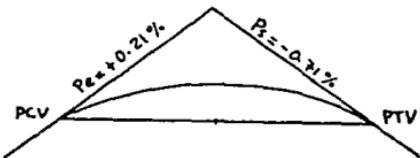
Cad. PIV = 2 + 194.00
Elev. = 130.16

Cad. PIV = 2 + 194.00

Elev. = 130.16

Pe = + 0.0021

PB = - 0.0071



1.- Longitud de la curva

$$L_c = | + 0.21 | + | - 0.71 | = 0.92 = 2 \text{ estaciones.}$$

$$L_c = 2 \times 20 = 40\text{m.}$$

2.- Cálculo del cadenamamiento del PCV y PTV.

$$2 + 194.00 - 20 = 2174.00$$

$$\text{Cad. PCV} = 2 + 174.00$$

$$2 + 194.00 + 2 = 2214.00$$

$$\text{Cad. PTV} = 2 + 214.00$$

3.- Cálculo de la elevación del PCV y PTV.

$$Y = 20 \times 0.0021 = 0.042$$

$$130.16 - 0.042 = 130.118$$

$$\text{Elev. PCV} = 130.118$$

$$Y' = 20 (-0.0071) = - 0.142$$

$$130.16 - 0.142 = 130.018$$

$$\text{Elev. PTV} = 130.018$$

$$Y = KX^2$$

$$K = \frac{D}{10L} = \frac{0.92}{10 \times 2} = 0.046$$

Estación	Cotas en tangente	X	X^2	K	Y	Cotas en curva
2 + 174.00	130.118	0	0	0.046	0	130.118
2 + 194.00	130.160	1	1	0.046	0.046	130.114
2 + 214.00	130.018	2	4	0.046	0.184	129.834

CONCLUSIONES

Las ventajas que presenta este trabajo son de carácter didáctico, ya que se enuncian todos los conceptos que intervienen en la realización del proyecto geométrico de una carretera y en forma general se estudian cada uno de ellos. - Además se realizó el trazo de "La Línea a Pelo de Tierra" - por el método de compás, se dibujó el perfil del terreno, - se trazaron y calcularon las curvas horizontales (circulares) y verticales (parabólicas), se trazaron y calcularon - las secciones transversales de construcción, dibujándose el diagrama de curva masa, se presenta un panorama práctico -- para que el alumno de la materia de carreteras pueda visualizar la metodología para llevar a cabo dicho proyecto.

Las desventajas son las siguientes: El proyecto de gabinete es hipotético, el cual solo tiene fines didácticos; los datos de proyecto y las escalas utilizadas en el trazo del camino son convencionales; sin embargo cumplen con la normatividad para la realización del mismo.

El objeto de este trabajo como se mencionó al inicio, es servir de consulta y utilidad para los profesionales de Ingeniería Civil y carreras afines.

B I B L I O G R A F I A

- Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras,
S. O. P.
México, D.F. 1 9 7 7

- Estructuración de Vías Terrestres,
Fernando Olivera Bustamante
Editorial CECSA,
México, D.F. 1 9 8 5

- Manual de Caminos Vecinales,
René Etcharren G.
Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A.
México

- Ingeniería de Carreteras,
Hewes Laurence I.
Editorial Continental, 1 9 6 0

- Carreteras (Proyecto Geométrico),
Normas de Servicios Técnicos,
S. C. T.

- Caminos
Roger Coquand
Editorial Reverté, S. A.

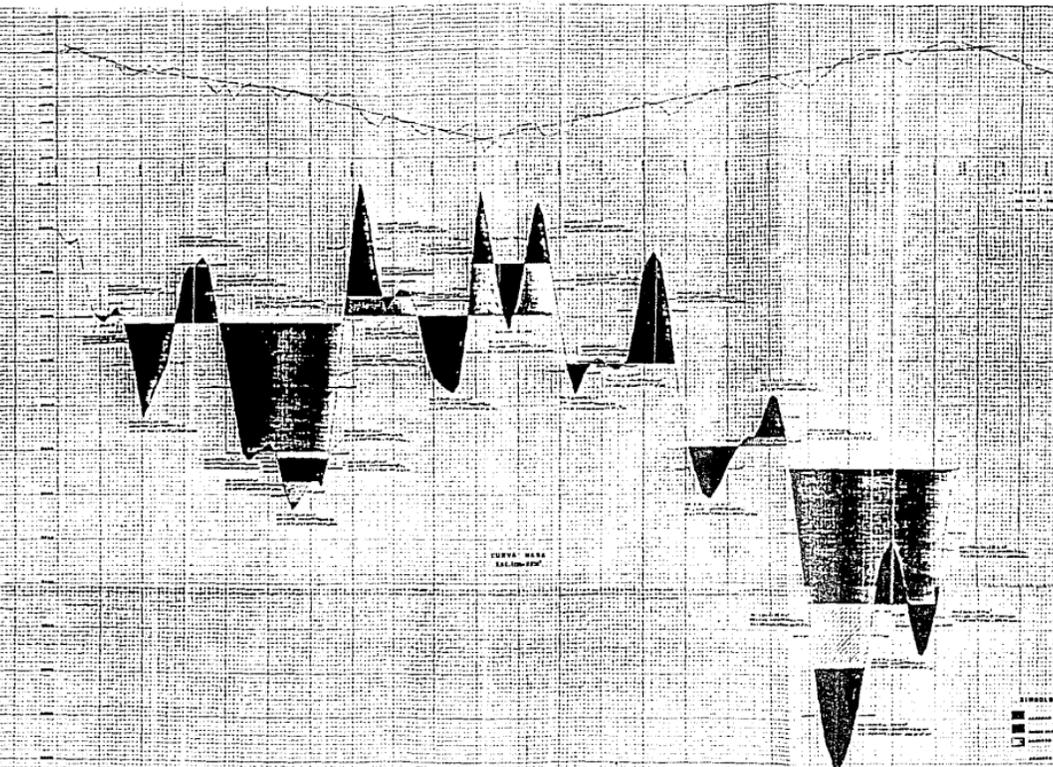
- Apuntes de Proyecto Definitivo,
Fernando Olivera Bustamante,
México, D.F. 1 9 7 0

- Introducción a la Topografía,
James R. Wirshing,
Editorial Mc. Graw-Hill

- Topografía,
Miguel Montes de Oca,
Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A.,
México

- Topografía y Fotogrametría en la Práctica,
Carl Olof Teryd,
Editorial CEGSA, 1 9 7 4

- Instructivo para Procesamiento Electrónico de Curva Masa,
S. G. O. P.
México 1 9 6 8



CURVE MARK
S.E. 1/4 - 200'

SANDSTONE

SYMBOLS

-
-

NO.	DESCRIPTION	THICKNESS	REMARKS
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50

SECCIONES TRANSVERSALES

SECCIONES TRANSVERSALES

