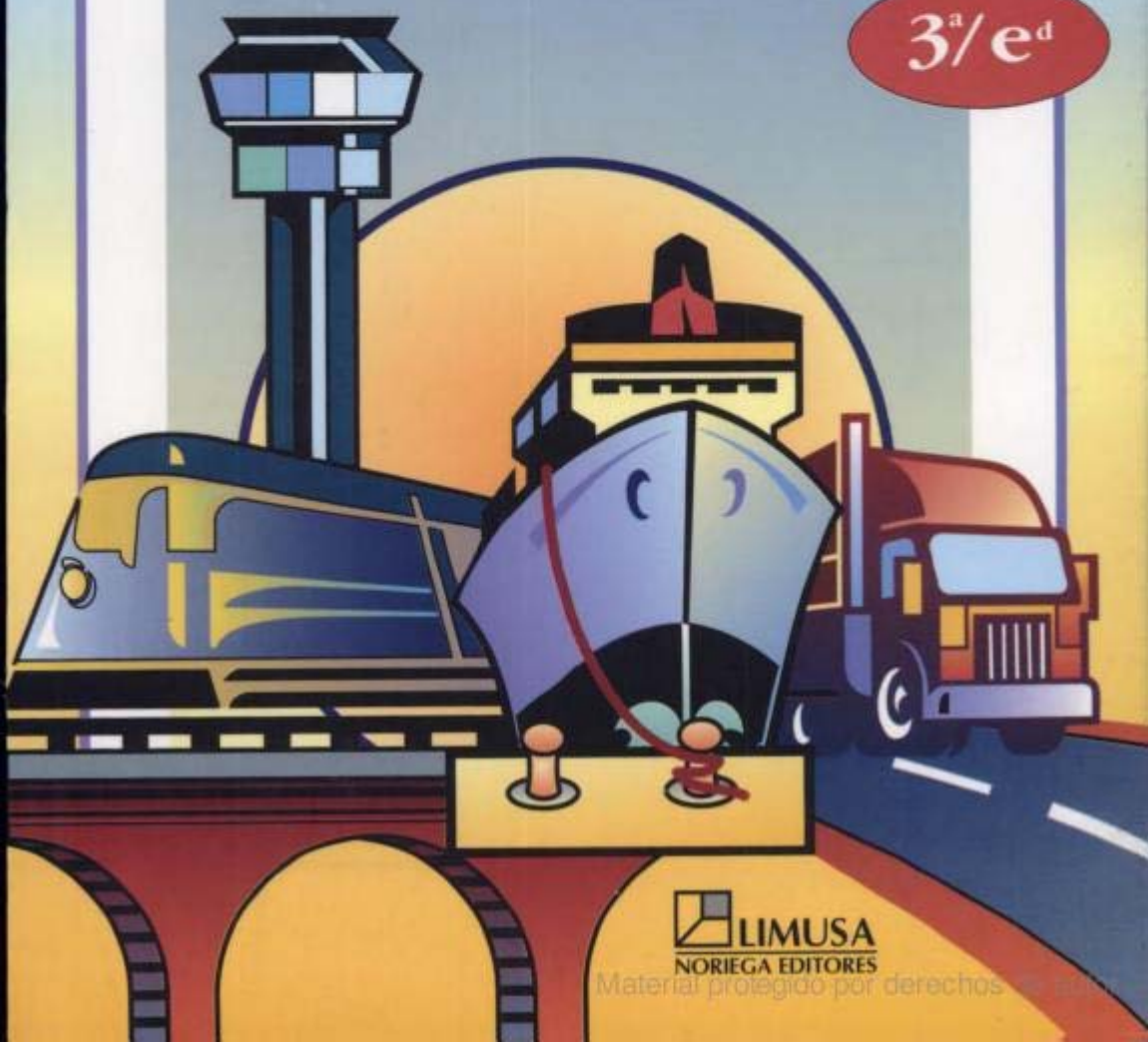


VÍAS DE COMUNICACIÓN

Caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos

CRESPO

3^a/e^d



 **LIMUSA**
NORIEGA EDITORES

Material protegido por derechos de autor

Temas que trata la obra:

- Caminos
- Carreteras
- Etapas de una carretera
- Asfaltos
- Los materiales pétreos para carpetas asfálticas
- Contenido de cemento asfáltico para carpetas
- Diferentes tipos de carpetas asfálticas
- Estudio de las carpetas asfálticas elaboradas
- Materiales pétreos para bases y sub-bases
- Estabilizadores
- Pavimentos de concreto hidráulico
- Construcción. Maquinaria
- Procedimientos de construcción
- Señalamiento de los caminos
- Conservación
- Ferrocarriles
- Aeropuertos
- Puertos
- Puentes

VÍAS DE COMUNICACIÓN

CAMINOS, FERROCARRILES, AEROPUERTOS,
PUENTES Y PUERTOS

This One



Material provided by the author

5H65-WWF-552G

Crespo, Carlos

Vías de comunicación : Caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos / Carlos Crespo Villalaz. -- 3a. ed. -- México : Limusa, 2004.

740 p.: il.; 15.5 cm.

ISBN 968-18-4849-7.

Rústica.

1. Caminos - Materiales 2. Caminos - Topografía
3. Construcción de caminos

LC: TE200 Dewey: 625.14 - dc21

LA PRESENTACIÓN Y DISPOSICIÓN EN CONJUNTO DE

VÍAS DE COMUNICACIÓN

CAMINOS, FERROCARRILES, AEROPUERTOS, PUENTES Y PUERTOS

SON PROPIEDAD DEL EDITOR. NINGUNA PARTE DE ESTA OBRA PUEDE SER REPRODUCIDA O TRANSMITIDA, MEDIANTE NINGÚN SISTEMA O MÉTODO, ELECTRÓNICO O MECÁNICO (INCLUYENDO EL FOTOCOPIADO, LA GRABACIÓN O CUALQUIER SISTEMA DE RECUPERACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE INFORMACIÓN), SIN CONSENTIMIENTO POR ESCRITO DEL EDITOR.

DERECHOS RESERVADOS:

© 2004, EDITORIAL LIMUSA, S.A. DE C.V.

GRUPO NORIEGA EDITORES

BALDERAS 95, MÉXICO, D.F.

C.P. 06040

☎ 8503 8050

01(800) 706 9100

☎ 5512 2903

✉ limusa@noriega.com.mx

★ www.noriega.com.mx

CANIEM Núm. 121

HECHO EN MÉXICO
ISBN 968-18-4849-7

7.3



PRÓLOGO

La apremiante necesidad de contar con un texto sobre *Vías de Comunicación* basado en la experiencia, la técnica y las especificaciones mexicanas, y que llene los requisitos de nuestros programas de estudio en esta importante rama de la Ingeniería, me inclinó a revisar mis apuntes de *Vías Terrestres* con el propósito de actualizarlos y presentarlos bajo el nuevo aspecto requerido. En consecuencia, esta obra trata de presentar de una manera clara, sencilla y didáctica los aspectos *principales* que, sobre la materia, debe conocer el INGENIERO CIVIL no especializado, ya que, para este último, el contenido del texto, posiblemente, sea sencillo. Sin embargo, de eso precisamente se trata, de que sea un *libro de texto* y no una *obra especializada*, ya que de lo contrario no cumpliría con la misión para la cual ha sido elaborado.

El ordenamiento de los temas tratados es fruto no sólo de los muchos años de experiencia en las aulas, sino también de los conocimientos pedagógicos adquiridos como Maestro de Primera Enseñanza y de los años de trabajo prestados en la extinta Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas.

El libro, en su totalidad, resulta adecuado para un curso de dos semestres. Sin embargo, su ordenamiento permite que pueda ser empleado en un curso de un semestre, suprimiendo algunos temas, sin que por ello se pierda la coherencia en la exposición.

El autor no abriga la presunción de haber aportado contribución original alguna, a no ser, acaso, en la presentación didáctica del material y en el énfasis relativo a los temas tratados.

El libro obtuvo el primer lugar en el concurso Rómulo Garza, por publicaciones, en el I.T.E.S.M. en 1979.

Monterrey, N.L., México

Ing. Carlos Crespo Villalaz

CONTENIDO

	Pág
PRÓLOGO	V
INTRODUCCIÓN	XV
PRIMERA PARTE: CAMINOS	1
CAPÍTULO I: CARRETERAS	1
<p>Camino y carreteras, 1; Clasificación de las carreteras, 1; Clasificación por transitabilidad, 1; Clasificación administrativa, 2; Clasificación técnica oficial, 2; Alineamiento, 3; Velocidad, 5; Métodos de medición de velocidades, 7; Método del cronómetro, 7; Método del enoscopio, 7; Método del radar, 8; La velocidad y los accidentes de tránsito, 8; Volumen de tránsito, 10; Tipo de tránsito, 12; Capacidad de un camino, 12; Factores que reducen la capacidad de las carreteras, 14; Curvatura, 16 ; Sobreelevación, 17; Ampliación, 23; Transición, 25; Pendiente, 29; Visibilidad, 31; Ancho de sección, 39; Derecho de vía, 42; Cargas de proyecto, 42; Dimensiones de los vehículos, 47; Carga por rueda para diseño, 56; Espesor del pavimento, 59.</p>	
CAPÍTULO II. ETAPAS DE UNA CARRETERA	61
II-1-PLANEACIÓN	61
<p>Consideraciones geográfico-físicas, 62; Determinación de unidades regionales, 63; Aspectos económicos y sociales, 64; Método de análisis para la determinación de zonas vitales, 66; Agricultura, 66; Ganadería, 66; Silvicultura, 67; Pesca, 67; Minería, 67; Industria de transformación, 67; Actividades comerciales, 67; Crédito</p>	

y hacienda, 67; Comunicaciones y transportes, 67; Zonas vitales, 68; Estudio previo, 68.

II-2 PROYECTO 71

Estudios topográficos. Reconocimiento, 72; Trazo preliminar, 76; Línea definitiva, 82; Curvas circulares horizontales, 86; Trazo de la línea definitiva, 89; Trazo de curvas circulares, 91; Referencias, 94; Nivelación, 96; Perfil deducido, 99; Proyecto de la subrasante, 101; Curvas verticales, 102; Empleo simultáneo de curvas verticales y horizontales, 112; Secciones de construcción, 113; Determinación de las áreas de las secciones, 115; Determinación de los volúmenes de tierra entre estaciones, 116; Diagrama de masas, 124; Dos procedimientos optativos para el cálculo de la curva masa, 129; Procedimientos de abundar los cortes, 129; Procedimiento de corregir los volúmenes de los terraplenes, 130; Proyecto de caminos por el procedimiento fotogramétrico electrónico, 135; Drenaje de los caminos, 140; Drenaje superficial, 141; Cunetas, 142; Contracunetas, 146; Bombeo del camino, 147; Lavaderos o vertederos, 147; Obras de cruce: Alcantarillas, 148; Área hidráulica de las alcantarillas, 151; Pendiente de la alcantarilla, 156; Longitud de las alcantarillas, 159; Muros de cabeza, 160; Cajones de entrada, desarenadores, etc., 161; Cargas vivas sobre las alcantarillas, 166; Cargas muertas sobre las alcantarillas, 171; Conductos en zanja, 172; Conductos en proyección, 174; Cálculo de la resistencia de conductos rígidos, 181; Flexión transversal debida al peso propio, 181; Flexión transversal debida a la acción de un líquido sin presión en el interior del tubo, 182; Acción de una sobrecarga exterior uniformemente distribuida, 183; Cálculo de la resistencia en conductos flexibles, 184; Vados, 185; Puente vado, 185; Drenaje subterráneo, 186; Zanjias, 187; Drenes ciegos, 187; Drenes de tubo, 188; Tamaño de los tubos, 189; Secuela en el proyecto de drenaje subterráneo, 190; Estudios de mecánica de suelos, 191; Estudios estructurales, 194; Estudio de los pavimentos, 194; Proyecto del espesor de pavimentos en general, 196; Generalidades, 197; Proyecto de los pavimentos flexibles, 202; Método del valor relativo de soporte modificado (V.R.S), 205; Preparación de la muestra, 206; Determinación de las humedades de prueba, 207; Cálculo de la cantidad de agua que deberá agregarse, 207; Cálculo de las cantidades de material que deberán emplearse, 208; Incorporación del agua y compactación, 208; Medición de la resistencia a la penetra-

ción, **211**; Cálculo del valor relativo de soporte, **211**; Determinación del valor relativo de soporte estándar (C.B.R.), **216**; Determinación del peso volumétrico seco máximo, **216**; Determinación de las propiedades expansivas del material, **217**; Determinación de la razón de soporte de California (C.B.R.) o valor relativo de soporte estándar, **218**; Diseño de un pavimento flexible por el procedimiento del instituto del asfalto, **221**. Diseño de un pavimento flexible por el método de la marina americana, **226**.

CAPÍTULO III. ASFALTOS 233

Los asfaltos, **233**; Diferentes tipos de asfalto, **233**; Asfalto nautral, **235**; Asfalto de lago, **235**; Roca asfáltica, **235**; Gilsonita, **235**; Asfalto refinado con vapor, **235**; Asfalto oxidado o soplado, **235**; Asfalto refinado, **235**; Cemento asfáltico, **236**; Asfalto pulverizado, **236**; Mastique asfáltico, **236**; Ensayes de los asfaltos y su significado, **236**; Densidad del producto asfáltico, **236**; Destilación de los asfaltos rebajados, **236**; Determinación de la viscosidad de los asfaltos rebajados y de las emulsiones asfálticas, **238**; Determinación de la penetración en el residuo de la destilación de los asfaltos rebajados y en los cementos asfálticos, **239**; Determinación del punto de ignición de asfaltos rebajados y en cementos asfálticos, **241**; Prueba de flotación en el residuo de la destilación de los asfaltos rebajados de fraguado lento, **242**; Determinación del contenido de agua en asfaltos rebajados, **244**; Determinación del punto de fusión o reblandecimiento de los cementos asfálticos, **244**; Determinación de la ductilidad en el residuo de la destilación de asfaltos rebajados y en cementos asfálticos, **246**; Solubilidad en bisulfuro de carbono, **247**; Pérdida por calentamiento, **247**; Emulsiones asfálticas, **247**; Especificaciones de los productos asfálticos, **249**.

CAPÍTULO IV. LOS MATERIALES PÉTREOS PARA CARPETAS ASFÁLTICAS 255

Requisitos, **255**; Pruebas de laboratorio a los materiales pétreos para carpetas asfálticas, **259**.

CAPÍTULO V. CONTENIDO DE CEMENTO ASFÁLTICO PARA CARPETAS 267

Determinación del contenido mínimo de cemento asfáltico por el procedimiento del área superficial, **267**; Determinación del contenido mí-

nimo de cemento asfáltico basado en la distribución de tamaño de las partículas, 269; Determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico, 270; Determinación del contenido óptimo de asfalto por pruebas de compresión axial no confinada, 270; Determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico por el método de Marshall, 274; Elaboración de los especímenes, 275; Prueba a compresión de los especímenes, 278.

CAPÍTULO VI. DIFERENTES TIPOS DE CARPETAS ASFÁLTICAS 283

Tratamiento superficial simple, 284; Tratamiento superficial doble, 284; Tratamiento superficial triple, 286; Macadam asfáltico, 286; Mezcla en el lugar, 288; Mezcla en planta con dosificación por volumen, 290; Concretos asfálticos, 290; Transporte y distribución de la mezcla, 291; Juntas, 292; Compactación, 294; Requisitos de la carpeta terminada, 296.

CAPÍTULO VII. ESTUDIO DE LAS CARPETAS ASFÁLTICAS ELABORADAS 297

Determinación del contenido de cemento asfáltico en mezclas y en carpetas asfálticas ya construidas, 297; Método del colorímetro para determinar el contenido de cemento asfáltico, 297; Método del rotarex o de extracción centrífuga, 304; El espectrofotómetro, 305; Obtención de la longitud de onda (λ) más aceptable, 307; Secuela de pruebas de laboratorio, 308; Equipo y material usado, 311; Prueba base, 312; Comprobación de los puntos obtenidos, 313; Determinación del porcentaje de vacíos en mezclas asfálticas, 315; Pruebas de permeabilidad en carpetas, 316.

CAPÍTULO VIII. MATERIALES PÉTREOS PARA BASES Y SUB-BASES 319

CAPÍTULO IX. ESTABILIZACIONES 325

Tipos de estabilización de suelos, 325; Estabilización por compactación, 326; Estabilización con cemento portland, 326; Estabilización con

productos asfálticos, 333; Estabilización con cal, 336; Estabilización mediante tratamientos químicos, 337; Estabilización con resina de anilina, 337; Estabilización con acrilato de calcio, 338; Estabilización con cloruro de sodio o con cloruro de calcio, 338; Estabilización combinando dos productos químicos, 340; Estabilización mecánica empleando suelos granulares, 340; Estabilización arena-arcilla, 341; Estabilización grava-arena-arcilla, 341; Estabilización electrosmótica, 342; Pavimentos adoquinados, 343.

CAPÍTULO X. PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

347

Generalidades, 347; Diseño de pavimentos rígidos, 349; Juntas de los pavimentos rígidos, 362; Juntas longitudinales, 364; Juntas transversales, 365; Dispositivos especiales en juntas, 369; Juntas con pasadores, 371; Aumento de espesor en los bordes de los pavimentos rígidos, 372; Pavimentos rígidos reforzados, 373; Curado del concreto, 375; Dosificación del concreto, 379; Relación agua-cemento, 379; Consistencia, 380; Tipo de obra, 380; Proporción de los agregados, 380; Cantidades de materiales, 382; Módulo de elasticidad del concreto, 384.

CAPÍTULO XI. CONSTRUCCIÓN. MAQUINARIA.....

385

Factores que influyen en el rendimiento del equipo de construcción de caminos, 385; Resistencia al rodamiento, 385; Resistencia debido a la pendiente, 387; Eficiencia del operador, 389; Naturaleza del terreno, 389; Efectos de la humedad del material, 390; Condiciones climáticas, 390; Efectos de la altura en el comportamiento de los motores, 390; Estudio de los costos de adquisición y de los costos de operación de la maquinaria, 391; Costos de adquisición o compra del equipo, 391; Depreciación, 392; Método de la línea recta, 392; Inversión promedio, 394; Costos de operación, 397; Jornales, 397; Combustible y lubricantes, 397; Reparaciones, 399; Costos generales y de supervisión, 400; Empleo de los diferentes tipos de máquinas en la construcción de carreteras, 400; Producción de materiales. Las trituradoras, 401; Trituradoras de quijadas, 401; Trituradoras de molino de martillos, 402; Trituradoras de rodillos, 403; Trituradoras giratorias, 404; Trituradoras cónicas, 405; Selección de la trituradora, 406; Protección de las plantas trituradoras, 407; Carga de materiales. Palas, grúas y dragas de arrastre, 408; La pala mecánica, 411; Manera de disponer la pala

para el trabajo. Labores preliminares. Drenaje, 414; Frente de excavación, 414; Acceso al sitio de la obra, 415; Colocación correcta de la pala en el banco, 416; Efecto de la profundidad de excavación y del ángulo de oscilación en el rendimiento de las palas, 421; Efecto de las condiciones de la obra y de la administración de la misma en el rendimiento de una pala, 422; Sugerencias para obtener una máxima utilidad de las palas, 426; Número de vehículos, 427; Camiones para el transporte, 432; La grúa, 432; Dragas de arrastre, 438; El azadón o retroexcavadora, 449; Equipo para movimiento de tierras. Los tractores, 452; Tractores sobre orugas, 453; Rendimiento de los Bulldozer, 454; Utilización de los Bulldozer, 457; Tractores sobre neumáticos, 459; Tractores pala, 460; Escarificadores, 463; Escrepas o traillas, 465; Motoescrepas o Moto-traillas, 472; Motoconformadoras, 474; Equipo para compactación de suelos. Selección y uso del equipo, 479; Rodillos pata de cabra, 480; Reglas prácticas recomendables para compactar con patas de cabra, 483; Aplanadoras de rodillos metálicos lisos, 484; Aplanadoras de rodillos de rejilla, 487; Rodillos de ruedas segmentadas, 488; Rodillos vibratorios, 490; Compactadores combinados, 490; Aplanadoras de neumáticos, 491; Rendimiento del equipo de compactación, 494; Barredor, 494; Esparcidores de materiales pétreos, 495; Equipo para petrolización. Las petrolizadoras, 496; Plantas dosificadoras de mezclas asfálticas, 498; Máquinas estabilizadoras, 506.

CAPÍTULO XII. PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN 507

Procedimientos para fijar estacas laterales, 507; Estacas laterales en cortes, 508; Estacas laterales en terraplén, 510; Colocación de las alcantarillas de tubo, 511; Construcción de terraplenes con préstamos laterales, 513; Construcción de terraplenes en zonas pantanosas, 516; Procedimiento por sustitución, 516; Procedimiento por flotación, 516; Procedimiento por consolidación, 516; Procedimiento por hundimiento total del terraplén, 517; Procedimiento para compactar bases y sub-bases de pavimento, 520; Estudio de cruceros en calles y caminos, 521.

CAPÍTULO XIII. SEÑALAMIENTO DE LOS CAMINOS ... 531

Señalamiento, 531; Señales preventivas, 531; Señales restrictivas, 533; Señales informativas, 534; Marcas sobre el pavimento, 535.

CAPÍTULO XIV. CONSERVACIÓN 539

Conceptos generales, 539; Fallas en los pavimentos, 540; Calificación actual, 541; Guía para calificar, 543.

SEGUNDA PARTE-FERROCARRILES 547**CAPÍTULO XV. FERROCARRILES..... 549**

Estudios de los ferrocarriles, 549; Definición, 550; Clasificación de los ferrocarriles, 550; Constitución de la vía, 551; El riel, 552; Rotura de los rieles, 558; El balasto, 558; Los durmientes, 564; Tratamiento preservativo de la madera, 565; Placas para durmientes, 566; Cambios, 568; Tipos de sección para ferrocarriles, 575; La vía elástica, 575; Curvas espirales de transición, 583; Locomotoras Diesel-Eléctricas y eléctricas, 597; Clasificación de las locomotoras Diesel-Eléctricas y eléctricas, 597; Fuerza tractiva-velocidad en las locomotoras Diesel-Eléctricas, 600; Terminales de los ferrocarriles, 601; Procedimientos para tender y reconstruir las vías férreas, 603 .

TERCERA PARTE — AEROPUERTOS 607**CAPÍTULO XVI. AEROPUERTOS 609**

Planeación, 609; Proyecto, 612; Situación del aeropuerto con respecto al centro urbano, 612; Condiciones meteorológicas, 613; Economía en la construcción, 615; Orientación de las aeropistas, 616; Características de las aeropistas, 622; Correcciones a la longitud básica de la aeropista, 626; Áreas y superficies de despegue y aproximación, 627; Calles de rodaje, 629; Radios para las curvas de enlace de las calles de rodaje con las aeropistas, 630; Plataformas, 631; Cálculo del número de despegues y aterrizajes por hora, 632; Espesor del pavimento de los aeropuertos, 632; Espesor de los pavimentos flexibles en aeropuertos, 633; Criterio de diseño para pavimentos de tipo rígido para aeropistas, 633; Diseño de juntas, 640; Drenaje en los aeropuertos, 640; Señalamiento de las aeropistas, 644.

CUARTA PARTE — PUERTOS 653**CAPÍTULO XVII. PUERTOS 655**

Secuela general, 657; Puertos fluviales y puertos marítimos, 659; Estudios físicos, 660; Vientos, olas, mareas y corrientes, 661; Dimensio-

namiento del muelle respecto al número y tamaño de las embarcaciones, **668**; Cimentación del muelle, **675**; Determinación de las cargas vivas, **676**.

QUINTA PARTE — PUENTES	679
CAPÍTULO XVIII. PUENTES	681

Estudios topográficos, **682**; Estudios hidráulicos, **683**; Estudios geológicos, **683**; Estudios comerciales, **684**; Aplicación de las cargas, **689**; Reducción de la intensidad de carga, **689**; Ejemplo de cálculo, **692**; Cálculo de la carga muerta, **692**; Cargas vivas, **693**; Estudio de pilas y estribos de puentes, **698**; Partes principales de una pila, **699**; Fuerzas actuantes sobre una pila, **699**; Estabilidad de una pila, **700**; Estribos de puentes, **701**; Secuela de proyecto, **704**; Muro frontal, **705**; Análisis de cargas actuantes, **707**; Factor de seguridad al volteo, **712**; Factor de seguridad al deslizamiento, **712**; Revisión de las presiones en el terreno, **713**; Aleros, **713**.

BIBLIOGRAFÍA	717
---------------------------	------------

INTRODUCCIÓN

Los medios de comunicación por tierra, agua y aire son conocidos como motores de la vida social, y poderosos instrumentos de la civilización, apareciendo en cada uno de ellos variedades que dependen de la clase de elemento y de su manera de utilizarlo. Así en los transportes por tierra, se tienen las carreteras con sus diferentes categorías y los ferrocarriles con su diversidad de vías; en los transportes por agua, están las comunicaciones marítimas y las fluviales, y en la transportación aérea el tráfico comercial y de pasajeros se incrementa día a día de manera asombrosa.

En épocas pasadas, y, durante bastante tiempo, las comunicaciones marítimas y fluviales llegaron a ser las más importantes, ya que la construcción de caminos para vehículos de tracción animal resultaba extremadamente difícil para los antiguos dadas las precarias condiciones predominantes de la época, mientras que las embarcaciones, con el viento como medio de locomoción, les facilitaba enormemente la tarea.

Quizás ello haya sido una de las causas por las cuales muchas ciudades antiguas llegaron a florecer a orillas de ríos, lagos y mares. Pero esta situación fue poco a poco cambiando, pues una mejor organización de los vehículos de ruedas, dio como resultado que se mejorarán también los caminos los cuales fueron desempeñando un papel cada vez más importante en la comunidad hasta llegar a tener gran preponderancia durante el apogeo del poderío romano. Pero al derrumbarse el gran Imperio Romano, arrastra consigo a los caminos, los cuales se arruinan de tal modo que los vehículos tienden a desaparecer casi por completo. Y así quedaron los caminos olvidados por muchísimo tiempo, prácticamente muertos, hasta que a fines del

siglo XVIII comienzan a resucitar y a tomar bastante incremento, pues sobreviene un fuerte aumento en la población y hace necesaria la comunicación con zonas internas alejadas de las vías marítimas y fluviales. Para entonces, ya se han perfeccionado bastante los procedimientos de construcción y el progreso es rápido; pero en los comienzos del siglo XIX aparece el ferrocarril como una maravilla técnica y vuelven los caminos a ser prácticamente relegados, esta vez a segundo término y como auxiliares del ferrocarril.

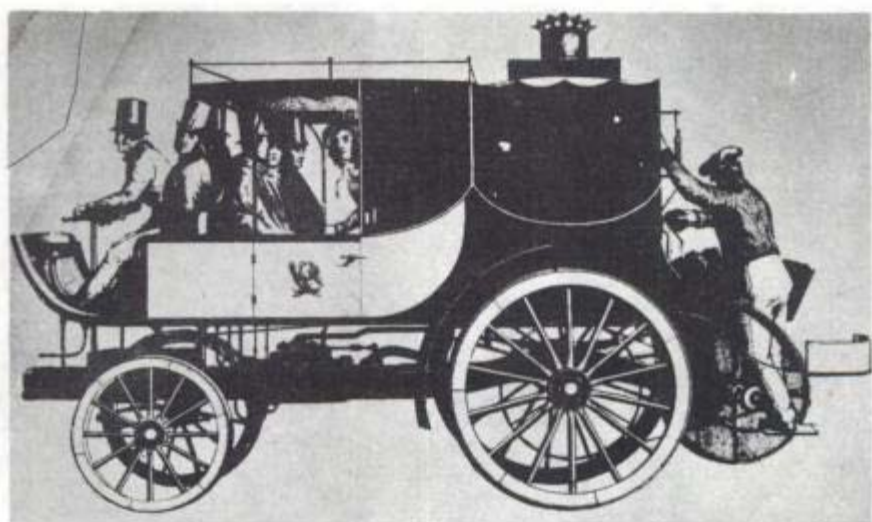
Pero cuando se creía que los caminos habían quedado relegados al papel secundario de auxiliares del ferrocarril, para recoger la carga local y llevarla al vagón de los mismos, la mecanización de los vehículos volvió a hacer que los caminos se consideraran como esenciales en la economía de los transportes terrestres. El perfeccionamiento de los motores de combustión ejerció de inmediato una influencia extraordinaria en la estructura y función de los caminos, implantándose una nueva técnica en la construcción y conservación de los mismos con el uso de los asfaltos.

En vista del rápido desenvolvimiento del transporte por las carreteras, muchos indicaban y creían sinceramente, que ahora quien estaba próximo a su fin era el ferrocarril, y no pocos opinaban que era conveniente levantar las vías ferroviarias y sustituirlas por las elegantes y nuevas carreteras. Parecía, pues, que los ferrocarriles, en las diferentes partes del mundo, decaerían en importancia con respecto a los otros medios de transporte. La presencia del automóvil en los caminos, la construcción de grandes autopistas y la mejora general de la red caminera provocó una disminución en la carga de los ferrocarriles augurándole a los mismos un futuro poco halagador.

Para aquellos que creyeron en la profecía anterior era excusable el que siguieran una política ferroviaria reservada ya que evitaría gastos innecesarios en inversiones que se pensaba resultarían negativas ante el avance y la competencia del movimiento de carga por las carreteras. Sin embargo, se han tenido que imponer las rectificaciones, ya que los combustibles se han encarecido mucho, los automóviles y camiones, así como sus reparaciones han aumentado en precio en forma tremenda, la construcción y conservación de las carreteras implica un fuerte gravamen sobre el presupuesto de Obras Públicas, y los camiones no pueden competir con los ferrocarriles en lo relativo a la capacidad de transporte. Se puede decir, pues, que el ferrocarril tiene una gran capacidad de transporte, pero el elevado costo del tendido de vías, instalaciones y conservación le impiden llegar a todas partes, ya que en determinadas áreas y para algunos recorridos es completamente antieconómico. Las carreteras, por el contrario, pueden llegar a

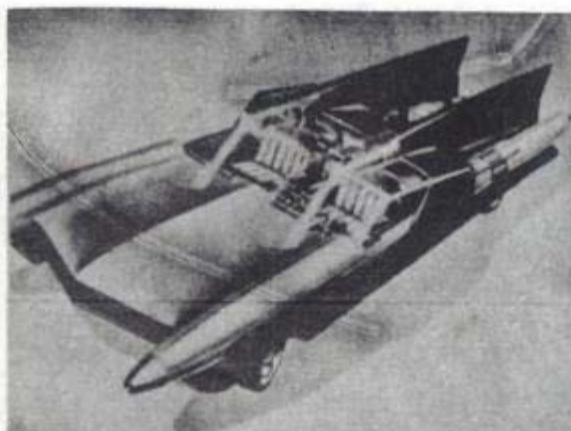
todas partes y comunicar los centros más importantes con los más pequeños y lejanos lugares, pero cuando se quiere que acarreen la cantidad de carga equivalente a la que transporta el ferrocarril, se percata uno de que la conservación de las carreteras es elevada, que se necesita un elevado número de camiones, que el consumo de combustibles, lubricantes y llantas es tremendo y que plantean enormes problemas de tránsito con sus consiguientes accidentes.

En este estado de cosas se inicia la era del transporte aéreo con el primer viaje de los hermanos Wright en 1903, viaje efectuado en un avión de motor con el cual voló unos 230 metros a 35 km/hora y a la altura de un metro. Desde entonces, la aviación se ha desarrollado en forma fantástica, siendo por ello imprescindible la construcción, conservación, mejoramiento y ampliación de muchos aeropuertos. Si anteriormente se habló de la era de la carretera y después de la era del ferrocarril, hoy el comentario es que hemos entrado en la era de la aviación. No obstante, a pesar de lo mucho que se ha adelantado, la aviación tiene un limitado campo de actividades en orden comercial y unas muy definidas posibilidades de aplicación que le clasifican como un inestimable complemento de los otros medios de transporte, sin poder llegar a ser jamás un sustituto suficiente y eficaz de ellos.



PRIMERA PARTE

CAMINOS



XIX

CAPÍTULO 1

CARRETERAS

CAMINOS Y CARRETERAS

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

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

CLASIFICACIÓN DE LAS CARRETERAS

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

En la práctica vial mexicana se pueden distinguir varias clasificaciones, algunas de las cuales coinciden con las clasificaciones dadas en otros países. Ellas son: Clasificación por Transitabilidad, Clasificación por su Aspecto Administrativo y Clasificación Técnica Oficial.

CLASIFICACIÓN POR TRANSITABILIDAD

La Clasificación por Transitabilidad corresponde a las etapas de construcción de la carretera y se divide en:

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

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

Terracerías	
Revestido	
Pavimentado	

CLASIFICACIÓN ADMINISTRATIVA

Por el aspecto administrativo las carreteras se clasifican en:

1. Federales: cuando son costeadas íntegramente por la Federación y sue encuentran por lo tanto a su cargo.
2. Estatales: cuando son construidos por el sistema de cooperación a razón del 50% aportado por el Estado donde se construye y el 50% por la Federación. Estos caminos quedan a cargo de las antes llamadas Juntas Locales de Caminos.
3. Vecinales o rurales: cuando son construidos con la cooperación de los vecinos beneficiados pagando éstos un tercio de su valor, otro tercio lo aporta la Federación y el tercio restante el Estado. Su construcción y conservación se hace por intermedio de las antes llamadas Juntas Locales de Caminos y ahora Sistema de Caminos.
4. De Cuota: las cuales quedan unas a cargo de la dependencia oficial descentralizada denominada Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios y Conexos y otras como las autopistas o carreteras concesionadas a la iniciativa privada por tiempo determinado, siendo la inversión recuperable a través de cuotas de paso.

CLASIFICACIÓN TÉCNICA OFICIAL

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

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

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

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

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

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

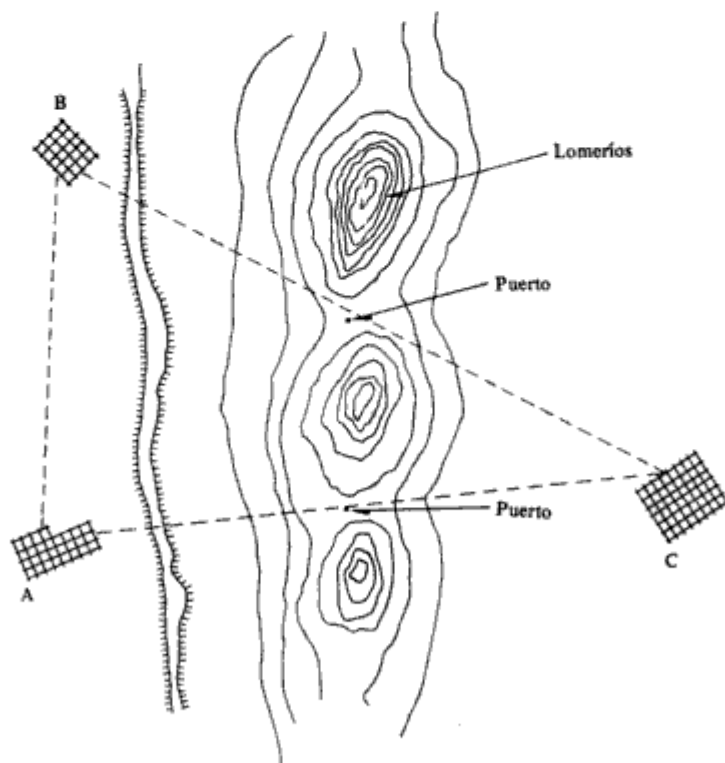
En una red caminera proyectada con visión nacional debe existir toda una gama de soluciones, desde aquellos caminos de gran costo porque así lo exige el tránsito, hasta los caminos de tierra estabilizada con las máximas pendientes y los mínimos radios posibles.

Antes de comenzar los estudios de campo necesarios para el proyecto de un camino, ciertos conceptos y normas mínimas definidas deben especificarse para las diferentes partes de la ruta. Dichos conceptos y normas son las siguientes:

ALINEAMIENTO

En la construcción de un camino se trata siempre de que la línea quede alojada en terreno plano la mayor extensión posible, pero siempre conservándola dentro de la ruta general. Esto no es siempre posible debido a la topografía de los terrenos y así cuando llegamos al pie de una cuesta la

pendiente del terreno es mayor que la máxima permitida para ese camino y es necesario entonces *desarrollar* la ruta. Debido a estos desarrollos necesarios y a la búsqueda de pasos adecuados es por lo que los caminos resultan de mayor longitud que la marcada en la línea recta entre dos puntos. Sin embargo, debe tratarse siempre, hasta donde ello sea posible, que el alineamiento entre dos puntos obligados sea lo más recto que se pueda de acuerdo con la topografía de la región y de acuerdo también con el tránsito actual y el futuro del camino a efecto de que las mejoras que posteriormente se lleven a cabo en el alineamiento no sean causa de una pérdida fuerte al tener que abandonar tramos del camino en el cual se haya invertido mucho dinero. Es decir, que hay que tener visión del futuro con respecto al camino para evitar fracasos económicos posteriores, pero hay que tener presente también que tramos rectos de más de diez kilómetros producen fatiga a la vista y una hipnosis en el conductor que puede ser causa de accidentes. También hay que hacer notar que en el



proyecto moderno de las carreteras deben evitarse, hasta donde sea económicamente posible, el paso por alguna de las calles de los centros de población siendo preferible construir libramientos a dichos núcleos.

VELOCIDAD

Se define la velocidad como la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda en recorrerlo, o sea, una relación de movimiento que queda expresada, para velocidad constante, por la fórmula: $V = d/t$. Como la velocidad que desarrolla un vehículo queda afectada por sus propias características, por las características del conductor y de la vía, por el volumen de tránsito y por las condiciones atmosféricas imperantes, quiere decir que la velocidad a que se mueve un vehículo varía constantemente, causa que obliga a trabajar con valores medios de velocidad.

Como el tiempo de recorrido es función de la velocidad, cambiando la velocidad en un viaje, se puede variar el tiempo de recorrido. La velocidad está bajo el control del conductor y por lo tanto su uso determinará la distancia recorrida, el tiempo recorrido y el ahorro de tiempo según la variación de la velocidad, por lo tanto, la velocidad debe ser estudiada, regulada y controlada.

A mayores velocidades se obtendrá un ahorro en el tiempo, pero el ahorro de tiempo de recorrido es menor a medida que aumenta la velocidad. Después de los 90 km/hora, los ahorros de tiempo, el aumentar la velocidad, son relativamente pequeños. Desde luego, que los ahorros de tiempo son mayores al incrementar la velocidad, por ejemplo, de 30 a 50 km/hora.

La mayor parte de los estudios de velocidad se refieren a la velocidad de los vehículos en determinado punto de un camino o de una calle. A esa velocidad se le ha llamado *Velocidad de Punto*. El estudio de la velocidad de punto da la información relativa a la velocidad que prevalece en determinado lugar y la distribución de velocidades por grupos de usuarios. Por ejemplo, en una sección de un camino de dos carriles se pueden obtener los datos correspondientes a las velocidades que desarrollan los usuarios tomando una muestra lo suficientemente representativa de los vehículos en un tramo de camino. El promedio de velocidad será el promedio aritmético de las velocidades de punto de todos los vehículos en este tramo. Generalmente se usa para establecer restricciones de velocidad, indicar la velocidad de seguridad en las curvas y para ayudar en los estudios que relacionan a los accidentes con la velocidad.

Por otro lado, la *Velocidad de Recorrido Total* se obtiene de dividir la distancia recorrida, de principio a fin del viaje, entre el tiempo total que se empleó en recorrerla. En ese tiempo de recorrido estarán incluidos todos los tiempos en que el vehículo haya variado la velocidad o se haya detenido por cualquier causa, excepto cuando ésta sea ajena a la vía.

El conocimiento de la *Velocidad de Recorrido Total* sirve para evaluar la eficiencia de una vía y viene siendo una medida relativa del grado de congestionamiento que hay en ella. Mediante la *Velocidad de Recorrido Total* pueden calcularse índices de congestión o suficiencia y comparar condiciones de fluidez en ciertas rutas, ya sea una contra otra, o bien en una misma ruta cuando se hayan hecho cambios y así medir los efectos. Los tiempos de recorrido total se utilizan para poder valorar la efectividad de ciertas medidas para regular el tránsito, como por ejemplo, el prohibir el estacionamiento en ciertas zonas, coordinación de señales luminosas, etcétera.

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

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

La velocidad de operación en tangente es aproximadamente de 20 a 30 km/h mayor a la velocidad de proyecto.

En general, toda región en la cual el promedio de inclinación del terreno, en una longitud de 30 km, sea mayor de 4% será considerado montañoso; si el promedio de inclinación fluctúa entre 4% y 2%, será considerado ondulado o en lomerío, y si el promedio de inclinación es menor del 2% se considerará como terreno plano. El escoger montañoso poco escarpado o montañoso muy escarpado dependerá de si el promedio de inclinación del terreno en los 30 km se acerque o se aleje del valor dado del 4%.

Con relación al tiempo recomendable para efectuar mediciones de velocidades se sugiere se hagan divididas en tres partes, cada una constando de una hora. Estas mediciones se harán así:

- a) Una hora entre las 9 y las 12 horas.
- b) Una hora entre las 15 y las 18 horas.
- c) Una hora entre las 20 y las 22 horas.

MÉTODOS DE MEDICIÓN DE VELOCIDADES

Los métodos de medición de velocidades aplicables al estudio de la *Velocidad de Punto* son las siguientes:

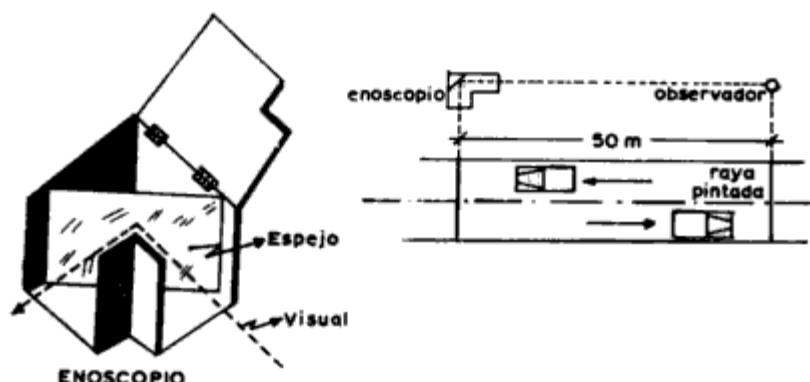
MÉTODO DEL CRONÓMETRO

El método más antiguo y económico para medir las velocidades de los vehículos es, probablemente, haciendo uso de un cronómetro. En una distancia determinada (de 30 a 100 m) que se ha marcado en el pavimento con dos rayas de pintura, se mide el tiempo que tardan los vehículos en recorrerla. El cronómetro se pone en marcha cuando un vehículo entra en la distancia marcada en el pavimento, y se detiene cuando el mismo vehículo sale de ella. La velocidad será igual al espacio recorrido entre el tiempo empleado en recorrerlo.

MÉTODO DEL ENOSCOPIO

Los enoscopios son cajas en forma de *L*, abiertas en dos partes, con un espejo colocado en su interior a un ángulo de 45° con las paredes de la caja. Este aparato dobla a 90° la visual del observador y su construcción es barata.

El enoscopio se coloca en un extremo de una determinada distancia con un brazo de la *L* perpendicular a la trayectoria de los vehículos y el otro apuntando hacia el observador que se colocará en el otro extremo de la distancia considerada. Cuando el observador percibe la imagen de un vehículo en el enoscopio, pone en marcha el cronómetro y no lo detiene hasta que el mismo vehículo pase frente a él. Se pueden hacer observaciones nocturnas colocando una luz directamente frente al enoscopio, cuyos rayos interrumpen los vehículos al pasar. Normalmente los enoscopios se colocan sobre un tripie. Cuando el tránsito es muy intenso hay que escoger un



vehículo de cada 2,3,4 ó 5 para medir la velocidad. También pueden hacerse escogiendo un vehículo cada 15 ó 20 segundos.

MÉTODO DEL RADAR

Se trata de un equipo accionado por la batería de un vehículo y que se basa en el principio del radar. El aparato emite ondas de alta frecuencia que rebotan en el vehículo que se acerca. Al regreso de la onda, ésta es registrada en el mismo aparato, el cual, de acuerdo con la intensidad de la onda, indica la velocidad del vehículo que se aproxima. Con aditamentos especiales se pueden obtener datos del vehículo y de la velocidad a que circula.

LA VELOCIDAD Y LOS ACCIDENTES DE TRÁNSITO

Teniendo en cuenta que los accidentes de tránsito dependen de las limitaciones y complejidades del ser humano, de sus obras, de sus relaciones de convivencia, así como de las leyes de la naturaleza, se puede comprender la dificultad que representa el encontrar una verdadera causa real para los accidentes de tránsito con base a los datos de los informes que sobre los mismos se rinden. En muchas ocasiones se consideran como causas de accidentes las infracciones al Reglamento de Tránsito lo que no siempre es completamente cierto. Claro es que cuando se comprueba que un conductor que ha intervenido en un accidente de tránsito, ha contravenido alguna de las reglas del mismo, se puede llegar a la conclusión, y con razón, de que el accidente no hubiera ocurrido de no haber ocurrido la contravención antes dicha.

Se sabe que mundialmente la cantidad de personas que pierden la vida, o quedan lisiadas por causa de un accidente de tránsito, es pavorosa. En los Estados Unidos de América pasa de un millón el número de personas heridas anualmente en los mencionados accidentes. De igual forma, pasan de 30,000 las personas que mueren en dicho país por la misma causa. Para dar

una idea de la magnitud del problema se emplean *índices de accidentes* que sirven para comparar su gravedad en diferentes lugares durante el mismo período o en el mismo lugar para diferentes épocas. De esta manera se tienen *Índices de Accidentes Basados en la Población*, en el *Número de Vehículos*, y en el *Tránsito*. Generalmente se toma como período un año.

El *Índice de Accidentes Basado en la Población* es la relación que existe entre el número de accidentes que ocurren en una ciudad, región o país, y el número de habitantes de la unidad geográfica considerada expresado en centenares de millares. O sea:

$$\text{Índice} = \frac{\text{Núm. de accidentes por 100,000}}{\text{Número de habitantes}}$$

El índice anterior es útil nada más para comparar los accidentes de tránsito en unidades geográficas con nivel socio-económico muy semejantes, ya que se basa en el número de personas expuestas a los accidentes y no toma en consideración los vehículos que son los que provocan los accidentes y cuyo número varía con las diferencias sociales y económicas de la región.

El *Índice de Accidentes Basado en el Número de Vehículos* es una relación muy parecida a la anterior pero usa el número de vehículos registrados en la unidad geográfica considerada, expresado en decenas de millares, en vez de emplear la población de la mencionada unidad geográfica. Este índice se expresa así:

$$\text{Índice} = \frac{\text{Núm. de accidentes por 10,000}}{\text{Núm. de vehículos registrados}}$$

Como este índice se relaciona con el agente provocador de los accidentes, sirve para comparar unidades geográficas de diferentes niveles socio-económicos.

El *Índice de Accidentes Basado en el Tránsito* es, posiblemente, el procedimiento más adecuado y la medida más exacta de la magnitud del problema de los accidentes de tránsito. Este índice viene dado por la relación entre el número de accidentes de una determinada unidad geográfica y el tránsito existente en esa misma unidad expresado en centenares de millones de vehículos-kilómetros. Se expresa así:

$$\text{Índice} = \frac{\text{Núm. de accidentes por 100,000,000}}{\text{Núm. de vehículos-kilómetros}}$$

Se puede emplear también este índice para comparar los accidentes que ocurren en unidades geográficas de distintos niveles socio-económicos y se basa en la magnitud total de las corrientes vehiculares, donde ocurren los accidentes.

Averiguar los vehículos-kilómetros de tránsito en ciudades es bastante difícil, pero en países o regiones de los mismos es factible obtener este dato multiplicando el consumo total de combustible por el rendimiento promedio de los vehículos. *Hay que recordar que la mayor proporción de accidentes de tránsito mortales ocurre a velocidades muy altas, pero la menor proporción no tiene lugar a bajas velocidades, sino a velocidades medias.*

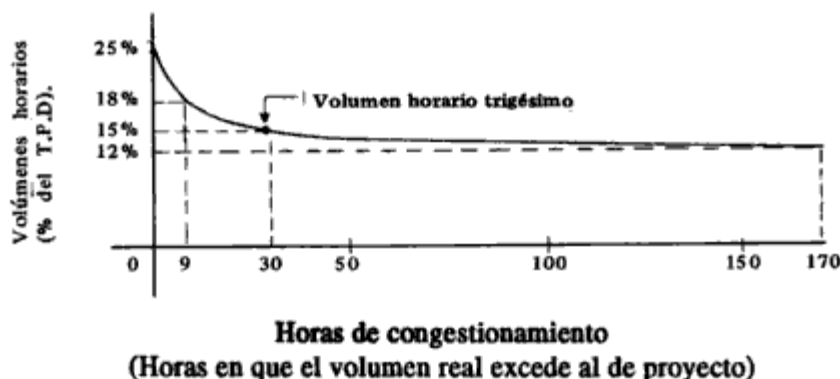
Para obtener índices de mortalidad se usan las mismas fórmulas anteriores pero sustituyendo el número de accidentes por el número de muertos al año.

VOLUMEN DE TRÁNSITO

Se entiende por volumen de tránsito cierta cantidad de vehículos de motor que transitan por un camino en determinado tiempo y en el mismo sentido. Las unidades comúnmente empleadas son: vehículos por día o vehículos por hora. Se llama tránsito promedio diario (T.P.D.) al promedio de los volúmenes de tránsito que circulan durante 24 horas en un cierto período. Normalmente este período es el de un año, a no ser que se indique otra cosa. El T.P.D. es comúnmente empleado en los estudios económicos, ya que representa la utilización de la vía y sirve para efectuar distribuciones de fondos, mas no se puede emplear para determinar las características geométricas del camino, pues no es un valor sensitivo a los cambios significantes de los volúmenes y no indica las variaciones del tránsito que pueden presentarse en las horas, días y meses del año. Los volúmenes horarios son lo que resultan de dividir el número de vehículos que pasan por un determinado punto en un período, entre el valor de ese período en horas. Los *Volúmenes Horarios Máximos* son los que se emplean para proyectar los aspectos geométricos de los caminos y se les denomina *Volumen Directriz*. Este *Volumen Directriz* usualmente equivale, en U.S.A., al 15% del T.P.D., como se verá a continuación. En México se usa el 12% del T.P.D., como ya se hizo notar en clasificación técnica oficial.

En los Estados Unidos de América tanto para las vías rurales como para las urbanas se acostumbra usar el *Volumen Trigésimo* de la serie formada con los volúmenes horarios que circulan en un año ordenados en escala descendente.

Si en un sistema de ejes de coordenadas cartesianas se representan en la ordenada los volúmenes horarios que circulan por una vía durante un año [expresados estos volúmenes como porcentajes del tránsito promedio diario (T.P.D.)] y en la abscisa el número de horas en que el volumen real excede al de proyecto, se obtiene una curva similar a la que se dibuja a continuación.



En la curva anterior en particular se puede observar que el volumen horario máximo no excedido en ningún momento durante el año es igual al 25% del T.P.D. El *volumen horario trigésimo* es igual al 15% del T.P.D., y el correspondiente a la hora 170 viene a ser un 12% del T.P.D. Si se usa como *volumen directriz* el *volumen trigésimo* en lugar del volumen correspondiente a la hora 170, se mejora mucho al servicio que proporciona la vía pues se reduce de 169 a 29 el número de veces en que el tránsito real excede al de proyecto, mientras que el aumento en volumen ha sido solamente del 3%. Por otro lado, si se toma como *volumen directriz* el *noveno volumen horario*, con el mismo aumento de volumen del 3%, se reducen las horas de congestionamiento de 29 a 9 y la mejoría no es tan notable. Por lo anterior es por lo que se emplea, generalmente el *volumen horario trigésimo* como *volumen directriz* o *volumen de proyecto*, pues marca el punto en el cual el volumen de tránsito comienza a aumentar bruscamente y no se justifica incrementar mucho la capacidad de una vía para que se use plenamente esa capacidad únicamente unas cuantas veces al año.

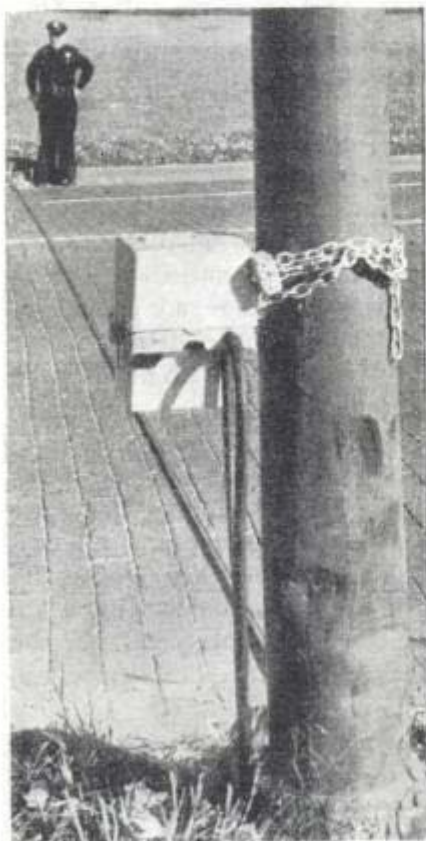
En los Estados Unidos de América los valores del *volumen horario trigésimo* se encuentran comprendidos, aproximadamente, entre el 11% y el 20% del T.P.D., en vías rurales, con promedio de 15%. En las vías urbanas dichos valores varían del 7% al 18% y su promedio es del 11%. De lo anterior se desprende que el *trigésimo volumen máximo horario* del año viene

siendo un criterio bastante razonable de volumen de vehículos para el cual es práctico proyectar.

TIPO DE TRÁNSITO

La clase de vehículos que transitan o van a transitar por un camino varía según el tipo de camino de que se trate. Así, para un camino turístico que conduzca a unas ruinas arqueológicas se puede asegurar que casi en su totalidad el tránsito será de automóviles de pasajeros, mientras que en un camino minero la mayoría de los vehículos serán de carga de mayor o menor tonelaje dependiendo del mineral de que se trate y de las condiciones de la misma. Los caminos en las regiones agrícolas de los grandes sistemas de riego tendrán un tránsito mixto. Como el tipo de tránsito influye de una

manera decisiva en el proyecto de un camino, ya que afecta notablemente tanto a la parte geométrica



CAPACIDAD DE UN CAMINO

El ingeniero necesita saber cuál es la capacidad práctica de trabajo de un camino tanto para los nuevos que va a construir y en los cuales puede prever los volúmenes de tránsito que va a alojar, como para los caminos viejos los cuales pueden llegar a la saturación y entonces requieren la construcción de otro camino paralelo o el mejoramiento del anterior. La capacidad práctica de trabajo de un camino es el volumen máximo que alcanza antes de congestionarse o antes de perder la velocidad estipulada.

como a la estructura del mismo, es necesario que dicho tránsito sea estimado de la mejor manera posible previendo cualquier aumento.

La manera de conocer el tipo de tránsito en un camino ya construido no presenta dificultad alguna ya que se reduce a una serie de conteos horarios que indican el volumen de dicho tránsito y su tipo. No sucede lo mismo cuando apenas se está proyectando el camino. En este caso es necesario llevar a cabo estudios geográfico-físicos, socioeconómicos y políticos de la región para poder obtener datos con los cuales proyectar. Este punto será tratado más adelante en la Planeación de un camino. Para el conteo de los vehículos el método más empleado es el automático que consiste en un tubo de hule cerrado en un extremo por una membrana. El tubo se coloca transversalmente a la vía y al paso de cada eje de un vehículo sobre el tubo, se produce un impulso de aire sobre la membrana que establece un contacto eléctrico con un aparato que va sumando el número de impulsos recibidos. Los contadores automáticos tienen la desventaja de que no pueden clasificarse los vehículos por tipo, cosa que sí es factible cuando el conteo se hace manual. Sin embargo, el conteo manual es caro ya que se necesita alrededor de una persona por cada mil vehículos por hora en la vía, mientras que si se emplea un contador automático, como el que se muestra en la fotografía anterior, se facilita el trabajo.

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

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

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

Como resultado de lo anterior, se ha obtenido una cifra cercana a los dos mil vehículos por hora,, aplicando la fórmula: $Q = \frac{1000 V}{S}$.

S

En la que V es la velocidad media de los vehículos en ese momento y S el intervalo medio entre ellos. Sin embargo, lo más interesante es la capacidad práctica de trabajo del camino.

Para determinar el congestionamiento se hacen recuentos de volúmenes de tránsito en carriles en los cuales los volúmenes son tan grandes que en

algunos casos y en algunas horas del día se llega a saturar; llega a ser tanto el volumen de vehículos que se congestiona, al grado que llegan a detenerse los vehículos.

Se han hecho recuentos en muchos caminos en los Estados Unidos de América en los cuales se ha llegado a la saturación y se ha sacado un promedio de la capacidad máxima práctica de trabajo obteniéndose para ella la cantidad de 900 vehículos por hora para ambos carriles.

De igual forma, a través de experiencias, se obtuvieron las capacidades prácticas de trabajo en caminos de tres, cinco y más carriles, obteniéndose los siguientes resultados:

En caminos con vías de 3.66 m de ancho, condiciones excelentes de alineamiento y velocidades promedio entre 70 y 80 kilómetros por hora pueden lograrse las siguientes capacidades prácticas máximas de trabajo:

Camino de dos carriles: 900 veh/hora, total.

Camino de tres carriles: 1500 veh/hora, total.

Camino de cuatro o más carriles: 1000 veh/hora, por carril, en los carriles en la dirección del mayor movimiento

En México se ha observado que con excepción de una fracción pequeña (5%) de la longitud total pavimentada en la red caminera, en el resto la capacidad práctica de las carreteras es superior al tránsito actual.

Ello ha servido para fijar las normas para el proyecto geométrico de las carreteras.

FACTORES QUE REDUCEN LA CAPACIDAD DE LAS CARRETERAS

Las capacidades prácticas indicadas anteriormente corresponden, como ya se ha visto, a condiciones ideales, en cuanto a sección, alineamiento y condiciones de visibilidad, pero en realidad, es muy difícil que estas condiciones prevalezcan en un camino y por lo tanto la realidad es que las capacidades sean menores que las mencionadas. Las más importantes condiciones que afectan la capacidad de las carreteras son: el ancho de sección, visibilidad, pendiente, ancho de los acotamientos (hombros), porcentaje de vehículos pesados en la vía y la obstrucción lateral.

El ancho de sección que se consideró para establecer las capacidades prácticas correspondió a la óptima de 3.66 m por carril y 1.84 m de acotamiento, sin embargo, como es lógico suponer, en una red caminera existen otros anchos de sección, como por ejemplo el de 3.05 m por carril y 1.30 m de ancho de cada acotamiento dando un ancho total de 8.70 m en vez de

11.00 m del óptimo. De aquí que las normas establecen ciertas secciones transversales en función del tipo de camino y de la topografía por la que se extiende. El efecto del ancho del carril en la capacidad práctica puede observarse en la tabla que sigue obtenida de los estudios hechos por la A.A.S.H.T.O.

EFECTOS DEL ANCHO DEL CARRIL		
Ancho del carril, en metros.	Vehículos por hora, total en los caminos de dos carriles.	Porcentaje de la capacidad con respecto a la sección óptima.
3.66 (óptima)	900	100
3.35	774	86
3.05	693	77
2.75	630	70

En cuanto a la visibilidad y a la pendiente, íntimamente ligadas con el alineamiento y la velocidad de proyecto, se puede decir que afectan a la capacidad práctica de un camino de una manera directa por las condiciones que ellas llevan implícitas.

El efecto de los acotamientos sobre la capacidad práctica es obvio ya que si no se cuenta con acotamientos de anchos adecuados, un vehículo descompuesto puede obstruir, prácticamente, un carril y ser, además, un peligro para la circulación continua. Más adelante, de la tabla correspondiente a las secciones transversales del camino recomendadas, se pueden obtener los valores aconsejables de los acotamientos en función del tipo de camino y de la topografía por la que atraviesa.

Los vehículos pesados, debido a su más baja velocidad de circulación y a su mayor anchura, reducen bastante la capacidad práctica de las carreteras. En terrenos planos y en terrenos ondulados el efecto de estos vehículos sobre la capacidad práctica puede observarse en la tabla que sigue:

EFECTOS DE LOS VEHÍCULOS PESADOS				
Porcentaje de vehículos pesados, con relación al tránsito total. Caminos de dos carriles.	Terreno plano		Terreno ondulado	
	Vehículos por hora, total en caminos de dos carriles.	Porcentaje de la capacidad en vehículos por hora.	Vehículos por hora total en caminos de dos carriles.	Porcentaje de la capacidad en vehículos por hora.
0	900	100	900	100
10	800	89	640	71
20	710	79	500	55

Las obstrucciones laterales, como los muros de retención de tierras, los postes de señalamiento, y vehículos estacionados suelen reducir la capacidad práctica según se indica en la tabla que sigue:

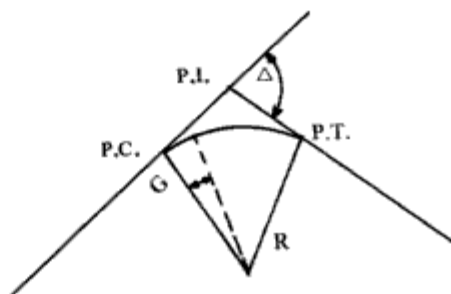
EFECTO DE LAS OBSTRUCCIONES	
Distancia del borde de la carpeta asfáltica hasta el obstáculo, en metros.	Ancho efectivo de dos carriles de 3.66 metros cada uno
1.80	7.30
1.20	6.70
0.60	6.10
0.00	5.50

CURVATURA

Se denomina *grado de curvatura* al ángulo en el centro correspondiente a un desarrollo de arco de 20 m y su relación con el radio de la curva es:

$$\frac{360}{G} = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{20}, \text{ de donde:}$$

$$G = \frac{1145.91}{R} = \frac{1146}{R}$$



La tabla que sigue muestra los grados máximos de curvatura recomendables según el tipo de camino y según la topografía, pero hay que tener presente que, en todos los casos, el proyectista debe analizar la situación particular en cada uno de ellos para decidir qué valor escoger.

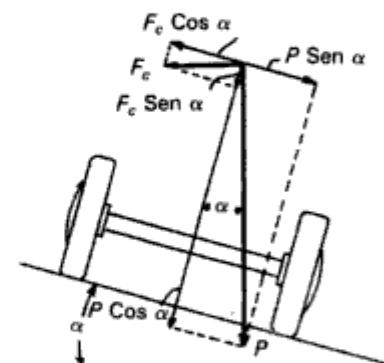
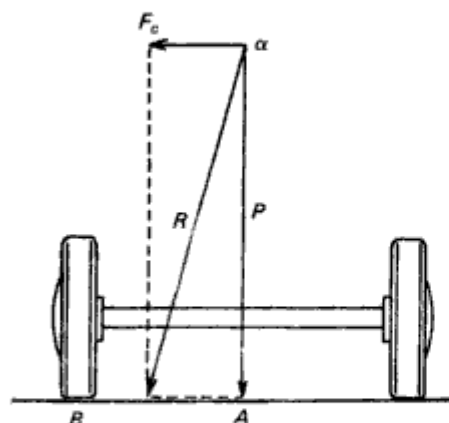
GRADOS DE CURVATURA MÁXIMOS RECOMENDABLES				
TOPOGRAFÍA				
Tipo de camino	Plana o con poco lomerío	Con lomerío fuerte	Montañosa, pero poco escarpada	Montañosa pero muy escarpada
Tipo Especial	2°30'	4°30'	6°	6°
Tipo A	8°	11°	16°30'	26°
Tipo B	11°	16°30'	26°	35°
Tipo C	16°30'	26°	47°	67°

SOBREELEVACIÓN

Si un vehículo sigue la trayectoria de una tangente y pasa a la de una curva, al recorrer ésta aparece la fuerza centrífuga que origina dos peligros de estabilidad para el vehículo en movimiento:

El peligro de deslizamiento transversal y el peligro de vuelco.

El primero se presenta cuando el coeficiente de rozamiento transversal μ_t no es suficiente para que $P \cdot \mu_t$ sea mayor que la fuerza centrífuga F_c , y el segundo se presenta cuando F_c por A_t es mayor que P por AB .



Para evitar los peligros mencionados es necesario sobreelevar las curvas. Ya se sabe, por otro lado, que el valor de la fuerza centrífuga F_c es de:

$$F_c = (m)(a); a = \frac{V^2}{R}; m = \frac{P}{g} \therefore F_c = \frac{P \cdot V^2}{g \cdot R}$$

Por lo tanto, en el peligro de desplazamiento se tiene:

- La fuerza solicitante $F_c \cos \alpha$ que es la componente, paralela al plano del camino, de la fuerza centrífuga F_c .
- La fuerza resistente $P \sin \alpha$ que es la componente, paralela al plano del camino, del peso del vehículo y,
- La fuerza resistente provocada por el rozamiento, o sea la reacción del rozamiento transversal por rotación y cuyo valor es de $u_1 (F_c \sin \alpha + P \cos \alpha)$.

De lo anterior se desprende que la condición de equilibrio es:

$$F_c \cos \alpha = P \sin \alpha + u_1 (F_c \sin \alpha + P \cos \alpha)$$

Si no se toma en cuenta el efecto del rozamiento, entonces:

$$F_c \cos \alpha = P \sin \alpha$$

$$\frac{P \cdot V^2}{g \cdot R} \cos \alpha = P \sin \alpha$$

$$\frac{V^2}{gR} = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \tan \alpha, \text{ que viene resultando}$$

la sobreelevación teórica. En la fórmula anterior:

V = Velocidad de proyecto en metros por segundo.

g = Aceleración de la gravedad en metros por segundo al cuadrado.

R = Radio de la curva en metros.

La fórmula anterior se puede transformar a:

$$\tan \alpha = \frac{V^2}{9.81 (3.6)^2 R} = \frac{V^2}{127 R}, \text{ en la cual:}$$

V = Velocidad de proyecto en kilómetros por hora y,

R = Radio de la curva en metros. Un metro por segundo es igual a 3.6 Km/hora.

Resolvamos un ejemplo: Supóngase una curva con radio $R = 300$ m y un vehículo a la velocidad de 60 km/hora, entonces:

$$\tan \alpha = \frac{V^2}{127 R} = \frac{(60)^2}{127 \times 300} = 0.0945, \text{ y la pendiente}$$

será de 9.45%.

Sin embargo, y aun considerando la fricción, la fórmula anterior da resultados muy altos, lo que podría provocar deslizamientos de los vehículos en la curva cuando la velocidad dentro de la misma fuera menor que la de proyecto.

Así pues, es preferible, y de hecho así se hace, emplear valores que para cada tipo de camino fijan las especificaciones con relación a sobreelevaciones según el grado de la curva y tomando en consideración que el valor máximo se emplea en lugares donde no se presentan heladas o nevadas y el porcentaje de vehículos pesados es bajo. En lugares sin heladas o nevadas, pero con alto porcentaje de vehículos pesados debe usarse un 10% y cuando dichas heladas o nevadas son frecuentes debe usarse el valor de 8% como máximo,

GRADO DE LA CURVA

SOBREELEVACIÓN EN %

2°	2.0
2° 30'	4.0
3°	6.0
3° 30'	7.4
4°	8.5
4° 30'	9.3
5°	10.0
5° 30'	10.6
6°	11.0
6° 30'	11.4
7°	11.7
8°	12.3
9°	12.6
10°	12.8
en adelante	12.8

En caminos tipo especial la sobreelevación máxima aconsejable es del 10%.

Una fórmula práctica, a mi juicio, que puede emplearse para calcular el peralte de las curvas es la siguiente:

$$\text{Peralte, en por ciento,} = p = \frac{V^2}{2.26 R}$$

Esta fórmula proviene de la ya antes calculada, o sea:

$$\tan \alpha = \frac{V^2}{127 R}$$

en la cual, basándose en el criterio de absorber con el peralte la fuerza centrífuga debida a las 3/4 partes de la velocidad (o sea el 56% de la fuerza centrífuga total con el peralte y el 44% restante con la fricción) se tiene:

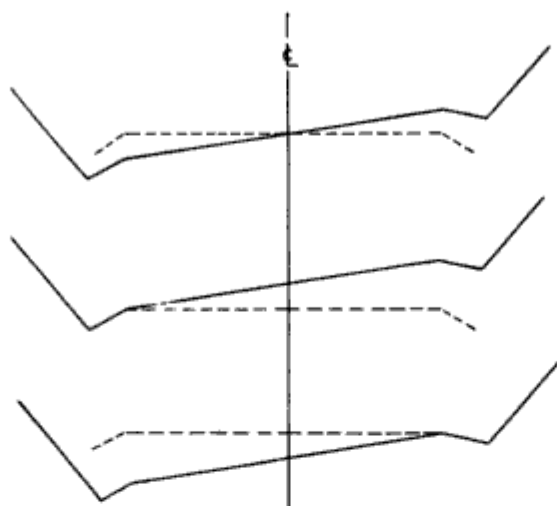
$$\tan \alpha = \frac{(0.75 V)^2}{127 R} = \frac{0.5625 V^2}{127 R}$$

Dividiendo el numerador y el denominador por 0.5625, y el resultado multiplicándolo por 100 para que dé en porcentaje, se tiene:

$$\text{Peralte en \%} = p = \frac{100 V^2}{2.26 R} = \frac{V^2}{2.26 R}$$

El cálculo de la sobreelevación de las curvas por esta última fórmula hace a las mismas muy seguras y cómodas.

Es conveniente que la sobreelevación se dé sin modificar el perfil longitudinal del eje del camino, es decir, haciendo descender el radio interior y subiendo el exterior. Sin embargo se puede hacer también conservando el perfil interior o el exterior. La elección entre uno u otro procedimiento depende del lugar, de las condiciones topográficas del terreno, características del mismo etcétera.



Si un conductor mantiene su vehículo en el centro de su carril, el desnivel que sube o baja el vehículo al circular por la transición es:

$$d = \frac{a \cdot p}{2}$$

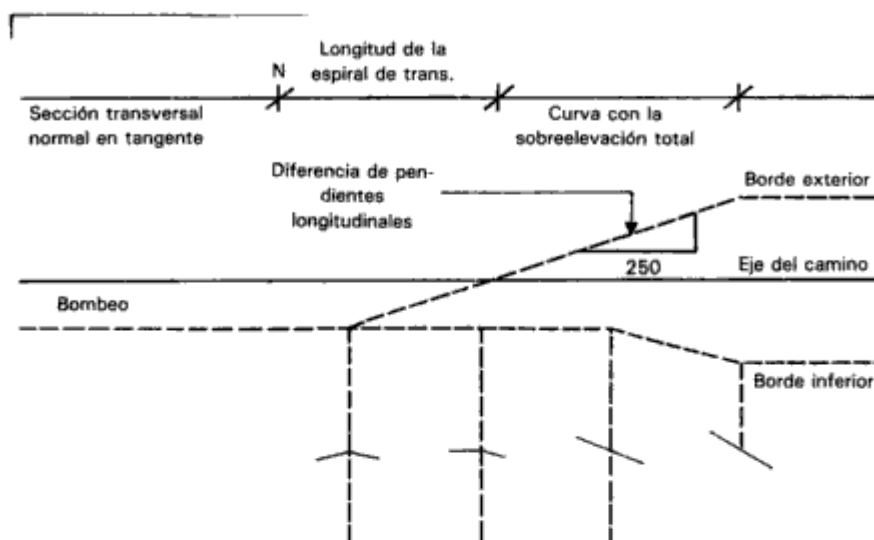
en donde:

d = desnivel en metros

a = ancho del carril en metros

p = sobreelevación, en valor absoluto

Para permitir una circulación cómoda y segura la S.C.T. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes) ha adoptado el criterio de la A.A.S.H.T.O. Para una velocidad de 48 km/hora (13.33 m/seg) la A.A.S.H.T.O. recomienda una diferencia de pendientes de 1/150, es decir, que en 150 m se podrá dar un cambio en el desnivel de la orilla del camino con respecto al eje de un metro. La S.C.T. indica que para una velocidad de proyecto de 112 km/hora la diferencia de pendientes es de un metro en doscientos cincuenta metros (1/250).



Transición de la sección transversal en tangente a la sección transversal en curva, girando sobre el eje del camino.

Para fines prácticos la S.C.T. recomienda que $L_c = 8 V.p.$ teniéndose como " L_c " mínima cuando un vehículo que circule a la velocidad de proyecto tarde dos segundos en recorrerla. A 112 km/h un vehículo recorre, aproximadamente 62.2 m, por lo que despejando "p" se obtiene un valor de 0.07 que al sustituirlo en la ecuación $L_c = 8. V.p$ se determina la longitud mínima absoluta de transición:

$$L_c = 0.56 V$$

para caminos de dos carriles. Para carreteras con 4 carriles en un solo cuerpo debe multiplicarse por 1.5., o sea:

$$L_c = (0.56) (1.5) (V) = 0.84 V$$

y para carreteras de seis carriles en un solo cuerpo se debe multiplicar por 2.5, o sea:

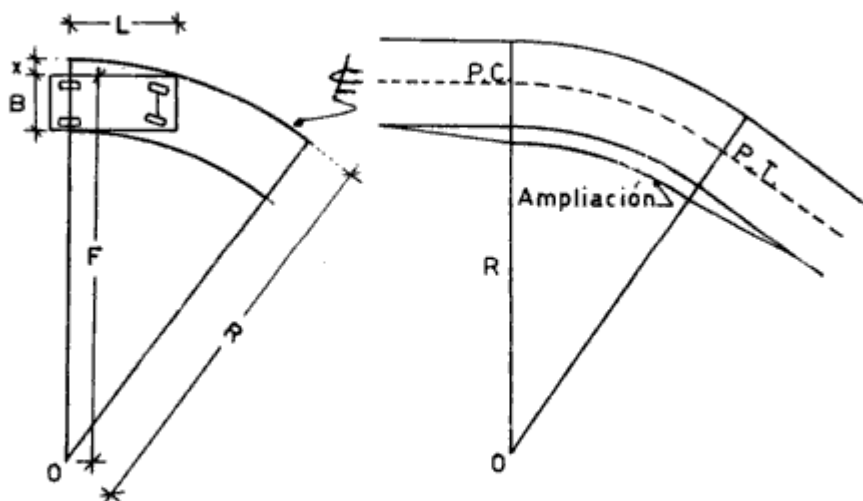
$$L_c = (0.56) (2.5) (V) = 1.4 V$$

AMPLIACIÓN

En virtud de que el eje de las ruedas traseras de un vehículo que transita por el lado interior de una curva horizontal se mantiene en coincidencia con el radio de la misma, y por ser rígida la base del vehículo, las ruedas delanteras, al entrar en una curva, tienen que seguir una ruta que las acerca al centro del camino; y por otro lado, los vehículos que transitan por la parte exterior de la curva tienen que mantener las ruedas delanteras dentro del pavimento obligando a las traseras a recorrer una ruta que también las acerca más al centro de la carretera, y como se necesita mantener entre los vehículos claros iguales a los que existen en las tangentes, se precisa, entonces, la ampliación del pavimento en las curvas con relación al ancho en tangente.

Las curvas horizontales se amplían en una cantidad constante desde el P.C. hasta el P.T. y después disminuye hasta los extremos de las transiciones. Se hace siempre esta ampliación por el lado interior de la curva. Cuando las curvas son menores de 4° , ellas no se amplían. En la figura que sigue se representa un vehículo con un ancho B y con una distancia L desde su eje trasero hasta la línea delantera de la defensa tomando una curva de centro O .

Generalmente la distancia L se considera de seis metros.



De la figura anterior se tiene:

$$X = R - F$$

Pero también de la misma figura se tiene que:

$$F = \sqrt{(R^2 - L^2)}$$

Por lo tanto, el sobre ancho X , en metros, necesario para una vía será:

$$X = R - \sqrt{(R^2 - L^2)}$$

El sobre ancho para N vías será el valor anterior multiplicado por N . Al valor resultante, la A.A.S.H.T.O. (Asociación Americana de Funcionarios de Caminos y Transportes Públicos) recomienda se le agregue un término empírico, independiente del número de vías, cuyo valor es de $\frac{0.10 V}{\sqrt{R}}$, propuesto por Barnett, quedando la fórmula para el cálculo así:

$$X' = \left[R - \sqrt{(R^2 - L^2)} \right] N + \frac{0.10 V}{\sqrt{R}}$$

En las fórmulas anteriores, R está dado en metros, L en metros y V en kilómetros por hora quedando x' en metros.

También se puede calcular el sobre ancho de las curvas por la siguiente fórmula:

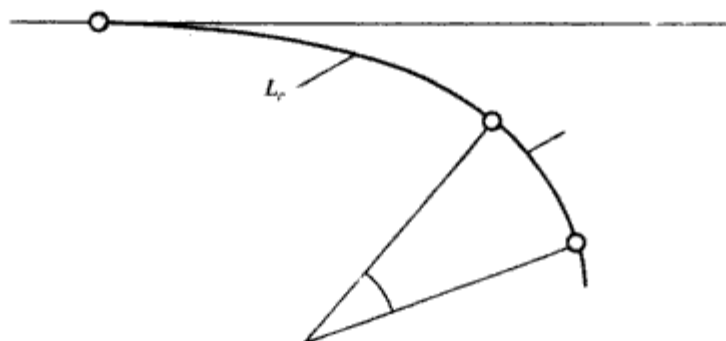
$$X' = \left[R - \sqrt{(R^2 - L^2)} + \frac{26.62}{R} \right] N$$

teniendo las letras el mismo significado ya indicado con anterioridad.

TRANSICIÓN

El trazo de un camino por líneas rectas y curvas circulares horizontales es admisible únicamente como una primera aproximación, ya que la discontinuidad de curvatura existente en el enlace de una tangente con la mencionada curva no puede ser aceptada en un trazo racional. Así pues, prácticamente, el recorrido de un vehículo, al pasar de una recta a una curva, debe ser efectuado por medio de una transición, o sea mediante una curvatura progresiva, es decir, aquella cuyo radio vaya poco a poco decreciendo del infinito en la unión *A* con la recta, al mínimo preciso, *R*, para poder evitar la sacudida del vehículo por adquirir de repente la relación centrífuga V^2 en la unión *B* con la curva, y cuya longitud *AB* sea igual a la

$\frac{R}{L_c}$
longitud L_c de la curva de transición.



Para proyectar un camino con características de seguridad su alineamiento debe ser tal que un conductor circulando a la velocidad de proyecto no únicamente pueda, con facilidad, mantener su vehículo en el carril por donde circula sino que también se sienta incitado a hacerlo de esa manera.

Para ello es necesario que se proyecten espirales de transición, o una curva equivalente, entre las tangentes y las curvas circulares como la clotoide o espiral de Euler que cumple con la condición de que el producto del radio (*R*) y la longitud (*L*) a cualquier punto es constante. Si la longitud de transición es " L_c " y se desea una variación constante de la fuerza centrífuga a lo largo de la espiral se tiene:

Variación por unidad de longitud = $\frac{V^2}{R \cdot L_c}$. En un punto cualquiera de la espiral situado a una distancia "L" del origen de la transición, la aceleración centrífuga en ese punto valdrá:

$$\frac{V^2 L}{R \cdot L_c}$$

Por otra parte, si la curvatura en el punto considerado es $\frac{1}{R}$, la aceleración centrífuga en ese mismo punto será igual a $\frac{V^2}{R}$, por lo tanto:

$$\frac{V^2 L}{R \cdot L_c} = \frac{V^2}{R}, \text{ de donde } R \cdot L = R \cdot L_c, \text{ pero } R \cdot L_c = K^2 \therefore R \cdot L = K^2, \text{ que es la}$$

ecuación de la clotoide.

Con curvas de transición proyectadas adecuadamente se proporciona al usuario del camino una trayectoria que puede seguir con facilidad, de tal manera que la fuerza centrífuga aumente y disminuya gradualmente conforme el vehículo entra y sale, respectivamente, de una curva circular, disminuyendo con ello la tendencia a invadir el carril adyacente.

Las curvas de transición también proporcionan un medio adecuado para efectuar gradualmente un cambio tanto en la sobreelevación como en la ampliación en las curvas, características geométricas de las que ya se ha tratado con anterioridad.

Puesto que la aceleración en el movimiento circular vale $\frac{V^2}{R}$ y es inversamente proporcional al radio de curvatura para una velocidad determinada, resulta que la transición ha de tener un radio de curvatura inversamente proporcional a su desarrollo desde el punto de partida. La curva que responde exactamente a esta premisa es una de tipo espiral. Parecida a ésta es la lemniscata de Bernoulli, curva en la cual la aceleración difiere ligeramente de la proporcionalidad citada a medida que aumenta la distancia desde donde arranca la curva. Otra de las curvas que podría emplearse como curva de transición es la parábola cúbica. Prácticamente, no existe ninguna diferencia entre estas tres curvas en pequeñas desviaciones, y por lo tanto, en vértices abiertos, lo mismo da que la transición sea espiral, lemniscata o parábola cúbica.

La longitud L_c de la curva de transición se determina de la manera siguiente:

El tiempo en el cual el vehículo recorre la longitud de transición L_c vale:

$$t = \frac{L_c}{V}$$

Ahora bien, como la aceleración normal pasa de un valor cero a un valor de $\frac{V^2}{R}$ en un tiempo t , el incremento de la misma por unidad de tiempo o sea el coeficiente de variación de la aceleración centrífuga será.

$$J = \frac{\frac{V^2}{R}}{t} = \frac{\frac{V^2}{R}}{\frac{L_c}{V}} = \frac{V^3}{L_c \cdot R}$$

Por lo tanto, la longitud L_c de la transición en función de J vale:

$$L_c = \frac{V^3}{J \cdot R}$$

La Estación de Ingeniería Experimental de Iowa, U.S.A., propone que el valor de J sea de 0.61 a 0.91 m/seg³, teniéndose bastante seguridad con el valor de 0.61 m/seg³, y con este valor la longitud de transición resulta de:

$$L_c = \frac{V^3}{0.61 R} = 1.64 \frac{V^3}{R}$$

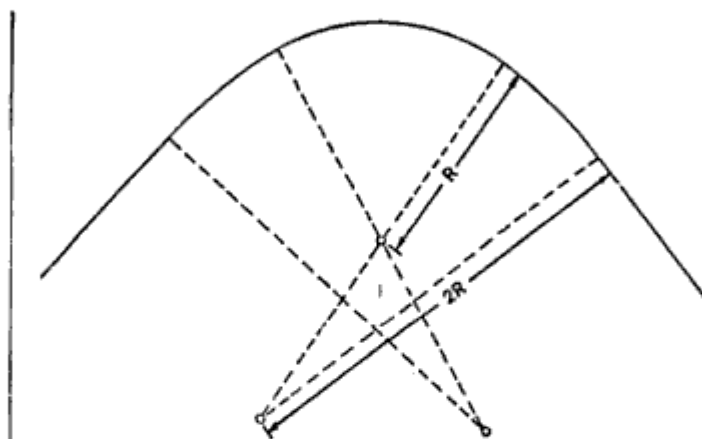
en la que V está dada en metros por segundo y R en metros.

Si se quiere emplear la expresión anterior usando la velocidad en km/hora se tendría que emplear así:

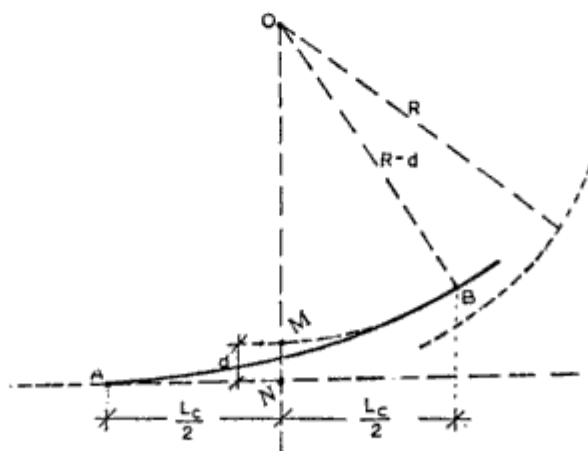
$$L_c = \frac{1.64 V^3}{(3.6)^3 R} = 0.0351 \frac{V^3}{R}$$

fórmula en la cual V está en km/hora, R en metros y L_c en metros.

Conocida ya la longitud de transición, el problema que se plantea es el de cuál de las curvas de transición conocidas debe emplearse. Ya se ha indicado con anterioridad, que, prácticamente, cualquiera de ellas puede ser usada sin dificultad. Sin embargo, una curva sencilla, que difiere poco de las progresivas ya conocidas, y que puede emplearse fácilmente es la parábola. Aún más, en caminos, es suficiente, en muchísimas ocasiones, unir el círculo de radio R a la tangente con otro círculo de radio $2R$, resultando un trazo que difiere poco de las progresivas conocidas.



En una gran cantidad de casos se puede simplificar grandemente la construcción de las curvas de transición mediante el procedimiento que sigue.



Calcúlense los valores de L_c y de d las fórmulas:

$$L_c = 0.0351 \frac{V^3}{R}$$

$$d = \frac{L_c^2}{24 R}$$

Luego trácese un círculo concéntrico al círculo primitivo de la curva, con $(R-d)$ como radio, y, además, llévase el valor de $\frac{L_c}{2}$ a cada lado de M como se indica en la figura, quedando de esa manera fijados inmediatamente los puntos A y B . Por último se traza la curva AB tangente en A a la recta y en B al círculo y pasando por el punto medio de MN . De esa manera queda dibujada la curva de transición sin muchos refinamientos que muchas veces no son necesarios.

PENDIENTE

La pendiente que debe dársele a un camino en sus diferentes tramos representa un problema que el ingeniero debe solucionar con mucho cuidado ya que pendientes bajas obligan a altos costos de construcción y pendientes altas influyen en el costo de transporte porque se disminuye la velocidad, aumenta el gasto de combustible por kilómetro y el desgaste de los vehículos, especialmente en los neumáticos. Por lo anterior, siempre hay que tener presente que es necesario una solución adecuada a cada caso especial, estudiado independientemente, ya que afecta grandemente a la economía de un proyecto. La pendiente que escoja para un camino debe estar en relación con la categoría del mismo, y como en dicha categoría influye la velocidad, se recomienda tener presente los límites siguientes:

PENDIENTES MÁXIMAS RECOMENDABLES				
TOPOGRAFÍA				
Tipo de camino	Plana o con poco lomerío	Con lomerío fuerte	Montañosa, pero poco escarpada	Montañosa pero muy escarpada
Tipo Especial	4%	4.5%	5%	5%
Tipo A	4%	5%	5.5%	6%
Tipo B	4.5%	5.5%	6%	6.5%
Tipo C	5%	6%	6.5%	7%

Las pendientes máximas se suelen establecer, generalmente, de acuerdo con la potencia de los vehículos que tendrán que circular por la vía. La Sociedad Americana de Ingenieros. Automovilistas recomienda la siguiente fórmula para calcular la pendiente máxima que puede *vencer un camión* de una potencia dada, circulando a una determinada velocidad:

$$i = \frac{0.15 \text{ CN}}{VP} - 1.5$$

en la cual:

V = Velocidad de traslación del camión en km/hora.

C = Cilindrada en centímetros cúbicos (número de pistones por el volumen de cada cilindro cuando el pistón está en su punto muerto inferior).

N = Velocidad de rotación del motor, en revoluciones por minuto (vueltas de cigüeñal).

P = Peso bruto del camión en kilogramos.

i = Pendiente del terreno en %.

El 1.5 representa una constante que resulta de suponer una resistencia media al rodamiento de 15 kg por tonelada de peso del vehículo.

Ahora bien, el hecho de que un camión ascienda una pendiente no significa que dicha pendiente deba aceptarse como conveniente ni económica. Si la pendiente es exagerada, limita la capacidad de tránsito del camino, malogra los vehículos produciéndoles un excesivo desgaste, limita las velocidades y hace que los costos de operación suban desproporcionadamente. Es necesario considerar, además, que los caminos no son siempre transitados por camiones y carros nuevos.

Se recomienda no emplear los máximos indicados en la tabla en trayectos continuos cuya longitud exceda de 500 metros, ya que si los tramos con pendiente límite son muy largos obligan a los vehículos a marchar mucho tiempo en primera o en segunda produciéndose un desgaste adicional, y si el tramo es bastante largo se calentará mucho la máquina y hervirá el agua del radiador haciendo que el rendimiento del motor baje. También se recomienda que antes o después de cualquier tramo de pendiente máxima se intercale un tramo con pendiente de 2% menor que la máxima y con longitud mínima de 300 metros.

Otro aspecto que es necesario tomar en cuenta al escoger la pendiente es la altura de la zona. En las alturas los motores de explosión pierden parte de su potencia debido al enrarecimiento del aire o sea a la menor cantidad

de oxígeno en el ambiente para alimentar los cilindros. Esa pérdida varía en razón inversa de la densidad del aire.

Para compensar esa pérdida se puede dotar a los motores de supercargadores que inyectan la mezcla explosiva a presión como en los motores de aviación, o se puede efectuar compensando las pendientes con las alturas. En la práctica se emplea un método que consiste en reducir 0.5% la pendiente máxima a partir de los mil metros por cada mil metros de ascenso.

Las curvas horizontales, en especial las de radio pequeño, ofrecen cierta resistencia al movimiento los vehículos que los obliga a desarrollar un exceso de potencia equivalente a la necesaria para vencer un aumento de pendiente en la rasante. Por ello es necesario compensar esa resistencia disminuyendo proporcionalmente la pendiente en todo el desarrollo de la curva. La compensación mencionada se puede realizar mediante la fórmula:

$$D = \frac{38 i}{R}$$

en la cual:

D = Reducción de pendiente en %.

R = Radio de la curva en metros.

i = Pendiente en %.

En los caminos vecinales esta reducción suele hacerse con la fórmula:

$$D = \frac{80}{R}$$

VISIBILIDAD

Dotar de visibilidad a una carretera es otra de las tareas importantes a realizar, ya que, generalmente, los caminos están contruidos para velocidades muy inferiores a las corrientes en los vehículos modernos y de ahí que dichos caminos resulten muy peligrosos. Así, pues, es necesario que en las carreteras exista, tanto en planta como en perfil, la distancia de visibilidad adecuada para que el conductor del vehículo pueda ver delante de él a una distancia tal que permita tomar, con garantía, decisiones oportunas.

Todo automovilista precisa de dos distancias de visibilidades: la distancia de visibilidad para pasar y la distancia de visibilidad para parar.

La distancia para parar un vehículo ante un objeto que aparece intempestivamente en el camino se compone de dos factores: La distancia que recorre el vehículo desde el momento en que el conductor observa el obstáculo hasta que aplica los frenos, y la distancia de frenado propiamente dicho. Lo anterior lo podemos expresar así:

$$d_o = d' + d''$$

El valor de d' es:

$$d' = Vt$$

En cuanto al valor de d'' tenemos que por la ecuación de las fuerzas vivas, es decir, cuando se iguala la energía cinética del vehículo con el trabajo que realiza la fuerza de fricción para detenerlo, se tiene:

$$\frac{PV^2}{2g} = P.f.d''$$

ecuación de la cual obtenemos que el valor de d'' es:

$$d'' = \frac{V^2}{2fg}$$

por lo tanto, la distancia total para parar d_o vale:

$$d_o = Vt + \frac{V^2}{2fg}$$

en la cual:

d_o = Distancia total a nivel en metros.

V = Velocidad de proyecto en metros por segundo.

f = Coeficiente de fricción (varía de 0.2 a 0.9, recomendable 0.4).

t = Tiempo de percepción y reacción del conductor (1 a 2.5 seg.).

g = Aceleración de la gravedad en metros por segundo al cuadrado.

Cuando el camino en vez de ser a nivel tenga una pendiente determinada i , la fórmula a aplicar será:

$d_o = V.t + \frac{V^2}{2g(f \pm i)}$, ya que la ecuación de las fuerzas vivas es:

$$\frac{PV^2}{2g} = Pfd'' + Pfd'' = Pd''(f \pm i)$$

Si se quiere emplear la velocidad en kilómetros por hora y el tiempo t en segundos, para que la distancia de parada resulte en metros se tendrá, para terreno a nivel:

$$d_o = d' + d'' = \frac{V.t}{3.6} + \frac{V^2}{254 f}$$

y para terreno en pendiente:

$$d_o = d' + d'' = \frac{V.t}{3.6} + \frac{V^2}{254(f \pm i)}$$

La pendiente en estas fórmulas de distancias para parar debe ser usada en fracción decimal (3% = 0.03). Los signos de i serán: (+) subiendo y (-) bajando.

La distancia de visibilidad para pasar se refiere a la distancia necesaria para que un vehículo pueda pasar a otro u otros que marchan por el mismo carril a menor velocidad, sin peligro de chocar con los vehículos que puedan venir en dirección opuesta por la vía que eventualmente ocupará la maniobra. Al calcular la distancia de visibilidad para pasar en camino de dos vías, se hacen las siguientes suposiciones con respecto al comportamiento del conductor:

1. El vehículo que se rebasa va a una velocidad uniforme, menor que la de proyecto.
2. El vehículo que sobrepasa tiene que reducir su velocidad a la que lleva el vehículo que es rebasado mientras recorre la parte del camino donde la distancia de visibilidad no es segura para pasar.
3. Cuando se llega a la zona segura de sobrepaso, el conductor del vehículo que quiere sobrepasar requiere un corto período para examinar la situación y decidir si es seguro el sobrepaso o si no lo es. Ese período se llama de percepción y reacción y es, según la

A.A.S.H.T.O., de dos segundos para los conductores que viajan a 112 kilómetros por hora.

4. Si se ejecuta el sobrepaso, éste se logra acelerando durante la operación.
5. El tránsito por el carril opuesto aparece en el momento en que comienza la maniobra de sobrepaso y llega al lado del vehículo que sobrepasa precisamente cuando la maniobra es completada.

Estas suposiciones no abarcan todas las formas de sobrepaso posibles pero si permiten una determinación satisfactoria de la distancia de visibilidad que requiere dicha operación.

La forma de maniobra que se ha supuesto requiere por lo tanto la consideración de los tres elementos siguientes:

- a) Distancia d_1 recorrida durante el tiempo de percepción y reacción.
- b) Distancia d_2 recorrida por el vehículo que sobrepasa mientras realiza la operación de rebase.
- c) Distancia d_3 recorrida por el vehículo que circula en sentido opuesto durante la operación de sobrepaso.

Si se adopta un tiempo (t_1) de percepción y reacción de tres segundos y se supone que el vehículo que sobrepasa, el cual llevaba una velocidad de V kilómetros por hora (velocidad de proyecto) ha reducido su velocidad hasta igualar la que lleva el vehículo sobrepasado, y que ésta es de 15 km/hora inferior a la velocidad de proyecto, o generalizando, m kilómetros por hora menor, el vehículo que sobrepasa, durante los tres segundos de percepción y reacción ahora con una velocidad de $(V-m)$ kilómetros por hora, recorre la distancia d_1 en metros dada por la expresión:

$$d_1 = \left(\frac{V-m}{3.6} \right) t_1 = \left(\frac{V-m}{3.6} \right) 3 = 0.83 (V-m)$$

Se supone que esta distancia d_1 se recorre mientras el vehículo que sobrepasa se mantiene a una distancia S del que lo precede.

Se admite que esta distancia, en metros, se calcule así:

$$S = 0.189 (V-m) + 6$$

En esta expresión, V y m están dados en kilómetros por hora.

Cuando se ha completado la maniobra de sobrepaso, el vehículo que lleva más velocidad habrá recorrido una distancia de $2S$, con relación al

que lleva menor velocidad. Durante la maniobra el de mayor velocidad ha estado acelerando a razón de a km/hora/seg., por lo tanto el tiempo t_2 requerido, en segundos, viene dado por la expresión:

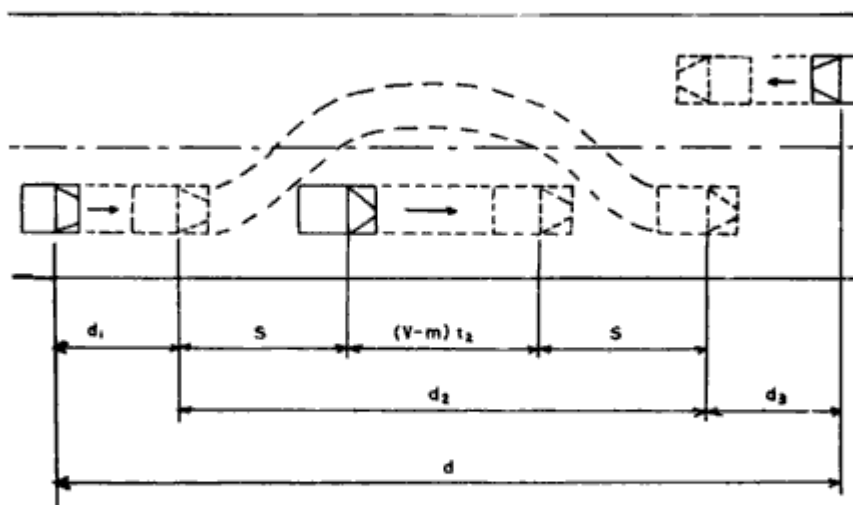
$$t_2 = \sqrt{\left(\frac{14,4 S}{a}\right)}$$

Así pues, la distancia total de sobrepaso d_2 será aquella que recorre el vehículo que pasa con respecto al sobrepasado más la distancia recorrida por este último en el mismo tiempo y vale:

$$d_2 = 2S + \frac{V-m}{3.6} \cdot t_2$$

Se ha supuesto que en el momento de iniciarse la maniobra de sobrepaso, aparece en sentido contrario un tercer vehículo circulando a la velocidad de proyecto V . Por lo tanto la distancia recorrida por este vehículo será:

$$d_3 = \frac{V}{3.6} \cdot t_2$$



De las expresiones anteriores se concluye que la distancia de visibilidad mínima para pasar a un vehículo viene dada por la expresión:

$$d = d_1 + d_2 + d_3 = \left(\frac{V-m}{3.6}\right) t_1 + 2S + \left(\frac{V-m}{3.6}\right) t_2 + \frac{V}{3.6} \cdot t_2$$

en la cual:

d = Distancia de visibilidad de paso en metros.

V = Velocidad de proyecto del camino en kilómetros por hora.

m = Diferencia de velocidades entre los dos vehículos, en kilómetros por hora.

S = Distancia mínima de seguridad en metros entre los dos vehículos.

t_1 = Tiempo de percepción y reacción para iniciar la maniobra, en segundos.

t_2 = Tiempo, en segundos, en el cual el vehículo que sobrepasa tarda en recorrer la distancia d_2 , mismo en el cual el vehículo del carril contrario tarda en recorrer la distancia d_3 .

Ahora, cuando un vehículo sobrepasa a otros dos en vez de a uno solo, deberá mantenerse acelerado mientras recorre la distancia d_2 durante el tiempo t_3 dado por la expresión.

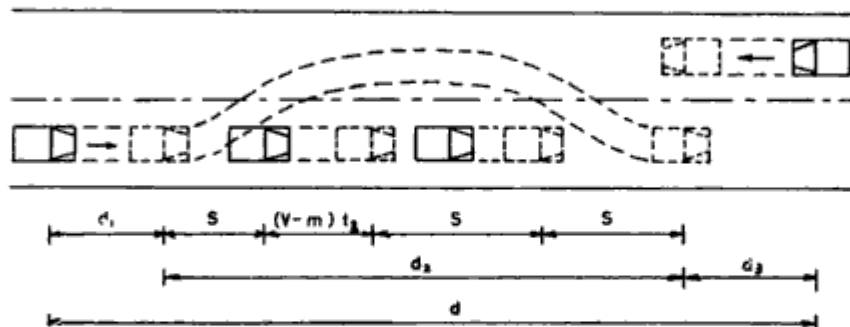
$$t_3 = \sqrt{\left(\frac{21.6}{a} S\right)}$$

de manera que la distancia de sobrepaso propiamente dicha será de:

$$d_2 = 3S + \frac{V-m}{3.6} t_3$$

$$\therefore d = d_1 + d_2 + d_3 = \left(\frac{V-m}{3.6}\right) t_1 + 3S + \frac{V-m}{3.6} t_3 + \frac{V}{3.6} t_3$$

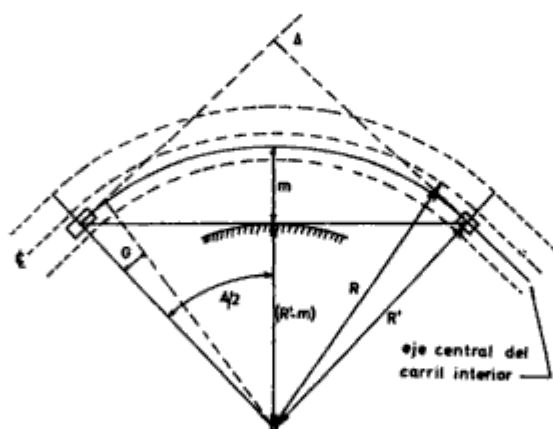
Para calcular los tiempos t_2 y t_3 es necesario conocer los valores de la aceleración a los cuales pueden determinarse experimentalmente. Además, se supone que el valor de la aceleración, mientras pasa un vehículo a otro, permanece constante.



Valores de la aceleración a para el sobrepaso de vehículos:

Velocidad de Proyecto en km/hora	Aceleración a en km/hora por segundo, para $m =$ diferencia entre V y la velocidad del vehículo sobrepasado:			
	15	24	32	40
Sobrepaso de un vehículo				
50	4.2	4.6	5.1	5.7
65	3.4	3.7	4.2	4.6
80	2.7	3.0	3.4	3.7
95	2.1	2.2	2.7	3.0
110	1.6	1.8	2.1	2.2
Sobrepaso de dos vehículos				
50	4.0	4.5	5.0	5.5
65	3.2	3.5	4.0	4.5
80	2.6	2.9	3.2	3.5
95	1.9	2.2	2.5	2.9
110	1.4	1.8	1.9	2.2

Por otro lado, cuando un vehículo recorre una curva horizontal circular, cualquier obstáculo que se encuentre cerca de la línea interna del camino impide la visibilidad al conductor y por lo tanto hace la curva peligrosa.



Lo anterior sucede comúnmente en los cortes, ya que el talud interior presenta un saliente que impide la visibilidad adecuada en la curva.

Cuando se tiene un camino de doble vía, se admite que dos vehículos que vengan en sentido contrario puedan estar colocados sobre la vía interior a la mitad de la misma. La distancia de visibilidad, medida a lo largo del arco, debe ser de $2 d_o$, siendo d_o la distancia de visibilidad de parada.

Por definición ya se sabe que el grado de curvatura G es el ángulo que subtiende un arco de 20 metros. Por lo tanto:

$$\frac{G}{20} = \frac{\Delta}{2 d_o} ; \Delta = \frac{G \cdot d_o}{10}, \text{ y } \frac{\Delta}{2} = \frac{G \cdot d_o}{20}$$

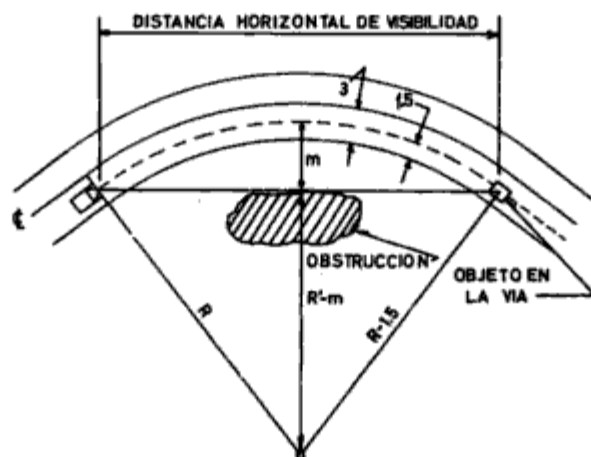
De la trigonometría se sabe que:

$$m = R' \left(\text{seno verso de } \frac{\Delta}{2} \right), \text{ y el}$$

$$\text{seno verso de } \frac{\Delta}{2} = 1 - \cos \frac{\Delta}{2}, \text{ por lo tanto:}$$

$$m = R' \left(1 - \cos \frac{G \cdot d_o}{20} \right)$$

El radio R' considerado en esta fórmula corresponde al eje central del carril interior de la curva. Se verá ahora el caso de un obstáculo sobre el mismo camino. (Figura que sigue.)



Ahora bien, la condición requerida para que un obstáculo en el suelo sea visto a la distancia d_o , es muy diferente a la que se necesita para que se vean dos vehículos a la distancia $2d_o$.

En el caso del objeto en la vía, la distancia horizontal d_h , necesaria puede calcularse con la fórmula del Departamento de Caminos de Arizona (E.U. de A.) cuya expresión es:

$$d_h = 2 \sqrt{(R - 1.50)^2 - (R' - m)^2} = 2 \sqrt{(R'')^2 - (R' - m)^2}$$

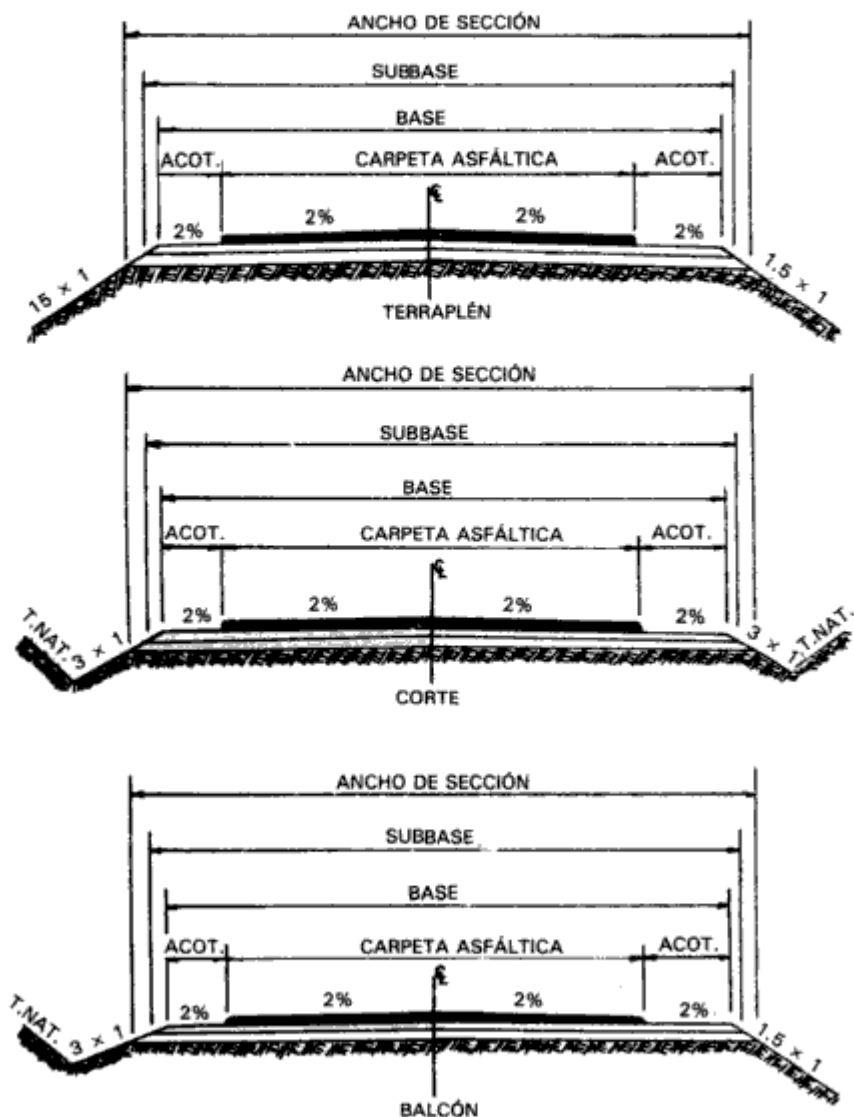
ANCHO DE SECCIÓN

El diseño de la sección transversal de un camino es un problema al cual hay que prestarle bastante atención ya que ello influye grandemente tanto en el costo de la obra como en su capacidad de tránsito. Una sección reducida será económica, pero su capacidad de tránsito será también reducida. Por otro lado, una amplia sección tendrá magnífica capacidad de tránsito, pero será costosa. De aquí que el proyecto deba coordinar ambas necesidades para encontrar la solución más conveniente, posiblemente proyectando con visión del futuro y con miras a construir lo que sea estrictamente necesario en el presente, pero dejando una manera fácil y económica para la ampliación futura.

El ancho de cada vía de circulación pavimentada en un camino depende de las dimensiones máximas de los vehículos que harán uso de ella así como de la velocidad de los mismos. A mayor velocidad mayor ancho de vía ya que los vehículos tratarán de separarse más del bordo de la carpeta asfáltica. El Departamento de Caminos Públicos de Washington, D.C., ha deducido, de muchas observaciones, que la distancia desde el centro de la rueda derecha al borde de la carpeta asfáltica es de 70 cm a 25 kilómetros por hora y de 1.0 m a 65 kilómetros por hora; así como también que en los caminos de dos vías de 6.0 m de ancho pavimentado son adecuados para tránsito ligero e inconveniente para un tránsito mixto moderno que aun con 6.70 m de ancho de pavimento (3.35 m por vía pavimentada) presenta condiciones peligrosas de tránsito. Las normas aconsejables para el ancho de vía pavimentada en caminos con menos de 200 vehículos por vía y por hora es de 3.35 m, y cuando se tengan más de 200 vehículos por vía y por hora, es aconsejable usar 3.66 m. por vía pavimentada. Para caminos vecinales es aconsejable el dar a cada vía pavimentada 3.05 m o sea un ancho total pavimentado de 6.10 m.

A los anchos totales anteriores es necesario agregarle los valores correspondientes a los acotamientos para dar así el ancho total de la sección del camino.

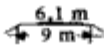
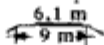
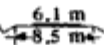

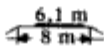
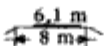
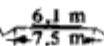





TIPOS DE SECCIONES EN LOS CAMINOS



Los *acotamientos* a los cuales también se les denomina *hombros*, son aquellas porciones del camino comprendidas entre el bordo de la vía exterior de tránsito y el borde interno de la cuneta o del talud según sea la sección en corte o en terraplén. Los acotamientos proporcionan un lugar para que los vehículos se estacionen cuando sufran algún desperfecto o por cualquier otra causa. Actualmente los acotamientos varían de 1.25 m a 3.05 m cada uno dependiendo ello del tipo de camino que se construya y de las condiciones económicas imperantes. Es aconsejable que los acotamientos vayan cubiertos o pavimentados hasta el riego de impregnación con el fin de proteger la vía y además para dar sensación de seguridad al conductor. Una sección transversal de camino de 3.66 m por vía de circulación pavimentada y de 1.84 m por cada acotamiento, se supone como condición perfecta. Una reducción en cualquiera de ellos reduce la capacidad del camino. El "Nivel de Servicio" de una carretera es un término que denota el número de condiciones de operación diferentes que pueden ocurrir en un carril o camino dados.

La extinta Secretaría de Obras Públicas de México aconseja se empleen las secciones siguientes en virtud de lo ya dicho con anterioridad, o sea que con excepción de una pequeña fracción (5%) de la longitud total de la red, en el resto la capacidad práctica de las carreteras es superior al tránsito actual. Sin embargo, es necesario que el proyectista considere muy cuidadosamente estas secciones transversales ya que pueden resultar muy angostas ante todo en caminos tipo "A".

SECCIONES TRANSVERSALES DEL CAMINO

TIPO DE CAMINO	TOPOGRAFÍA			
	Plana o con poco lomerío	Con lomerío fuerte	Montañosa, pero poco escarpada	Montañosa, pero muy escarpada
Tipo especial	Requiere estudio especial			
Tipo A				
Tipo B				
Tipo C				

DERECHO DE VÍA

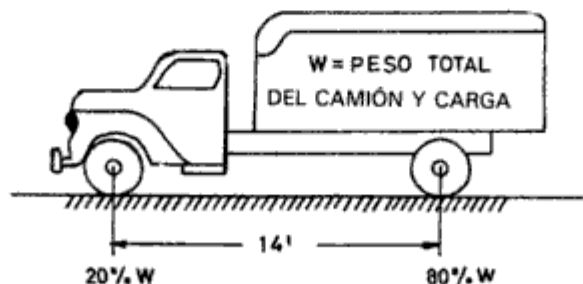
Se conoce como *Derecho de Vía* a la faja de terreno dentro de la cual se alojan una vía de comunicación y sus servicios auxiliares y cuya anchura mínima absoluta es de 25 m a cada lado del eje de la vía; ancho que puede ampliarse bien por las previsiones que determine el proyecto para fines inmediatos o futuros relacionados con la obra vial o bien por las necesidades que impongan condiciones topográficas, terraplenes altos, amplias zonas de préstamos, etcétera.

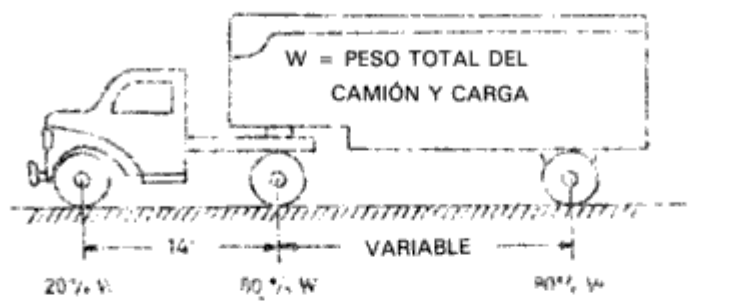
CARGAS DE PROYECTO

Las cargas de proyecto consideradas para el cálculo de las estructuras son: cargas muertas, cargas vivas, impacto, presión de viento, esfuerzos longitudinales de temperatura, etc. En nuestro estudio vamos a ver lo referente a cargas vivas.

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

Un camión de dos ejes es una carga H.A continuación de la letra se coloca un número (10, 15, 20) que indica el peso bruto en toneladas del sistema inglés (2000 lb.) del camión especificado como carga. Las cargas HS corresponden a un camión-tractor de dos ejes con un semi-remolque de un solo eje. Los números que se colocan a continuación de la H y de la S representan el peso bruto, en toneladas del sistema inglés, del tractor y del semirremolque, respectivamente. El 80% del peso bruto del camión o del camión-tractor cae en sus respectivos ejes posteriores. Al eje del semi-remolque se le supone siempre una carga igual a la del eje posterior del camión-tractor.





De acuerdo con lo anterior tenemos que un camión H_{20} es un camión de 40,000 lb de las cuales el 80%, o sean 32,000 lb., corresponden al eje trasero y 20%, o sean 8,000 lb., corresponden al eje delantero. De igual manera una carga $H_{20}S_{16}$ representa un camión tractor de 40,000 lb., con un semirremolque de 32,000 lb., En este caso la distribución por eje es de 32,000 lb para el eje trasero del tractor, 32,000 lb., para el eje del semirremolque y de 8,000 lb. para el eje delantero del tractor.

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

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

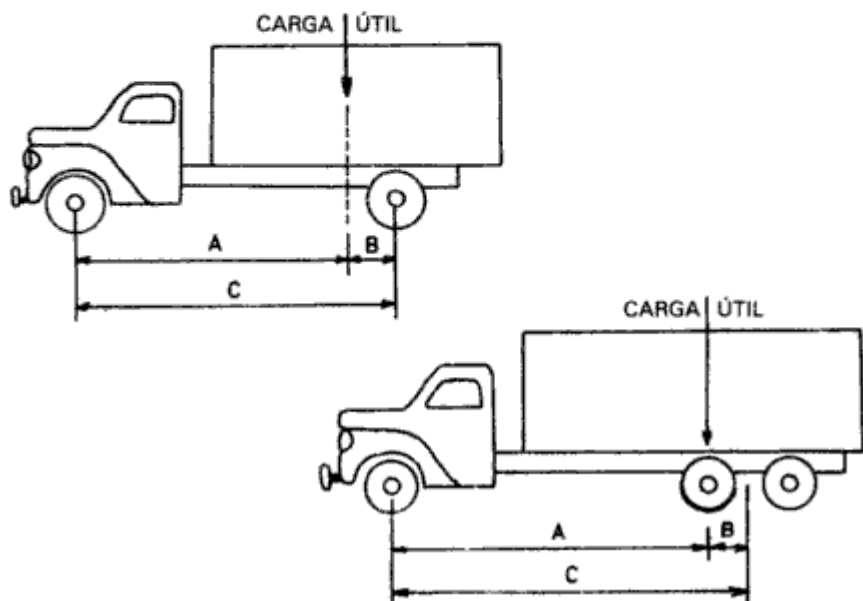
- El peso propio del camión vacío en cada eje.
- El peso de la carga útil.
- Distancia entre ejes y entre cada eje y el centro de la carga útil.

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

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

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

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



Peso del camión vacío

Eje delantero = 1,365 kg

Eje trasero = 2,270 kg

Carga útil = 2,730 kg

Distancia A = 432 cm

Distancia B = 48 cm

Distancia C = 480 cm

Carga útil sobre eje trasero:

$$\frac{432}{480} \times 2,730 = 2457 \text{ kg}$$

Carga útil sobre eje delantero:

$$\frac{48}{480} \times 2,730 = 273 \text{ kg}$$

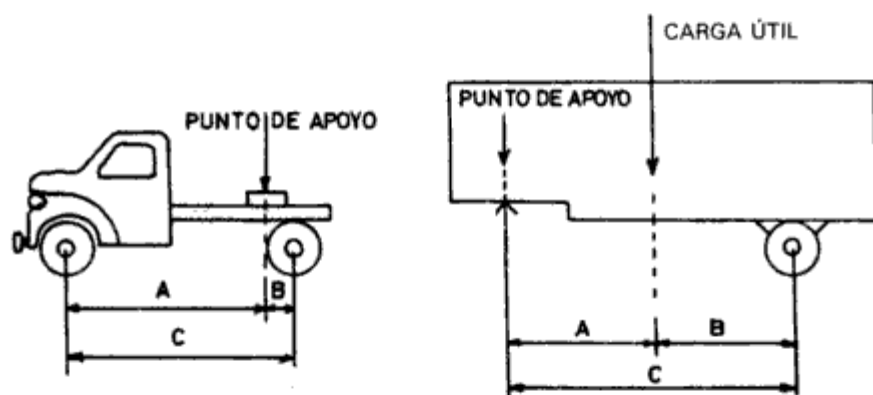
Peso total sobre el eje trasero:

$$2,270 + 2,457 = 4,727 \text{ kg}$$

Peso total sobre el eje delantero:

$$1,365 + 273 = 1,638 \text{ kg}$$

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



1. Cálculo de las cargas del semirremolque:

Peso en el eje del semirremolque vacío = 2,730 kg

Distancia A = B = 280 cm

C = 560 cm

Carga útil = 9,100 kg

La carga útil sobre el eje del semirremolque es:

$$\frac{280}{560} \times 9,100 = 4,550 \text{ kg}$$

El peso total sobre el eje del semirremolque es:

$$2,730 + 4,550 = 7,280 \text{ kg}$$

Ahora, como $A = B$, la carga útil sobre el punto de apoyo, o sea la carga útil sobre el camión-tractor será de 4,550 kg, ya que el peso del semirremolque vacío sobre el punto de apoyo va incluido en el peso vacío del eje trasero del camión-tractor.

2. Cálculo de las cargas en el camión-tractor:

Peso del camión-tractor vacío:

Eje delantero	=	2,270 kg
Eje trasero	=	3,180 kg
Carga útil calculada	=	4,550 kg
Distancia A	=	355.6 cm
Distancia B	=	50.8 cm
Distancia C	=	406.4 cm

La carga útil sobre el eje posterior es:

$$\frac{355.6}{406.4} \times 4,550 = 3,984 \text{ kg}$$

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

$$3,984 + 3,180 = 7,164 \text{ kg}$$

La carga útil sobre el eje delantero es:

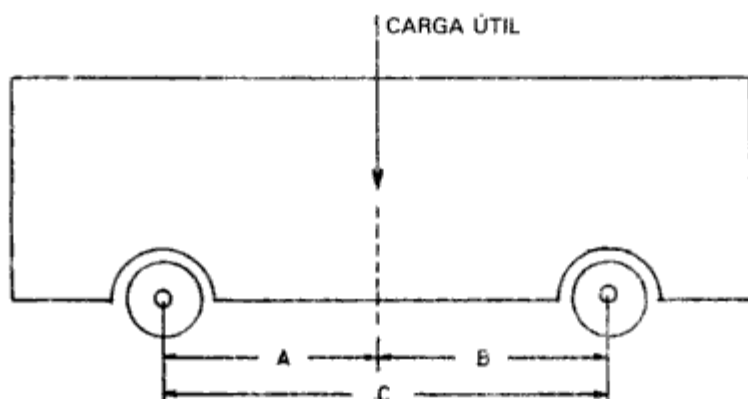
$$\frac{50.8}{406.4} \times 4,550 = 566 \text{ kg}$$

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

$$566 + 2,270 = 2,830 \text{ kg}$$

Se verá ahora el caso de un remolque.

Los remolques se calculan lo mismo que los camiones, estimándose que la carga útil gravita sobre el centro de los ejes del remolque.

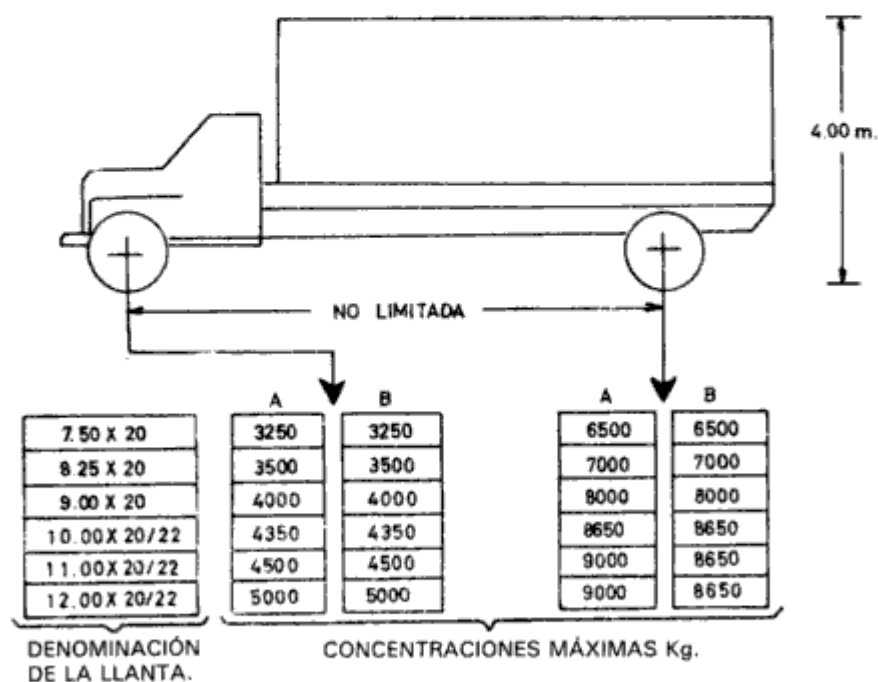
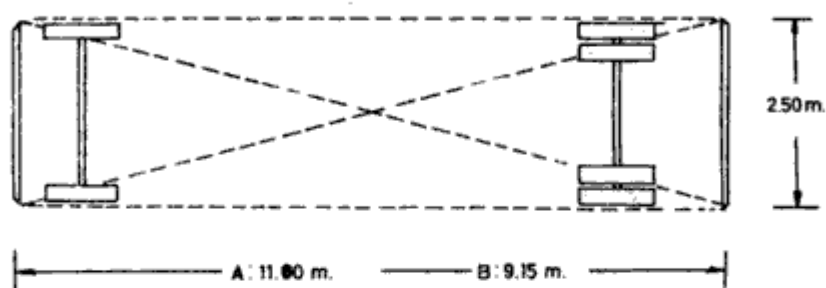


Los vagones de transporte de materiales en el movimiento de tierras se calculan de la misma forma que los remolques.

DIMENSIONES DE LOS VEHÍCULOS

En las figuras que siguen se presentan las dimensiones de los vehículos de carga tal como se limitan en nuestras carreteras.

Las dimensiones y cargas límites que se especifican a continuación dependen, como se puede observar, del tipo de camino (A,B, o C) de acuerdo a la clasificación técnica oficial. Esta clasificación ya ha sido explicada con anterioridad. Es importante que, con respecto al peso sobre el eje delantero se sigan las especificaciones de fábrica del vehículo, ya que en la práctica el peso permisible en el eje delantero puede ser mayor que el peso correspondiente al del límite de seguridad del vehículo.

VALORES PERMISIBLES PARA CAMIONES DE DOS EJES (C_2) EN CAMINOS "A" Y "B"

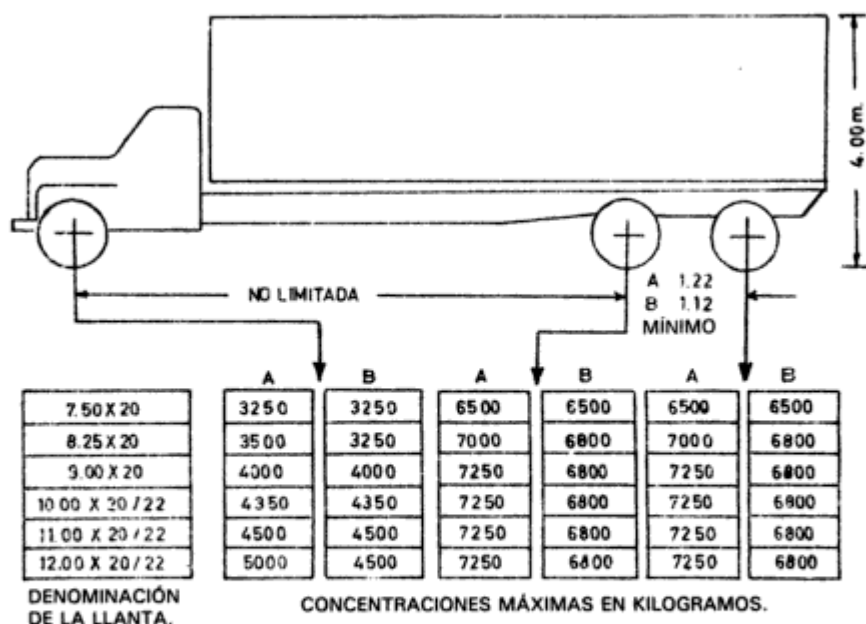
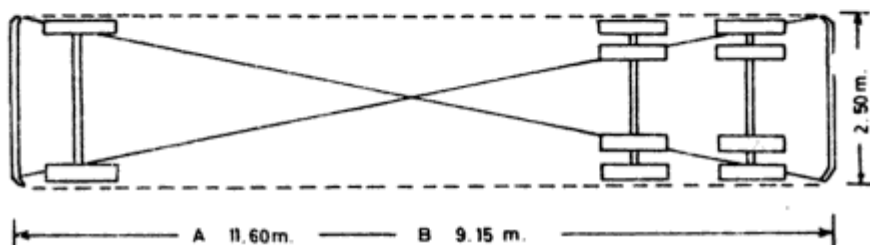
IMPORTANTE: SE RECOMIENDA OBSERVAR LAS ESPECIFICACIONES DE FÁBRICA YA QUE EN LA PRÁCTICA EL PESO PERMISIBLE EN EL EJE DELANTERO PUEDE EXCEDER EL LÍMITE DE SEGURIDAD DEL VEHÍCULO.

VALORES PERMISIBLES PARA CAMIONES DE TRES EJES (C₃)
EN CAMINOS "A" Y "B"

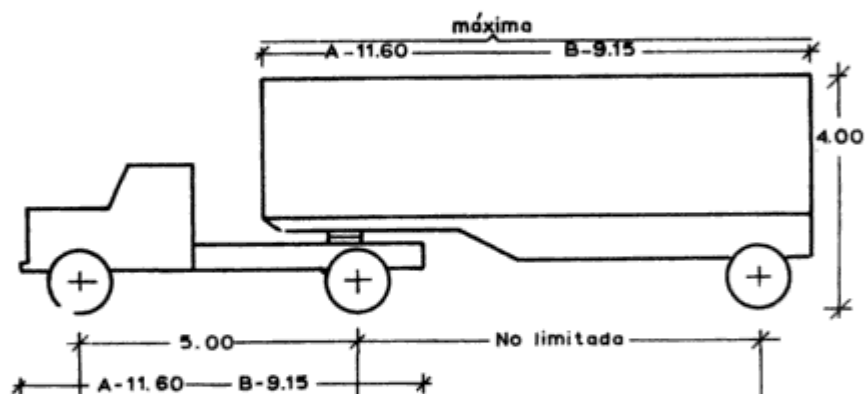
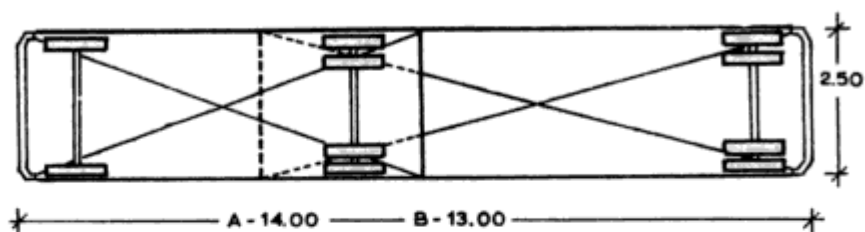
Carga útil máxima = peso bruto total permisible - peso propio del vehículo.

PB = peso bruto total permisible en función de la distancia L (en mts.)
entre los ejes extremos.

L	PB	L	PB	L	PB	L	PB
4.10	16270	4.70	17250	5.20	18065	5.70	18885
4.30	16595	4.80	17410	5.30	18230	5.80	19045
4.40	16760	4.90	17575	5.40	18395	5.90	19210
4.50	16920	5.00	17740	5.50	18555	6.00	19375
4.60	17085	5.10	17905	5.60	18720	6.10	19540



VALORES PERMISIBLES PARA TRACTORES DE DOS
EJES CON SEMIRREMOLQUE DE UN EJE (T-S) EN
CAMINOS "A" Y "B".



7.50x20
8.25x20
9.00x20
10.00x20/22
11.00x20/22
12.00x20/22

DENOMINACIÓN

A	B
3250	3250
3500	3500
4000	4000
4350	4350
4500	4500
5000	5000

A	B
6500	6500
7000	7000
8000	8000
8650	8650
9000	8650
9000	8650

A	B
6500	6500
7000	7000
8000	8000
8650	8650
9000	8650
9000	8650

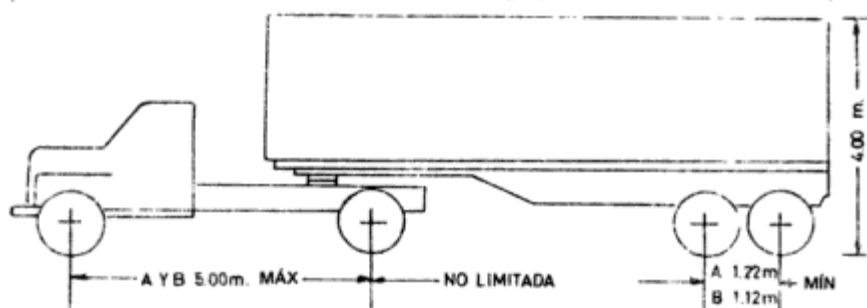
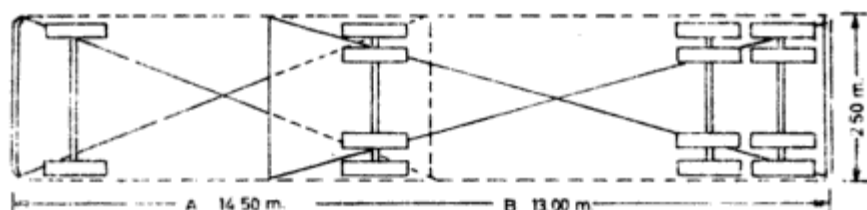
CONCENTRACIONES MÁXIMAS EN KILOGRAMOS EN CAMINOS "A"
Y "B"

VALORES PERMISIBLES PARA TRACTORES DE DOS EJES CON SEMIREMOLQUE DE DOS EJES (T_2S_2) EN CAMINOS "A" Y "B"

Carga útil máxima = peso bruto total permisible - peso propio del vehículo.

PB = peso bruto total permisible en función de la distancia L (en metros) entre los ejes extremos.

L	PB	L	PB	L	PB	L	PB	L	PB
7.80	22315	8.50	23460	9.20	24605	9.90	25750	10.60	26865
7.90	22480	8.60	23625	9.30	24770	10.00	25915	10.70	27070
8.00	22645	8.70	23790	9.40	24935	10.10	26080	10.80	27220
8.10	22810	8.80	23950	9.50	25095	10.20	26240	10.90	27385
8.20	22970	8.90	24115	9.60	25260	10.30	26405	11.00	27550
8.30	23135	9.00	24280	9.70	25425	10.40	26570	11.15	27795
8.40	23300	9.10	24445	9.80	25585	10.50	26730	11.35	28120



	A	B	A	B	A	B	A	B
7.50X20	3250	3250	6500	6500	6500	6500	6500	6500
8.25X20	3500	3500	7000	7000	7000	6800	7000	6800
9.00X20	4000	4000	8000	8000	7250	6800	7250	6800
10.00X20/22	4350	4350	8650	8650	7250	6800	7250	6800
11.00X20/22	4500	4500	9000	8650	7250	6800	7250	6800
12.00X20/22	5000	5000	9000	8650	7250	6800	7250	6800

DENOMINACIÓN DE LA LLANTA.

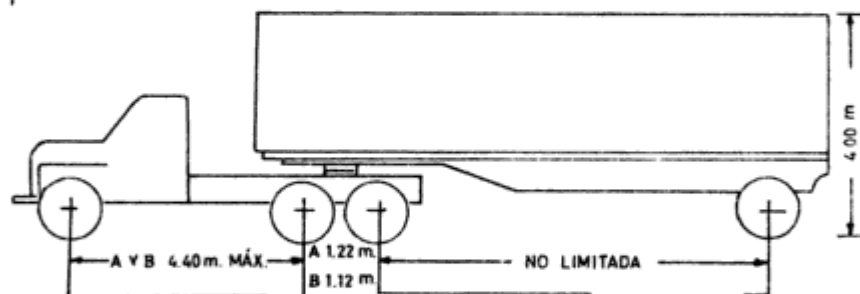
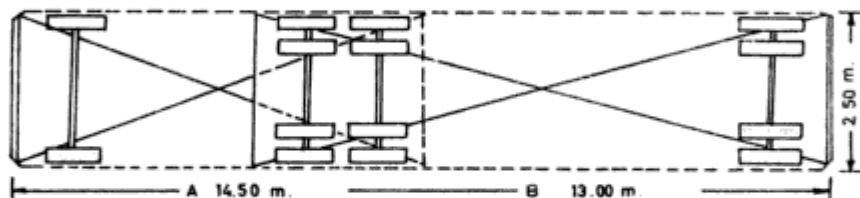
CONCENTRACIONES MÁXIMAS EN KILOGRAMOS.

VALORES PERMISIBLES PARA TRACTORES DE TRES EJES CON SEMI-REMOLQUE DE UN EJE (T_3-S_1) EN CAMINOS "A" Y "B"

Carga útil máxima = peso bruto total permisible - peso propio del vehículo.

PB = peso bruto total permisible en función de la distancia L (en m.) entre los ejes extremos.

L	PB	L	PB	L	PB	L	PB	L	PB
7.80	22315	8.50	23460	9.20	24605	9.90	25750	10.60	26895
7.90	22480	8.60	23625	9.30	24770	10.00	25915	10.70	27060
8.00	22645	8.70	23790	9.40	24935	10.10	26080	10.80	27220
8.10	22810	8.80	23950	9.50	25095	10.20	26240	10.90	27385
8.20	22970	8.90	24115	9.60	25260	10.30	26405	11.00	27550
8.30	23135	9.00	24280	9.70	25425	10.40	26570	11.15	27795
8.40	23300	9.10	24445	9.80	25585	10.50	26730	11.30	28120



	A	B	A	B	A	B	A	B
7.50 X 20	3250	3250	6500	6500	6500	6500	6500	6500
8.25 X 20	3500	3500	7000	6800	7000	6500	7000	7000
9.00 X 20	4000	4000	7250	5800	7250	6800	8000	8000
10.00 X 20/22	4350	4350	7250	6800	7250	6800	8650	8650
11.00 X 20 / 22	4500	4500	7250	6800	7250	6800	9000	8650
12.00 X 20/22	5000	5000	7250	6800	7250	6800	9000	8650

DENOMINACIÓN DE LA LLANTA.

CONCENTRACIONES MÁXIMAS EN KILOGRAMOS.

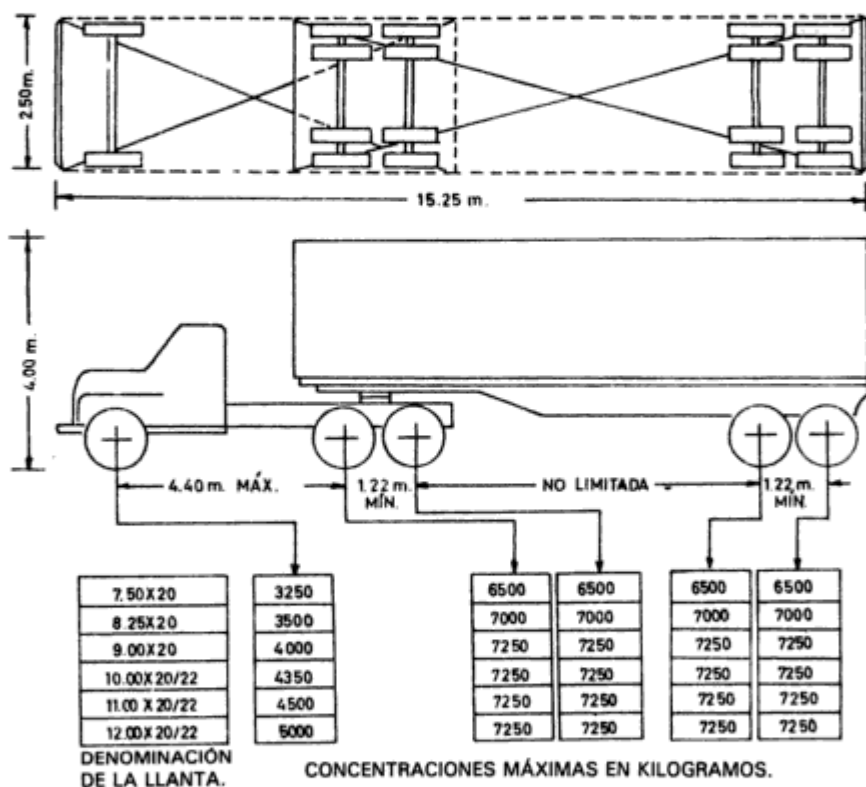
VALORES PERMISIBLES PARA TRACTORES DE TRES EJES CON SEMI-REMOLQUE DE EJES
(T₃-S₂)

Carga útil máxima = peso bruto total permisible - peso propio del vehículo

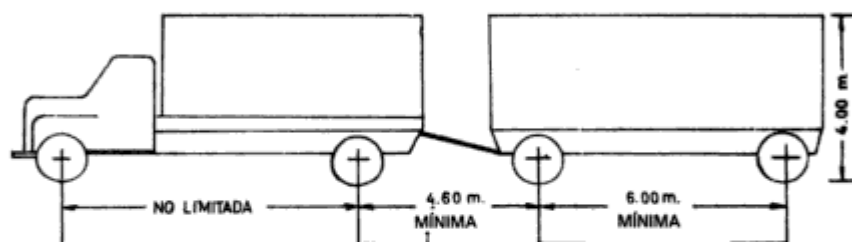
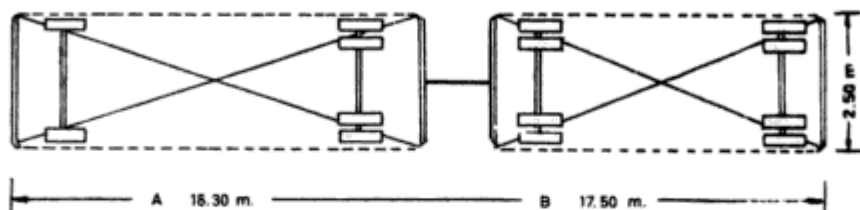
PB = peso bruto total permisible en función de la distancia L (en m.) entre los ejes extremos

L	PB	L	PB	L	PB	L	PB
11.25	27960	12.00	29185	12.80	30490	13.60	31800
11.45	28285	12.20	29510	13.00	30820	13.80	32125
11.60	28530	12.40	29840	13.20	31145	13.80	32125
11.80	28855	12.60	30165	13.40	31475	13.80	32125

ESTE VEHÍCULO NO SE PERMITE EN CAMINOS TIPO "B"



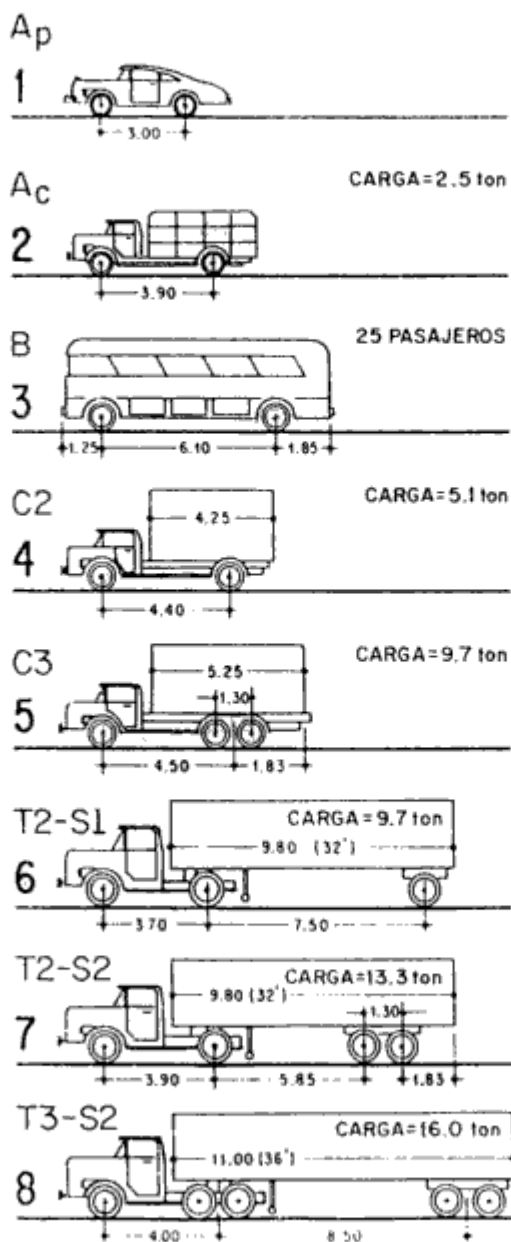
VALORES PERMISIBLES PARA CAMIONES DE DOS EJES CON
REMOLQUE DE DOS EJES ($C_2 R_2$) EN CAMINOS 'A' Y 'B'



	A		B		A		B		A		B		A		B	
7.50 X 20	3250	3250	6500	6500	6500	6500	6500	6500	6500	6500	6500	6500	6500	6500	6500	6500
8.25 X 20	3500	3500	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000
9.00 X 20	4000	4000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000
10.00 X 20/22	4350	4350	8650	8650	8650	8650	8650	8650	8650	8650	8650	8650	8650	8650	8650	8650
11.00 X 20/22	4500	4500	9000	9000	9000	9000	9000	9000	9000	9000	9000	9000	9000	9000	9000	9000
12.00 X 20/22	5000	5000	9000	8650	9000	8650	9000	8650	9000	8650	9000	8650	9000	8650	9000	8650

DENOMINACION
DE LA LLANTA

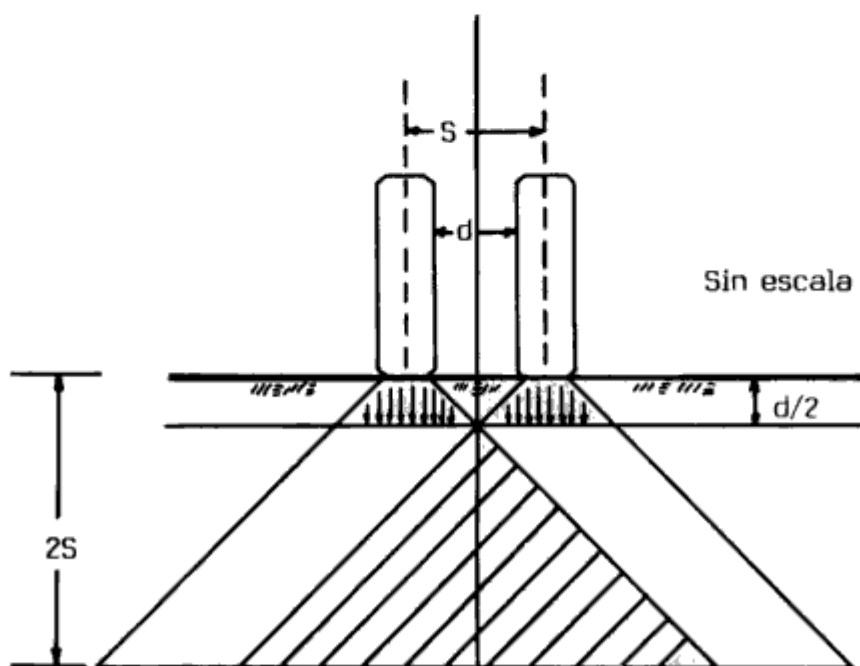
CONCENTRACIONES MÁXIMAS EN KILOGRAMOS.



VEHICULOS DE PROYECTO DE LA SCT

CARGA POR RUEDA PARA DISEÑO

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



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

La deflexión bajo una rueda simple y la deflexión bajo un conjunto de ruedas duales vienen dadas por las expresiones que siguen, mismas que provienen de la ecuación de asentamiento dada por Boussinesq para deflexiones al centro de un plato flexible: $\Delta = \frac{p \cdot a}{E} F$, en la que

$F = 3/2 \frac{1}{[1 + (z/a)^2]^{1/2}}$, que vale 1.5 cuando la carga está colocada en la su-

perficie, o sea cuando $Z = 0$, pues " F " depende de la relación $\frac{Z}{a}$. De acuer-

do con la ecuación anterior, para una presión por rueda constante, la defle-

xión bajo una rueda simple es de: $\Delta_1 = \frac{pa_1}{E} F_1$, y para ruedas duales vale

$\Delta_2 = \frac{pa_2}{E} (F'_1 + F'_2)$. En todas estas expresiones:

p = presión de la llanta.

a_1 = radio de contacto de la rueda simple.

a_2 = radio de contacto para cada llanta de un set de ruedas duales.

F_1 = factor de asentamiento para rueda simple.

F'_1 = factor de asentamiento contribuido por una llanta de las duales.

F'_2 = factor de asentamiento contribuido por la otra llanta de las duales.

E = módulo de elasticidad del suelo.

Empleando el criterio de iguales deflexiones, se tiene:

$$\frac{pa_1}{E} F_1 = \frac{pa_2}{E} (F'_1 + F'_2)$$

Reemplazando en la ecuación anterior los valores:

$$\frac{pa_1}{E} = \sqrt{P_1} \text{ y } \frac{pa_2}{E} = \sqrt{P_2}$$

se tiene:

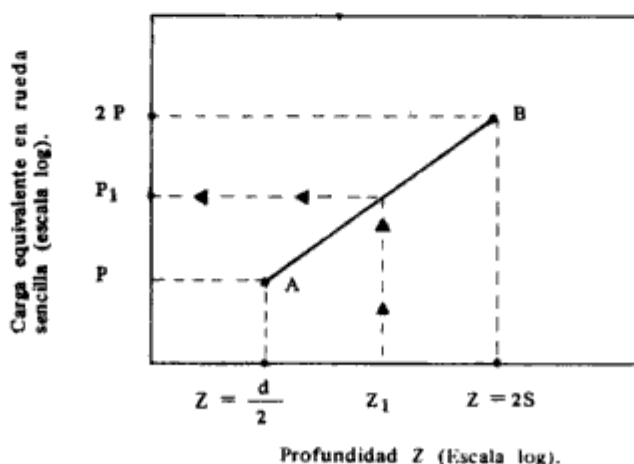
$$\sqrt{P_1} \cdot F_1 = \sqrt{P_2} (F'_1 + F'_2)$$

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

Si se desea convertir un set de ruedas duales a una carga equivalente de rueda sencilla empleando el criterio de deflexiones, se tiene que se conoce el valor P_2 sobre cada rueda dual, se buscan en una gráfica los valores máximos de F'_1 y F'_2 y se determinan los valores de P_1 y F_1 de tal manera que el producto $\sqrt{P_1} \cdot F_1$ sea igual a $\sqrt{P_2} (F'_1 + F'_2)$.

Basados en el trabajo realizado por el cuerpo de Ingenieros del Ejército Americano, Boyd y Foster presentan un método gráfico para determinar la carga equivalente por rueda.

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



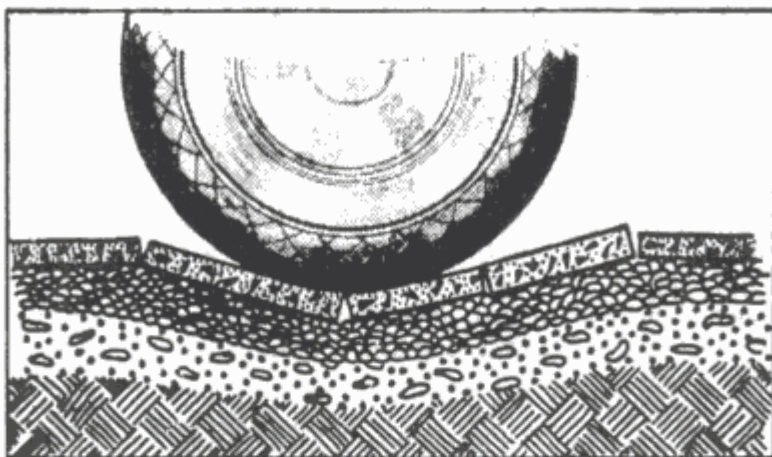
Se grafica el espesor del pavimentado en la escala horizontal y se dibuja el punto de coordenadas $(P, d/2)$. De igual modo, a la profundidad de $2S$ y con una carga por rueda de $2P$ el punto representa la profundidad al cual los efectos de los esfuerzos traslapados son despreciables. Una línea recta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

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

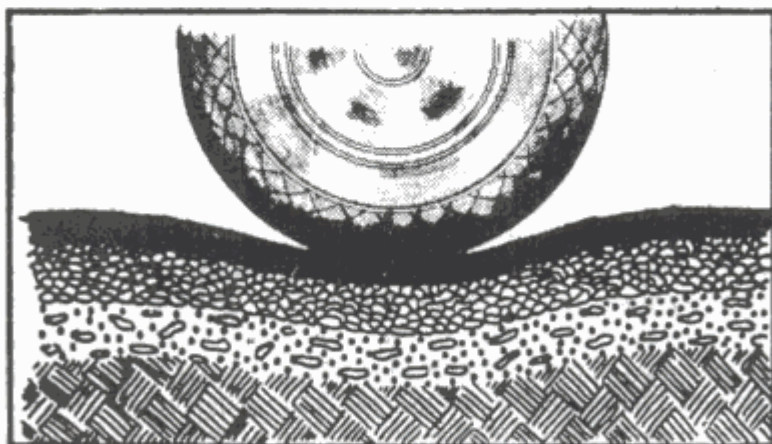
- a) Suponga un espesor aproximado del pavimento
- b) Determine la carga simple equivalente con el gráfico de Boyd y Foster
- c) Determine el espesor del pavimento empleando el valor determinado de la carga por rueda simple
- d) Compruebe el espesor con el asumido. Repita el proceso

ESPESOR DEL PAVIMENTO

El espesor de los pavimentos del tipo flexible se puede determinar empleando diferentes métodos, sin embargo, en México se puede fijar según el valor relativo de soporte modificado (V.R.S.) del suelo que forma las terracerías ya compactadas al mínimo especificado. Para fijar este mínimo de compactación es necesario que las terracerías se estudien con mucho cuidado mediante la *Razón de Compactación* a fin de que en el campo se dé un peso volumétrico seco adecuado. Se aconseja el método de la *Razón de la Compactación* porque él permite calificar con bastante precisión el grado de compactación de una estructura de suelo y establecer concretamente los requisitos que deben cumplir los terraplenes, subbases y bases para comportarse con eficacia. Es necesario recordar que algunos materiales en especial las arcillas expansivas, si se les compacta en forma excesiva presentan cambios volumétricos mayores, y además, con el tiempo, pierden parte de su alta compactación. Más adelante, en el *Estudio de Estructuras* del capítulo de *Proyecto*, se explicará con detalle la forma de obtener el espesor del pavimento, tanto por el procedimiento de la S.O.P. como por el método del Instituto Americano del Asfalto y por el llamado método del "13 V" propuesto por el autor.



El pavimento de concreto hidráulico se rompe cuando la subrasante no está compactada correctamente. Cuando no hay soporte uniforme para la losa, el pavimento falla.



Cuando la estructura del pavimento y la terracería no están bien compactadas, aparecen fallas por asentamientos, que se agrandan a medida que la carga por rueda aumenta, en los pavimentos asfálticos.

CAPÍTULO II

ETAPAS DE UNA CARRETERA

En el estudio de una carretera es necesario distinguir varias etapas que a continuación se indican:

1. PLANEACIÓN	{ Estudios geográficos-físicos Estudios económicos-sociales Estudios políticos
2. PROYECTO	{ Estudios topográficos Estudios de mecánica de suelos Estudio de estructuras
3. CONSTRUCCIÓN	{ Dirección técnica Ejecución de la obra Control de mecánica de suelos
4. USO	{ Conservación Estudio de tránsito Estudio de mecánica de suelos Reconstrucción

II-1-PLANEACIÓN

La planeación consiste en agrupar, dentro del análisis técnico, de manera armónica y coordinada, todos los factores geográfico-físicos, económi-

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

Para dar una idea general de cómo se lleva a cabo la planeación de una red vial, se presentará en forma extractada la parte teórica del estudio de la región del Sudeste de la República Mexicana que, aunque fue efectuada hace mucho tiempo, la secuencia de su ejecución puede ser empleada en cualquier momento. El estudio fue llevado a cabo por la extinta Secretaría de Obras Públicas.

CONSIDERACIONES GEOGRÁFICO-FÍSICAS

El sureste del país tiene por límites a la Sierra Madre Oriental, el Golfo de México y el Mar Caribe; comprende a los Estados de Chiapas, Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo, aunque el primero no participa íntegramente en la zona considerada. En general puede hablarse de una extensa planicie que se orienta con rumbo suroeste-noreste, ya que las altitudes rara vez exceden de 300 metros. Ocupa una superficie de 17,800 kilómetros cuadrados en números redondos, lo que significa un 9% de la extensión total nacional. Sin embargo, y no obstante que la topografía es más o menos uniforme, claramente pueden advertirse distintas condiciones climáticas, meteorológicas, edafológicas, hidrológicas y de vegetación natural, consecuencia lógica de que el sureste se halle comprendido entre los paralelos 17°13' y 21° 45' de latitud norte, y entre los meridianos 86°45' y 95° 17' de longitud oeste, respecto al meridiano de Greenwich. De acuerdo pues, con las características físicas, se establecieron tres zonas diferentes. La primera marcada como zona #1, abarca Tabasco, el extremo occidental de Campeche y el Norte de Chiapas; son terrenos bajos del pleistoceno y reciente, con numerosas corrientes pluviales que dan lugar a grandes extensiones pantanosas; los suelos por lo tanto obedecen al proceso de gleización, poseyendo una gran cantidad de materia orgánica; esta característica, favorable a

primera vista para el desarrollo agrícola, no puede aprovecharse totalmente sin antes efectuar las adecuadas obras de drenaje. Clima y vegetación pertenecen al tipo tropical lluvioso; respecto al primero las temperaturas medias fluctúan entre 25° y 30° C, registrándose máximas de 38° y 40° C. Existen precipitaciones pluviales abundantes durante 120 a 150 días del año. La zona #2 cubre más del 40% del territorio sureste de la República; está formada por Campeche y el territorio de Quintana Roo, salvo sus porciones septentrionales. Tiene escasas corrientes superficiales que integran pequeñas cuencas interiores; la configuración plena de su superficie está cubierta por bosques tropicales y subtropicales, registrándose las mismas temperaturas que en la zona mencionada en primer término, aunque en este caso los días lluviosos sólo llegan a ser de 20 a 90 cada año. En virtud del débil intemperismo y la lluvia insuficiente, los suelos se deben más bien a condiciones características de la roca subyacente; sin embargo, ciertas regiones poseen suelos negros y de gley.

La zona #3 por último, se reconoce como una bien definida unidad regional desde el punto de vista fisiográfico; comprende a Yucatán y a los extremos norte de Campeche y Quintana Roo. Esta dilatada planicie de suelos calizos, y permeables carece, por última circunstancia mencionada, de corrientes superficiales. Registra muy pocas precipitaciones, clima tropical seco y temperaturas similares a las anotadas para las zonas números 1 y 2 ya mencionadas.

DETERMINACIÓN DE UNIDADES REGIONALES

La anterior, aunque breve investigación del medio físico, ha permitido delimitar zonas características, que sirven de punto de partida para iniciar, dentro de cada una de ellas, los análisis demográficos y económicos. Para llevar a cabo este estudio, fue necesario hacer coincidir los límites geográfico-físicos antes descritos, definiendo las tres zonas a las cuales se han llamado *Unidades Regionales*. Cada una de las Unidades Regionales se dividió en subzonas. Estas últimas se definieron empleando el mismo procedimiento adoptado para delimitar las Unidades Regionales. En esta forma, la consideración de todos los factores en el estudio (físico, humano, económico y político-administrativo) permite precisar zonas circunscritas dentro de las grandes unidades regionales. Una vez alcanzada esta finalidad, y habiendo sido ordenados y coordinados los diversos instrumentos de análisis el siguiente paso es la consideración de los aspectos sociales y económicos fundamentales.

ASPECTOS ECONÓMICOS Y SOCIALES

El sureste tiene 3,000,000 habitantes, esto es, cerca de un 5% respecto a la población total del país; no obstante, la zona realiza sólo un 3.1% del valor de la producción nacional. Ello se debe a que tiene muchas regiones casi despobladas, a más de que no han existido líneas de comunicación que impulsen el desarrollo de sus recursos naturales; en efecto, el sureste registra una densidad rural de 4.14 habitantes por kilómetro cuadrado, mientras que la cifra para el conjunto de México es casi equivalente al doble. La actividad productiva principal desde el punto de vista de su rendimiento monetario, es la Industria de Transformación; le siguen en importancia Agricultura y Ganadería. Sin embargo, la zona confronta una defectuosa estructura en su fuerza de trabajo; bajo este rubro aparece un 68% considerado como fuerza de trabajo agrícola, en tanto el relativo nacional es menor en diez unidades; parecida situación en los casos de comercio, transportes e industrias de la construcción; el número de habitantes rurales, en consecuencia, supera considerablemente al número de personas que viven en localidades urbanas. A las tres unidades regionales mencionadas se les llamará: Zonas A, B y C.

La zona A soporta un 57% de la población rural del sureste. Se caracteriza por una gran riqueza ganadera, pues realiza un 60% del valor de la producción pecuaria de las 3 grandes unidades regionales; en gran parte esta actividad hace que la zona participe en un 32% considerando el valor conjunto de la producción del sureste. Casi la misma trascendencia nacional tiene en cuanto al laboreo agrícola: cacao, café y caña de azúcar son cultivos característicos de Tabasco, norte de Chiapas y parte de Campeche, la humedad del suelo permite también plantaciones arroceras. La silvicultura se basa en la explotación de la caoba y variedades típicas del bosque húmedo-tropical. El centro petrolífero del sureste, en Matamoros, significa un renglón más para diversificar la economía regional. Otros tipos de producciones como el de la copra, surgen paulatinamente en la zona. Ganadería, combustibles, agricultura y pesca, en resumen, son las posibilidades que se abren para esta porción del territorio del sureste; podrán realizarse sobre bases más sólidas una vez que las comunicaciones faciliten una integración económica y social. Por otra parte, no obstante que la zona posee una de las más elevadas densidades del sureste, sólo tiene un núcleo urbano de verdadera importancia: Villahermosa. Como podrá advertirse más tarde, esta ciudad y Mérida constituyen las mayores concentraciones de población en todo el sureste; existen, claro está, otros tantos núcleos urbanos y suburbanos, pero dispersos y con escasa población.

La zona B ocupa el primer sitio por lo que hace a valores de producción, ya que en este aspecto supone un 56% de la actividad del sureste. El cultivo tradicional del henequén, originó un rápido desenvolvimiento agrícola y comercial, dando oportunidad al mismo tiempo, para el desarrollo demográfico. Actualmente Mérida tiene un 77% de la población urbana del sureste, la cual una vez experimentada las serias consecuencias del monocultivo, ha diversificado la estructura de su producción. Dentro de la misma estructura son las industrias de transformación quienes ocupan el lugar primordial (64.4%) en función de totales del sureste; siguen en importancia la pesca (32.1%), explotación forestal (12.5 %), ganadería (10%) y agricultura (8.7%).

La zona C que comprende la mayor parte de Campeche y Quintana Roo, muy poco poblada, tanto en el medio rural como en el urbano, tiene por tanto muy escasa significación actual en las actividades productivas del sureste, sólo el 11.9%. De la pesca obtiene hoy por hoy, los mayores rendimientos económicos; es considerable su explotación forestal (caoba, cedro, liquidámbar y numerosas especies tropicales). Las actividades agrícolas, ganaderas e industriales carecen de relevancia exceptuando, a iguales circunstancias, las que se llevan a cabo alrededor de los centros urbanos de Champotón, Ciudad del Carmen, Escárcega y Chetumal. Pero es quizá en esta zona, donde las perspectivas son más halagadoras, pues es muy grande su potencialidad económica silvícola, pesquera, y en general, respecto a todas las ramas de producción. Huelga decir que, no obstante estar hoy casi deshabitada, puede soportar una cantidad de población muy considerable. Las comunicaciones abrirán nuevas zonas productoras propiciando al mismo tiempo la inmigración y el incremento demográfico absoluto.

Hasta aquí se han expresado las más generales conclusiones resultantes del análisis de los aspectos sociales y económicos; sin embargo el trabajo tuvo que remitirse al estudio minucioso de circunscripciones geográficas más pequeñas. En la determinación de estas últimas fue necesario considerar los datos fundamentales, físicos, humanos, económicos y político-administrativos. La realidad político-administrativa, como ya se indicó con antelación, es indispensable para conocer ciertas jerarquías, procedimientos y jurisdicciones, que forzosamente influyen al intentar una planeación sistemática. Los principales centros de esta índole son: Mérida, Villahermosa y Campeche, respectivamente a más de Chetumal.

El sureste, además, incluye 153 municipios, de los cuales 105 pertenecen a Yucatán, 17 a Tabasco, 8 a Campeche y el resto a la porción de Chiapas,

que forma parte del sureste; Quintana Roo, está dividido en 4 departamentos. Todos estos elementos repitiendo, facilitaron distinguir 18 zonas diferentes que fueron analizadas y comparadas entre sí siguiendo el método que a continuación se describe.

MÉTODO DE ANÁLISIS PARA LA DETERMINACIÓN DE ZONAS VITALES

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

En cuanto a población se refiere, fue necesario considerar sus tendencias generales de crecimiento, su distribución en núcleos urbanos, suburbanos o rurales, su estructura ocupacional y su repartición sobre la superficie considerada; el cuadro total así obtenido se completó tratando los aspectos sanitario-asistenciales, mortalidad por enfermedades endémicas, alfabetización, educación y características habitacionales.

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

AGRICULTURA

Monto de la producción; rendimiento de cada cultivo por hectárea y por trabajador agrícola; índice de productividad o eficiencia de la tierra; irrigación; problemas edafológicos; superficie cosechada y superficie susceptible de abrirse al cultivo; mercado interno y externo de productos agrícolas; tendencia de la tierra; problemas, deficiencias y posibilidades.

GANADERÍA

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

SILVICULTURA

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

PESCA

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

MINERÍA

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

INDUSTRIA DE TRANSFORMACIÓN

Valor de la producción; industrias existentes; facilidades para una conveniente localización; eficiencia y rendimiento de las empresas establecidas; mercado y transportes; problemas y perspectivas.

ACTIVIDADES COMERCIALES

Estado actual y posibilidades de desenvolvimiento.

CRÉDITO Y HACIENDA

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

COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

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

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

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

ZONAS VITALES

Considerando en conjunto todos los factores hasta aquí someramente expuestos, que se reducen al análisis de la población, recursos, producción y consumo, se llega al conocimiento de zonas vitales, como aquellas que soportan una mayor actividad humana y económica. La más importante en este caso, se halla en Yucatán, y gravita sobre la ciudad de Mérida. Esta zona tiene una alta concentración urbana, el más elevado nivel de producción y actualmente las mejores comunicaciones. Estos elementos hacen de esta zona, un típico centro de distribución y consumo; aunque sus actividades agropecuarias sean bajas a causa del tipo de suelo y clima.

Una segunda zona vital se encuentra en el estado de Tabasco, en los municipios de Paraíso, Huimanguillo, Comalcalco, Cárdenas, Centla, Villahermosa, Teapa y Macuspana. La población en la zona es típicamente rural (57% de todo el sureste), aunque se encuentren numerosos centros urbanos. Tiene un porcentaje del valor de la producción considerable, especialmente agropecuario, pero sus comunicaciones superficiales son pocas y deficientes. El control de los ríos, principal problema de la zona, traerá como consecuencia la colonización; las vías de comunicación por su lado, permitirán un mayor empleo de la fuerza de trabajo y de la superficie hasta lograr el alto rendimiento que esta región puede proporcionar.

La tercera zona comprende el resto del sureste, vastas regiones deshabitadas, de bosques tropicales lluviosos, sin comunicaciones y de escasos centros urbanos. Un plan intensivo de colonización permitirá el beneficio de las inmensas riquezas potenciales de esta parte del sureste, sobre todo forestales y agropecuarias, que sin duda llegarán a influir decisivamente en la economía del país.

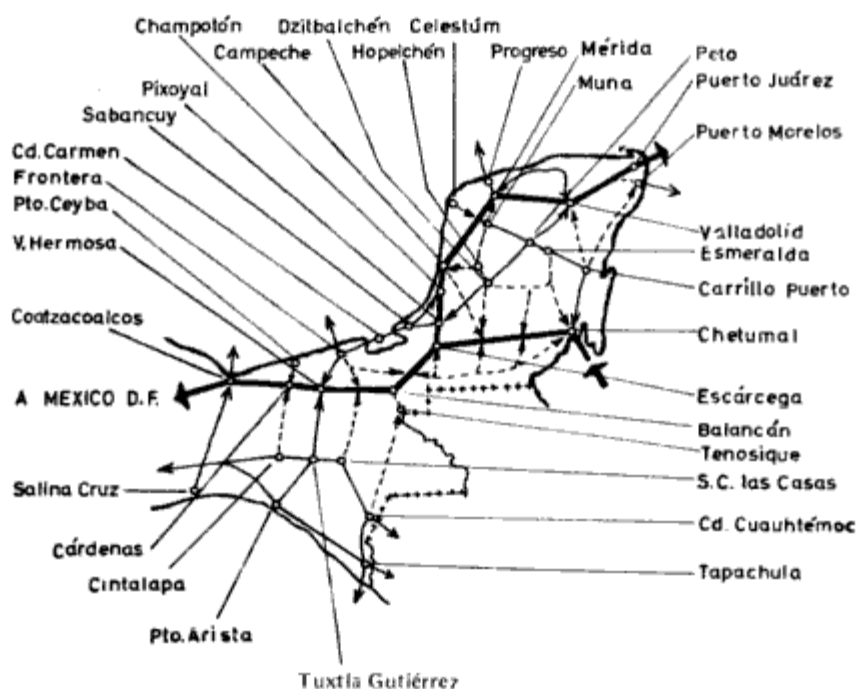
ESTUDIO PREVIO

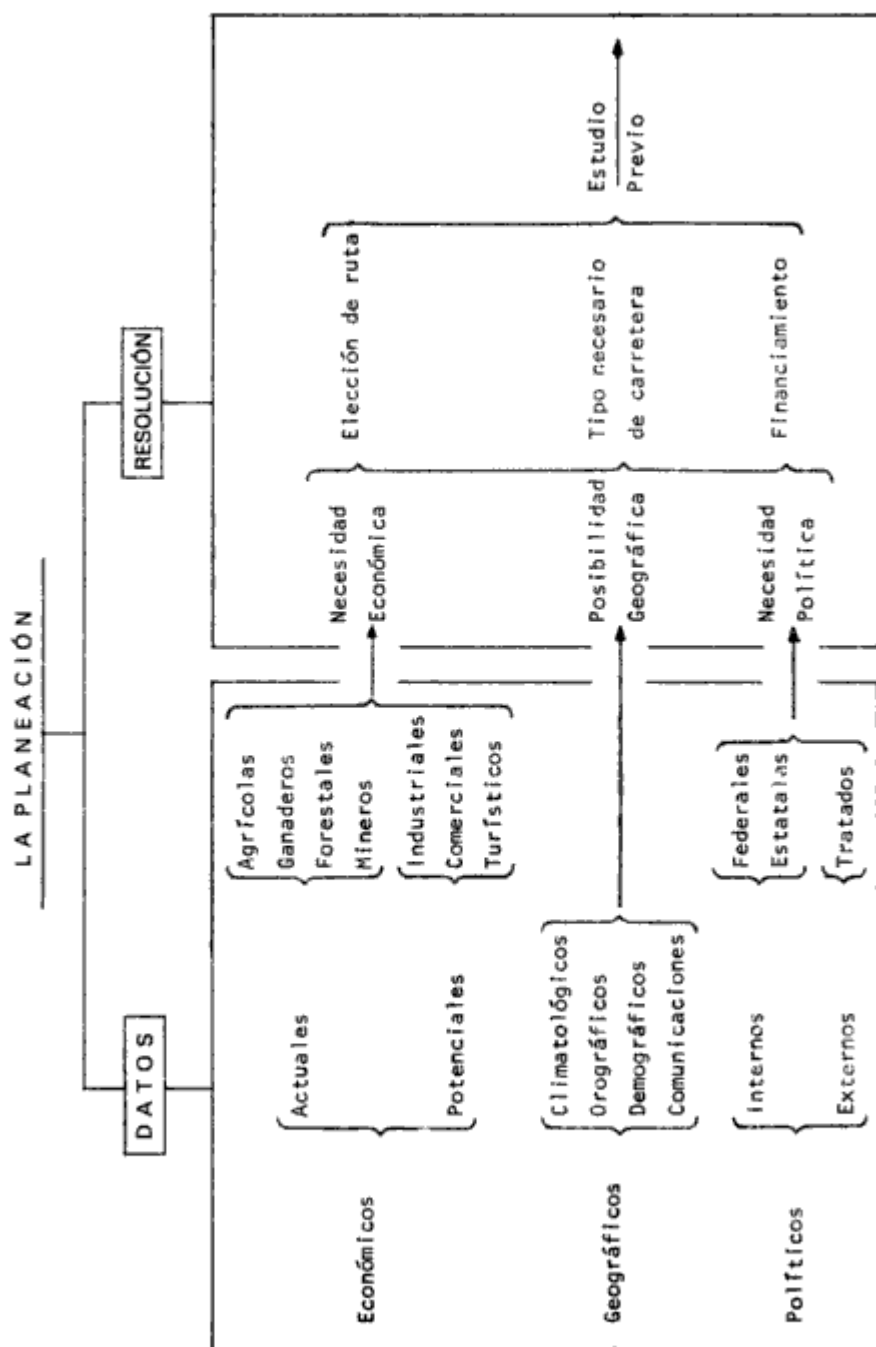
Desde el punto de vista de las comunicaciones, se advierte claramente, cómo la principal necesidad es la de establecer una liga que conecte al sureste con el resto del país.

Apoyándonos en la planificación nacional de la red vial primaria, fácil es deducir que el punto de partida debe ser la ciudad de Coatzacoalcos, y Mérida su destino, zona vital regional de primera importancia. Entre estos dos puntos, la línea de comunicación deberá atravesar las zonas vitales de mayor relevancia que en este caso son las de Cárdenas, Villahermosa, Emiliano Zapata, Escárcega y Campeche. Conviene prolongar este camino principal hacia la zona vital de Tizimín hasta

llegar al litoral. Por otra parte, del mismo Escárcega conviene dividir el trazo para alcanzar Chetumal, en el futuro, puerto principal de esa porción de la Península que tendría su radio de acción en el Mar Caribe.

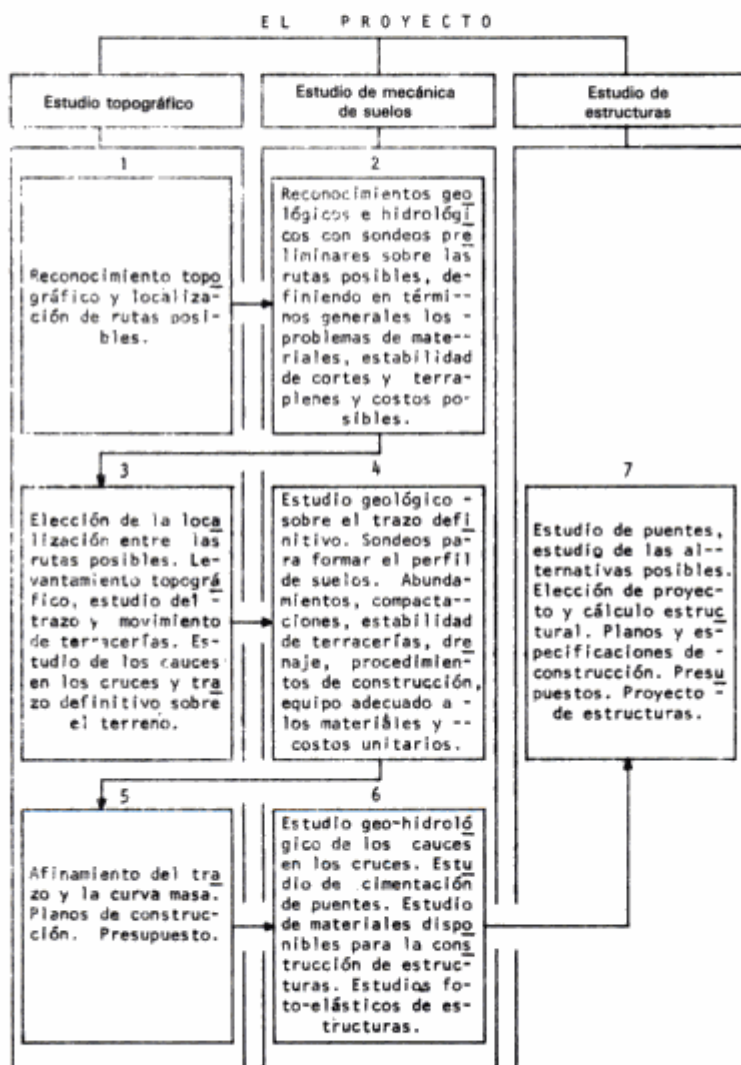
Con base en la planeación regional, la segunda liga de mayor trascendencia sería comunicar Tuxtla Gutiérrez, capital del Estado de Chiapas, con Villahermosa, llegando hasta el puerto de Álvaro Obregón (Frontera), y siguiendo el contorno de la costa, atravesar la zona vital de Ciudad del Carmen, uniéndose por último, con la línea principal antes descrita, en la Ciudad de Champotón. De la misma manera con fundamento esta vez, en las zonas vitales de segunda y tercera importancia, se proyectó el conjunto de la red vial del Sureste.





II-2. PROYECTO

Los datos y condiciones fijados por la Planeación y condensados en el cuadro anterior son la base y punto de partida del proyecto. Con los datos y especificaciones fijadas, el proyecto se realiza a través de las tres partes en las que se divide: Estudios Topográficos, Estudios de Mecánica de Suelos y Estudios de Estructuras, tal y como se muestra en el cuadro que sigue:



ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS. RECONOCIMIENTO

El objeto del reconocimiento es el de examinar una zona del relieve terrestre con el propósito de fijar los *puntos obligados*. Podemos decir que hay dos clases de puntos obligados: los topográficos o técnicos y los políticos o sociales.

Si al tener que salir de un valle no queremos subir demasiado para evitar el aumento de costos por movimientos de tierra, es necesario que pasemos por los puntos obligados topográficos denominados *puertos*.

Un *puerto topográfico* es un punto bajo de paso a través de una cordillera. Siendo los puertos los lugares más decisivos en la localización de una vía terrestre, es indispensable que el ingeniero trate de localizar en primer término, dichos pasos. El paso por los puertos ahorra en el desarrollo longitudinal de la vía, evita que se tengan pendientes muy fuertes y por lo tanto ahorra mucho en la construcción. Otro tipo de punto obligado técnico o topográfico es el cruce de un río y también un *talweg* (palabra alemana que significa camino del valle) por el lugar que, topográfica y geológicamente hablando, representa las mejores condiciones de paso. Un talweg es una línea que recoge las aguas que caen sobre dos vertientes o costados.

De los puntos obligados por razones políticas o sociales podemos indicar la cabecera de un distrito o un centro turístico. La existencia de una mina que representa mucha producción de minerales, viene siendo una razón económica que puede obligar al paso por ella. Claro está que la sola razón de centros importantes no quiere decir que a fuerza se tenga que tocar cada uno de ellos, pero sí se debe escoger el mejor trazo aunque no se toquen algunos de los centros ya indicados. Ya en la planeación se vio de qué manera deben escogerse los centros que es necesario unir para tener una vía eficaz y que efectivamente ayude a la economía de la región. Supóngase como caso el de la figura que se presenta más adelante.

Indudablemente que se tienen a la vista varias alternativas pasando por varios de los puntos obligados, pero es necesario estudiar, desde todos los puntos de vista, cuál es la solución más adecuada, y ahí es donde entra el criterio y la experiencia del ingeniero. Si de los puertos existentes hay uno que, además de ser el más bajo, proporciona una distancia menor con materiales de buena calidad en la zona, ni dudarlo, ese será el que debe escogerse.

El reconocimiento se lleva a cabo, en la generalidad de los casos, usando instrumentos portátiles, tales como brújula, aneroides, clisímetros, cuenta-pasos, etc. La forma de llevar a cabo el reconocimiento depende de las

condiciones de la región, pues unas veces será necesario hacerlo a pie, otras a caballo, en jeep, en avión o en helicóptero.

Una vez decidido cómo se va a hacer el reconocimiento, los datos que deberían tomarse, si se sigue el procedimiento convencional (actualmente se cuenta con el procedimiento fotogramétrico-electrónico) son: Altura de los puntos obligados para obtener la diferencia relativa entre ellos, cosa que se puede llevar a cabo con el aneróide. Distancias aproximadas entre los puntos obligados, haciendo uso del cuenta-pasos en los reconocimientos a pie, o empleando el marcador de distancias de los vehículos cuando sea con ellos la forma de ejecutar los reconocimientos. Pendientes aproximadas del terreno, dato que se obtiene de los anteriores ya que se conoce la diferencia de nivel entre dos puntos y su distancia horizontal. La pendiente será el cociente entre ambas cantidades si el terreno es uniforme.

Cuando el terreno no es uniforme, es decir que hay subidas y bajadas, entonces el clisímetro nos proporciona la pendiente. Para ello se manda a una persona a cierta distancia y con el clisímetro se dirige una visual a un punto del estado que de antemano se sabe tiene la misma altura del ojo del observador y así el clisímetro registra el ángulo que la visual forma con la horizontal, ángulo cuya tangente es igual a la pendiente.



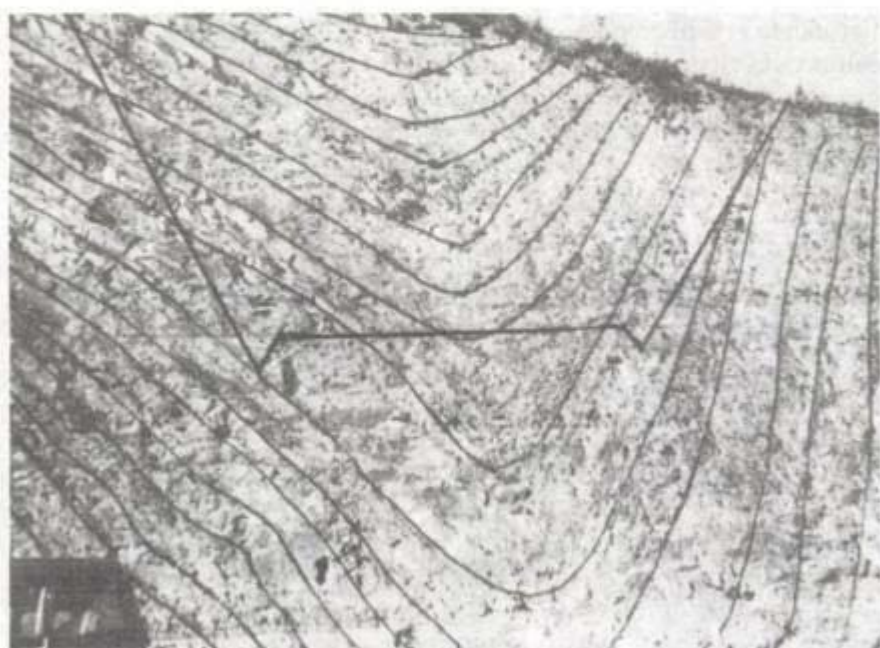
RUTA OBLIGADA A-C-D-B

TRAMO A-C	TRAMO C-D	TRAMO D-B
ALTERNATIVA I: Desarrollo: 28 km, Pendiente máx: 3.5%	Desarrollo: 29 km, Pendiente máx: 4%	ALTERNATIVA III: Desarrollo: 35 km, Pendiente máx: 4%
ALTERNATIVA II: Desarrollo: 25 km, Pendiente máx: 5%		ALTERNATIVA IV: Desarrollo: 37 km, Pendiente máx: 3.5%

Así, pues, con el reconocimiento se pueden obtener los datos generales para formar un croquis que complete los datos de las cartas geográficas y así hacer un plano aproximado de la región y los perfiles aproximados de las rutas probables.

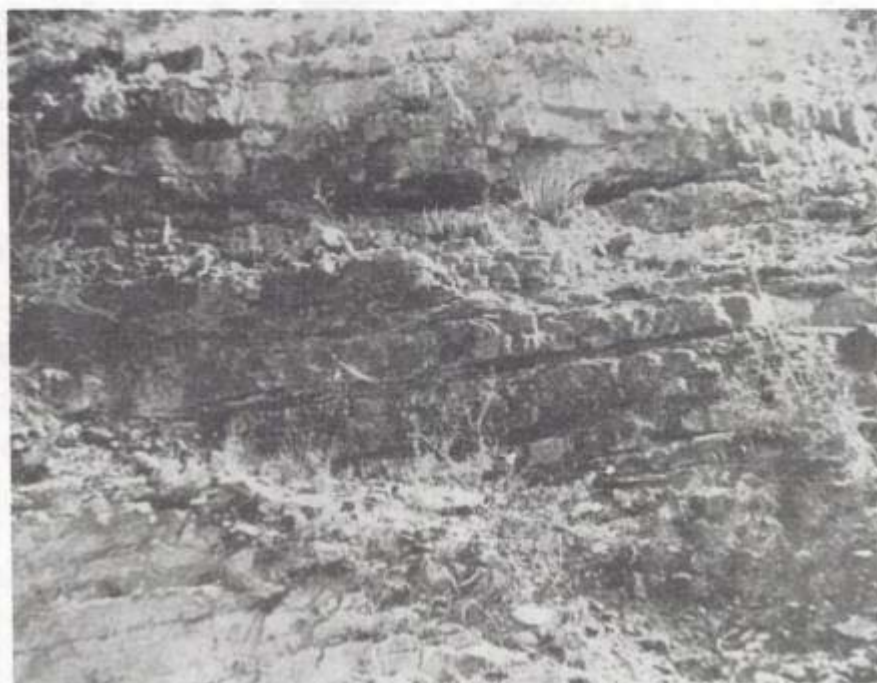
En el reconocimiento, el ingeniero anota todos los datos que crea son convenientes y que le van a servir posteriormente, tales como la estructura y composición de la estructura terrestre a través de reconocimientos superficiales, que permita, por ejemplo, predecir la inestabilidad de un corte en una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

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



Durante el reconocimiento el ingeniero puede darse cuenta de la presencia de filtraciones que provengan de corrientes subterráneas y que pueden dañar el camino construido, por exceso de humedad.

Inmediato al reconocimiento geológico viene la primera exploración para definir, aproximadamente, la constitución del suelo en aquellas partes en



que no se manifiesta por afloraciones superficiales. Para ello se barrena hasta la profundidad que puede ser afectada por la obra de terracería y las muestras se envasan en bolsas de lona y se transportan a un Laboratorio de Suelos para análisis.

El ingeniero que realiza el reconocimiento debe anotar las dificultades posibles en la construcción de puentes y alcantarillas, la carencia o la exis-



Señalando acuíferos



tencia de materiales pétreos para dichas obras, mano de obra en la localidad, etcétera.

Todo reconocimiento debe hacerse reflexiva y cuidadosamente, y por lo tanto, el ingeniero que lo lleve a cabo, debe ejecutar un trabajo que haga evidente la conveniencia de uno o dos de los posibles trazos, de acuerdo con la información que eleve.

Los reconocimientos aéreos pueden servir en tres formas diferentes para el trazo de un camino. Primero, para inspecciones aéreas del terreno, llevada a cabo por el Jefe de la Brigada, para formarse una idea completa y un concepto claro de las rutas posibles. Segundo, para la obtención de un mosaico aéreo-fotográfico, de la zona en que se prevee estará ubicada la ruta, y tercero, para obtener de las fotografías aéreas, con el empleo de proyectores modernos, mapas topográficos de sorprendente exactitud, que requieren únicamente, una pequeña verificación en el terreno.

El estudio de un camino por el procedimiento fotogramétrico electrónico se verá al terminar el estudio convencional el cual se está explicando primero.

TRAZO PRELIMINAR

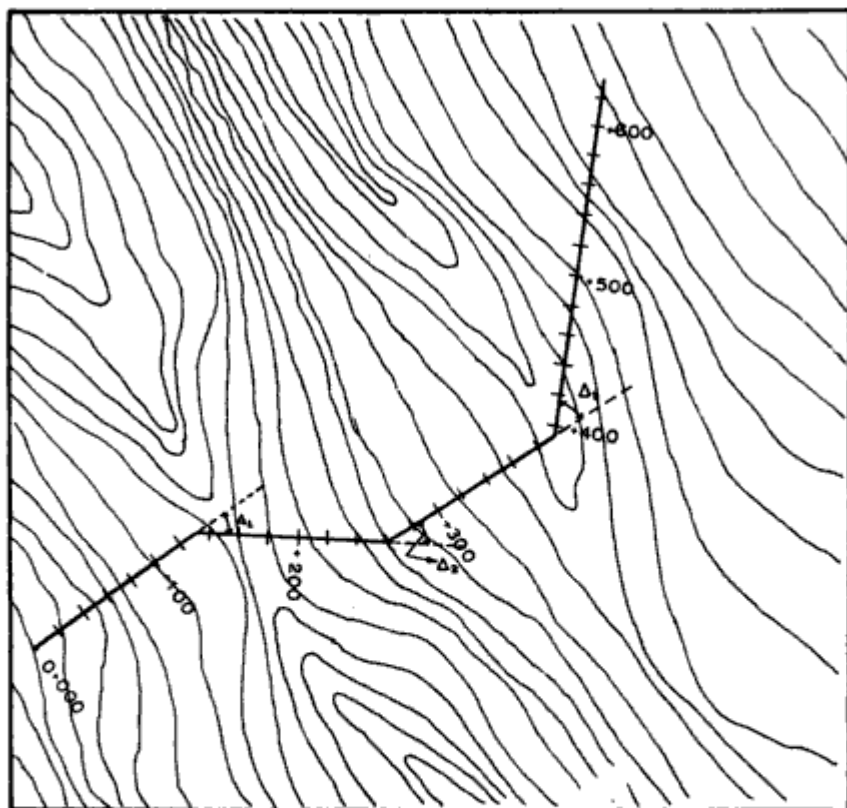
Una vez llevado a cabo el reconocimiento durante el cual se fijaron los puntos obligados y los intermedios que sean necesarios por la topografía, se lleva a cabo el trazo preliminar, que no es más que una poligonal abierta,

partiendo de un punto al que se le denomina Km 0 + 000, y se van clavando estacas a cada 20 metros y en aquellos lugares accidentados y puntos notables que lo ameriten hasta llegar al vértice que le sigue, continuando en esta forma a todo lo largo de la línea.

El trazo preliminar constituye la base para la selección definitiva del trazado y proporciona datos que sirven para preparar presupuestos preliminares de la obra. Debido a ello debe ser llevado a cabo de la mejor manera posible marcando todos los accidentes topográficos que de una manera u otra afecten al trazo definitivo.

La secuela a seguir para el trazo de la línea preliminar es la siguiente:

1. Escoja y marque su punto de partida.- Es conveniente se seleccione como punto de partida, si ello es posible, un cruce de carreteras o un puente que pueda ser fácilmente identificado. En caso de no exis-



tir ni el uno ni el otro, establezca su punto de partida y tome las referencias completas del mismo de tal manera que pueda ser encontrado varios años después si fuere necesario. Además, haga la descripción más completa posible del punto escogido como punto de partida de la ruta.

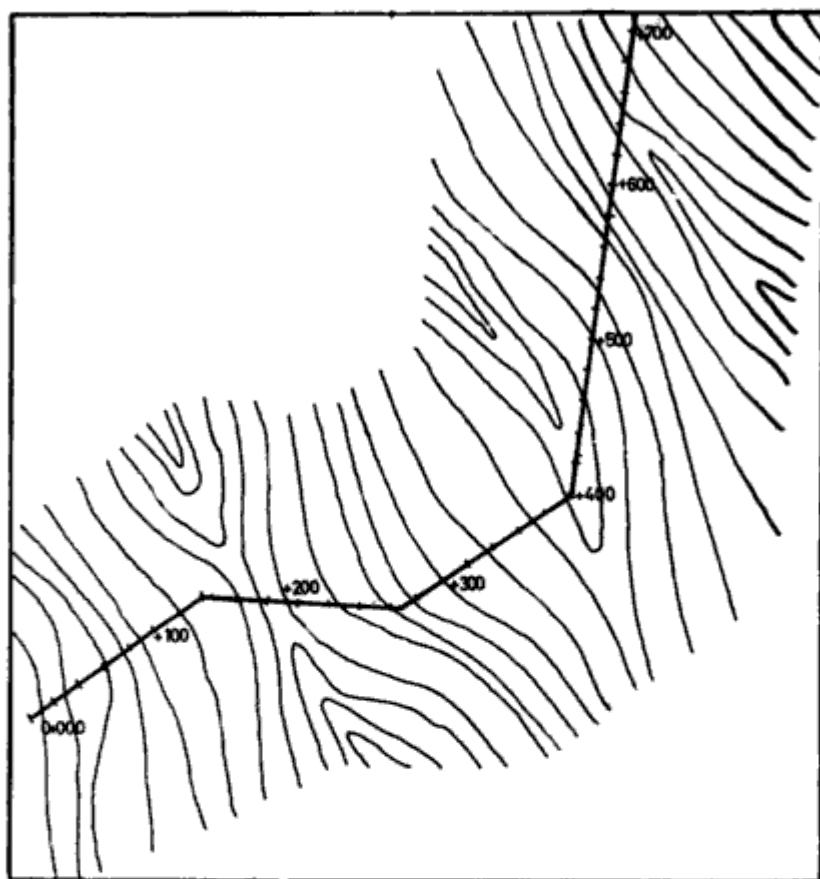
2. Establezca el azimut de la línea en el punto de partida.- Si no se cuenta con un monumento a una distancia de 5 km del comienzo de la línea, del cual se pudiesen obtener las latitudes del mismo para establecer su posición geográfica y su azimut inicial se deben tomar cinco observaciones solares usando el promedio de ellas como azimut inicial.
3. Determine la cota del punto de partida. Si no se cuenta con un banco de nivel dentro de los 5 km alrededor del punto de partida del cual se pueda correr una nivelación fije la cota de su punto de partida con un barómetro anerode.
4. Establezca su kilometraje. Si no se parte de un entronque de carretera o de punto de kilometraje conocido, asuma como kilometraje de su punto de partida el de 0 + 000.
5. Tome las siguientes precauciones:
 - a) Al trazar la línea preliminar no haga algún esfuerzo especial para obtener grandes tangentes, pero sí haga lo que pueda por mantener un buen avance en el trabajo y con el orden de precisión adecuado.
 - b) Coloque estacas a cada 20 metros y en todos los puntos intermedios necesarios debidos a quiebres fuertes del terreno.
 - c) No pierda el tiempo tratando de que dichas estacas estén precisa y exactamente en línea, ya que si la estaca se coloca dentro de los 5 cm con relación al alineamiento, es lo suficientemente exacto para los fines topográficos y no afectará en forma apreciable el cadeneo.
 - d) Evite o disminuya al mínimo el daño a los sembradíos, árboles frutales, etc., tratando de pasar el trazo paralelo a las hileras de lo sembrado y no en diagonal o en forma transversal al terreno.
 - e) Coloque mojoneras de concreto para marcar cada PI.
 - f) Haga una doble lectura por repetición en todos los ángulos del PI anotando tanto el ángulo simple como el doble en su libreta de campo. Todos los puntos intermedios sobre las tangentes deberán ser tomados dos veces, basculando el anteojo y luego girando 180° para la segunda lectura.
 - g) Haga observaciones solares a intervalos no mayores de 10 km, anotando las observaciones en la libreta de campo y corrigiendo los

azimutes para que se correspondan, luego de considerar tolerancias por convergencia de meridianos.

6. Haga y conserve buenas y legibles notas de campo.- En la libreta de campo deben registrarse las estaciones, los ángulos del PI según sean a la derecha o a la izquierda, el azimut verdadero y la declinación magnética de cada rumbo. Anote las distancias a corriente de agua, cercas, cruces de líneas de propiedad, caminos, vías férreas, etc. Registre los nombres de cada uno de los componentes de la brigada de campo, y haga un índice diario de sus anotaciones de campo.
7. Efectúe la nivelación del perfil de la línea preliminar. En esta línea deben obtenerse las cotas de todas las estacas colocadas a 20 m y de las intermedias con aproximación al centímetro. Es necesario, además, colocar bancos de nivel a distancias no mayores de medio kilómetro y en todos los puntos apropiados para la ubicación de puentes. Compruebe cada punto de cota conocida (banco de nivel) con respecto a la cota del banco anterior, mediante varios puntos de cambio. Si al verificar el circuito no se comprueba que esté dentro de los límites indicados, repita el trabajo hasta que esté dentro de dicha aproximación, máxime que dicha línea de bancos de nivel será empleada posteriormente para el trazo definitivo y durante la etapa de construcción. Cada banco de nivel se debe numerar por el kilómetro en que se encuentra y el número de orden que le corresponde en ese kilómetro como por ejemplo: BN-48-3 Elev. 148.554 m.
8. Obtenidos todos los datos de campo se procede en el gabinete a vaciarlos en un plano, empezándose a dibujar la línea preliminar o poligonal base, llevando las longitudes y los ángulos correspondientes de las diferentes alineaciones. Este procedimiento tiene el inconveniente de que el error en un vértice se arrastra a los siguientes, por lo que es más conveniente calcular las coordenadas de los diferentes vértices tomando uno de ellos como origen y como ejes un lado y la perpendicular a él.

Una vez dibujada la poligonal base o línea preliminar, se termina el plano dibujando las curvas del nivel, (véase la figura en la página siguiente).

La configuración del terreno puede obtenerse mediante secciones transversales apoyadas en la poligonal y que permite conocer los puntos de cota cerrada y la cota de los puntos notables del terreno utilizando



el nivel de mano, la cinta de género y la brújula. Con estas cotas pueden dibujarse las curvas de nivel. La configuración se puede llevar a cabo también con estadía. La línea preliminar se entinta a color negro y las curvas de nivel a color sepia.

La secuela para la configuración del terreno es la siguiente:

1. Haga que los macheteros limpien a ambos lados de las estacas ubicadas a cada 20 metros. La distancia a limpiar perpendicular al eje del camino, es de unos 80 a 100 m. En el caso del PI se debe determinar la bisectriz del ángulo interior y limpiarse el terreno en esa dirección hasta una distancia igual a la ya indicada anteriormente. Si el terreno es plano y muy regular, se puede aumentar la distan-

cia, entre las estacas a limpiar, de cada 20 m a cada 40 m, y si el terreno es muy accidentado se debe disminuir el intervalo a cada 10 m. El criterio del ingeniero debe ser la gafa en estas operaciones.

2. Obtenga las curvas de nivel a cada metro, o a la distancia más indicada, empleando un nivel de mano, un estadal, una cinta métrica y una brújula. Para llevar a cabo este trabajo se coloca el nivel sobre un bastón de 1.5 m (es preferible usar bastón que la altura de los ojos del seccionador), y se pone sobre la estaca del eje del camino. Como se conoce la cota de la estaca sobre el eje del camino, se calcula qué lectura se requiere en el estadal para poder colocarlo sobre una curva par de nivel. Enseguida haga que el estadalero se desplace hacia un lado o hacia el otro hasta que el seccionador pueda leer la lectura fijada, manteniendo al mismo tiempo la perpendicularidad con relación al alineamiento. El estadal estará entonces sobre una curva par de nivel. Debe medirse la distancia de la estaca al estadal y anotarse en la libreta. Hecho lo anterior desplace su nivel al punto en que estuvo el estadalero y encuentre la siguiente curva de nivel leyendo 2.5 m en el estadal (o leyendo 0.5 m si se trata de ir ascendiendo) y anotando dicho valor. Repita el procedimiento hasta terminar la sección. Cuando se tengan cumbres de cerros o fondos de arroyos, no tiene por qué caerse en curvas pares de nivel; en dichos puntos obtenga y registre las alturas aproximado al centímetro. En la libreta de campo se anota el número de la curva de nivel en el numerador, y la distancia horizontal al eje en el denominador. En la práctica se puede trabajar con dos seccionadores, dos estadaleros y dos cadeneros, y así un grupo toma el lado derecho y el otro el izquierdo del eje del camino. Los seccionadores dictan sus lecturas en voz alta al topógrafo quien por lo general permanece al centro. Cuando se vaya descendiendo una ladera, haga que el estadalero avance primero, y cuando se ascienda un cerro el seccionador con el nivel debe ir adelante. Cuando se tengan pendientes muy fuertes, el seccionador podrá obtener dos o tres lecturas de curvas de nivel sin necesidad de cambiar de posición. Sin embargo si el terreno es plano, tendrá inclusive que tomar un punto de tránsito para obtener una sola curva de nivel, ya que 20 m es, aproximadamente, el límite extremo de cada lectura con el nivel de mano.

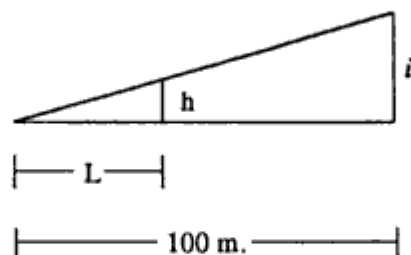
Además de las curvas de nivel, es necesario que se tomen medidas y se hagan anotaciones de las obras que se encuentren durante la faja en estudio, tales como edificios, iglesias, tumbas, escuelas, mercados, riachuelos, huertos, árboles frutales, líneas de propiedad, etc. Teniendo los datos de campo ya indicados se dibujan las curvas de nivel, para lo cual se hace lo siguiente:

- a) Se dibuja la línea del eje a la escala establecida.
- b) Se dibujan líneas tenues perpendiculares a la línea de trazo y se fijan los puntos de las curvas de nivel de acuerdo con la libreta de campo y luego se unen dichos puntos. Se dibujarán también las corrientes de agua, caminos, edificios, etcétera.
- c) Lleve al campo el plano de las curvas de nivel, compárelo con las curvas que existen realmente en el terreno, y corrija los errores menores que aparezcan. Si los errores son de tal magnitud que no puedan ser corregidos en el terreno, marque el área afectada y exija que se vuelva a comprobar el plano topográfico en esa zona.
- d) Hechas las correcciones necesarias, se pasa tinta a las curvas de nivel dibujándose un poco más gruesas aquellas curvas que sean múltiplo de diez.

LÍNEA DEFINITIVA

Una vez que en el gabinete se tenga el dibujo completo de la línea preliminar tal como se ha indicado, es necesario proyectar, en dicho plano, la línea definitiva para después trazarla en el terreno.

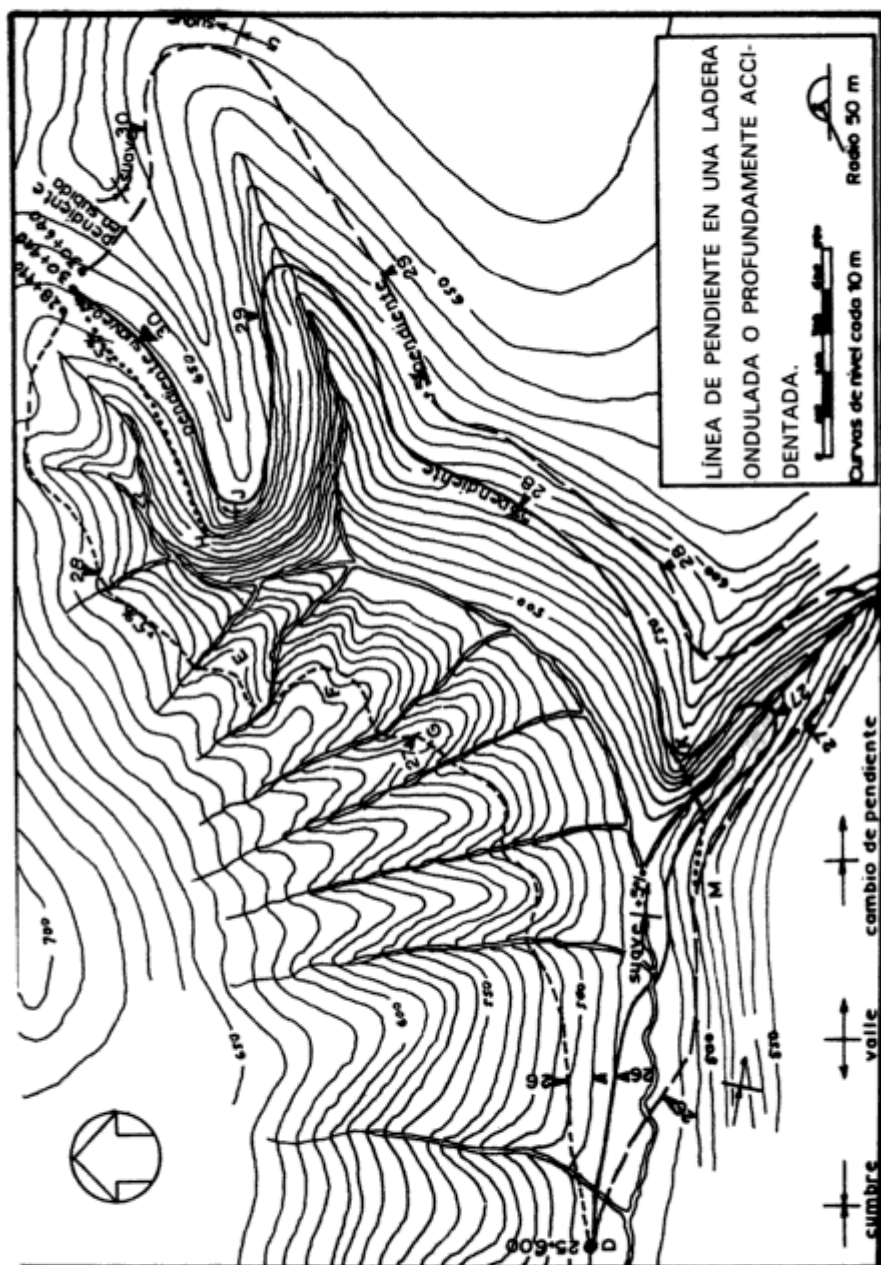
Conociendo la equidistancia entre curvas de nivel y la pendiente gobernadora (1 ó 2% menor que la máxima), se calcula la abertura del compás para que al interceptar con sus puntas dos curvas de nivel contiguas, la línea imaginaria que une estos puntos tenga la pendiente deseada. Se aconseja que al hacer esto no se use el valor de la pendiente máxima sino un uno o dos por ciento menor que dicha pendiente máxima para que la línea final resulte más apegada a las condiciones que se esperan. Por ejemplo una equidistancia en el plano entre curvas de nivel de dos metros y una pendiente de 6%, cada vez que se pase de una curva a otra se subirán o bajarán dos metros, por lo tanto la abertura entre las puntas del compás se establecerá así: Si para 100 metros se asciende el valor de la pendiente i ¿cuál será el valor de L para ascender la altura h ? Para ello se establece la proporción:



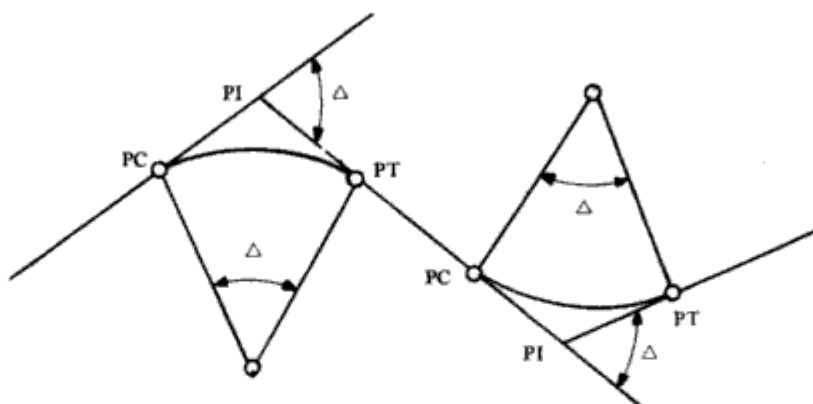
$$\frac{L}{100} = \frac{h}{i} ; \text{ de donde } L = \frac{100 h}{i}, \text{ que para nuestro ejemplo da:}$$

$$L = \frac{100 \times 2}{6} = \frac{200}{6} = 33.33 \text{ metros}$$

A la misma escala a la que está dibujado el plano se separan las puntas del compás y partiendo del punto inicial se procede a ascender o a descender brincando de curva en curva y uniendo estos puntos nos da una línea quebrada llamada *línea a pelo de tierra*. Esta línea es la base para proyectar la línea definitiva que con las mayores tangentes posibles deberá apegarse lo más que se pueda a la línea a pelo de tierra. Para lograr una primera compensación longitudinal, lo que se hace es que la línea de proyecto compense a izquierda y derecha la línea imaginaria del trazo a pelo de tierra. No se debe tomar esto como una regla fija ya que si el terreno tiene una pendiente transversal fuerte conviene que el eje de la línea se encuentre hacia arriba de la línea a pelo de tierra para que el camino quede en firme al proyectarse la subrasante posteriormente. En este caso no habrá compensación de terracerías lateralmente sino desperdicio. Si el resultado del primer tanteo no es satisfactorio, se hacen las alteraciones de pendiente necesarias y se repite el trabajo hasta obtener el resultado deseado. Al dibujar la línea a pelo de tierra y llegar al cruce de un cauce o a la falda de un cerro, se debe interrumpir la línea a pelo de tierra para continuarla al otro lado del obstáculo tomando como elevación de partida del otro lado, el que resulte de sumarle o restarle a la de este lado el producto de la distancia por la pendiente y escogiendo la curva más cercana. En estos casos se sabe que el corte o terraplén es inevitable y se unen esos puntos con una línea negra, ya que la línea a pelo de tierra dibujada a color rojo indica la ruta en donde en el centro no hay corte ni relleno.



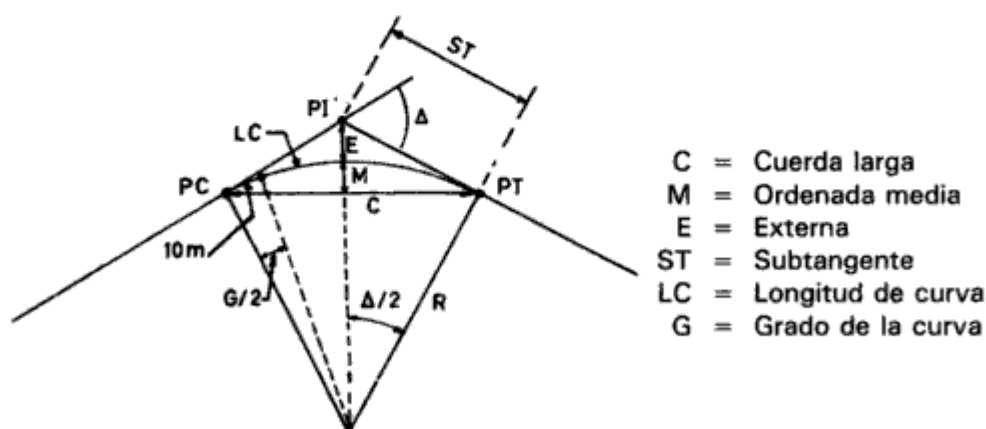
curvas deben anotarse la deflexión, el grado, el radio, la subtangente, la ordenada media y la externa.



CURVAS CIRCULARES HORIZONTALES

Teniendo dibujada la línea definitiva, los tramos rectos, denominados tangentes, deben unirse con curvas para que la línea quede completa. En los caminos vecinales muchas veces se usan curvas circulares horizontales simples sin curvas de transición en los extremos, cosa que no se hace en los caminos estatales o federales, ya que en ellos es necesario hacer uso de las curvas de enlace.

Supongamos que tenemos dos tangentes que vamos a ligar por una curva circular.



El punto en el cual las dos tangentes se cortan se denomina *punto de intersección* (PI), el punto de iniciación de la curva se llama *punto de comienzo* (PC), y el punto donde la curva termina se denomina *punto de término* (PT).

Como el ángulo central de la curva es igual a la deflexión, se prefiere usar el método de deflexiones en el trazo de caminos. De acuerdo con la figura anterior se tiene:

$$ST = R \tan \Delta/2$$

En la fórmula anterior la deflexión se mide y el radio se escoge de acuerdo con el tipo de camino o de acuerdo con el grado de la curva.

Teniendo conocido el valor de la subtangente (ST), se pueden localizar el PC y el PT.

$$C = 2 R \sin \Delta/2.$$

$$M = R - R \cos \Delta/2.$$

Con la fórmula de la ordenada media (M) se puede, partiendo de la cuerda larga, localizar el centro de la curva y partiendo de ahí trazarla para un lado y para el otro aun cuando haya obstáculos.

$$E = \frac{R}{\cos \Delta/2} - R = R \sec \Delta/2 - R$$

$$LC = \frac{20\Delta}{G}$$

Al proyectar las curvas se hacen varios tanteos procurándose trazar la curva que tenga el mayor radio, es decir, el grado menor; sin embargo en algunas ocasiones, por efecto de las terracerías, de las obras de arte, etc., se ve uno obligado a aumentar los grados de las curvas, disminuyendo el radio.

Hay dos maneras de proyectar las curvas circulares; una consiste en escoger la curva que mejor se adapte y posteriormente calcular su grado de acuerdo con el radio con el cual se trazó; y la otra consiste en emplear

curvas de determinado grado y calcular los demás elementos de ellas. Debido a la facilidad que presenta el cálculo de estas curvas, como ya lo hemos visto, es más recomendable la segunda alternativa. En el proyecto de las curvas circulares horizontales hay que hacer algunas consideraciones tales como el de no proyectarlas en el mismo sentido cuando entre ellas exista una tangente corta, siendo preferible emplear una sola curva que abarque las dos. Las curvas contiguas del mismo sentido presentan muy mal aspecto y además son peligrosas para el tránsito. Cuando no sea posible hacer la sustitución de las dos curvas por una sola, entonces es necesario dejar como mínimo, una distancia de tres estaciones entre los extremos de las transiciones. En muchas ocasiones puede ser útil el empleo de curvas compuestas porque facilitan la adaptación de la curva a la topografía del terreno, sin embargo, en muchas ocasiones también pueden ser peligrosas, más cuando se cambia de radio de una curva a la otra. En algunas ocasiones se hace necesario el uso de curvas inversas que, teóricamente, son aquellas que están compuestas de dos curvas circulares simples, de sentido contrario, contiguas y con tangente común en el punto de unión. La distancia mínima entre el PT de la primera curva y el PC de la segunda debe ser igual a la suma de las transiciones de ambas curvas. Veamos un ejemplo del cálculo de una curva horizontal.

Datos:

Grado de la curva = $G = 5^\circ$

Deflexión = $\Delta = 82^\circ 24'$

Punto de intersección = $PI = \text{km } 10 + 508.90$

$$G = \frac{1146}{R}, \text{ por lo tanto:}$$

$$R = \frac{1146}{G} = \frac{1146}{5} = 229.20 \text{ m}$$

También podemos calcular el valor del radio para cuerdas de 20 metros, por la fórmula:

$$\text{Sen } G/2 = \frac{10}{R},$$

ya sabemos que el grado es el ángulo que subtiende una cuerda de veinte metros. Estos cálculos deben hacerse con máquina o con logaritmos mas no con regla de cálculo. Deben hacerse, además, por partida doble usando dos maneras diferentes de cálculo para evitar errores y pérdidas de tiempo.

Conociendo el radio de la curva calculamos el valor de la subtangente que nos va a servir para fijar el punto donde la curva comienza.

$$ST = R \tan \Delta/2 = 220.2 \tan 41^\circ 12' = 220.2 \times 0.87543 = 200.646 \text{ m}$$

Con la longitud de la subtangente (ST), y conociendo el kilometraje del punto de intersección (PI), determinamos el kilometraje de comienzo (PC) de la curva:

$$PC = 10 + 508.90 - 200.65 = 10 + 308.25$$

Para encontrar el kilometraje del punto de término (PT) de la curva, necesitamos el valor de la longitud de la curva (LC):

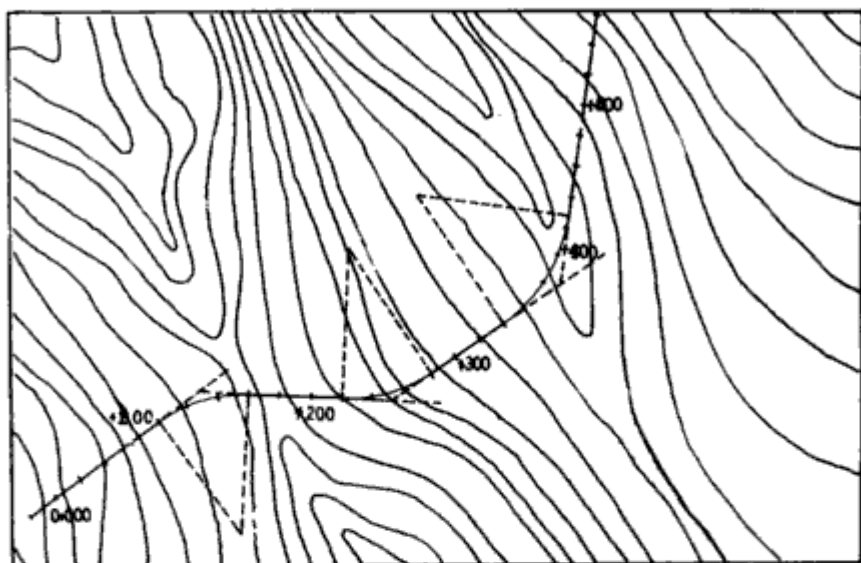
$$LC = \frac{20 \Delta}{G} = \frac{20 \times 82.4}{5} = 329.6 \text{ m}$$

Por lo tanto el kilometraje del punto de término (PT) será:

$$PT = \text{Kilometraje del PC} + LC = 10 + 308.2 + 329.6 = 10 + 637.80$$

TRAZO DE LA LÍNEA DEFINITIVA

Teniendo dibujada en el plano la línea definitiva en sus tangentes y curvas, es necesario ahora trazar en el terreno la mencionada línea, la que tendrá que quedar tal y como se proyectó. Cada vez que en el plano la línea de proyecto cruce a la línea preliminar, gráficamente se marcará el cadenamamiento en el punto de cruce y con el transportador se determinará el ángulo de cruce. Cuando en una distancia de un kilómetro, o menos si el terreno es muy accidentado, la línea definitiva no cruce a la línea preliminar, se medirán las distancias, de trecho en



Trazo de líneas definitivas

trecho, tal como ya antes se ha dicho, que separen ambas líneas en puntos conocidos como el PI, PST, etcétera.

Estos puntos ya vimos que se denominan *ligas* y sirven para iniciar en uno de ellos el trazo definitivo, y en lo sucesivo vaya comprobando que la línea que se proyectó en el plano vaya siendo fielmente trazada en el campo. En el caso de alguna discrepancia, debido, por ejemplo, a una preliminar levantada con poca precisión, se va ajustando el trazo en los puntos de liga para evitar que el error se vaya acumulando. En el caso de la figura de esta página de la línea definitiva, se medirá el ángulo α correspondiente a la línea definitiva con la preliminar, se medirá el cadenamiento del punto L , se medirá gráficamente la deflexión Δ en el PI, que es también el ángulo central de la curva, se medirá la distancia d que separa el PI de la línea de proyecto del punto S de la preliminar.

El trazador centrará el aparato en el punto L , de la preliminar fijándolo desde A o desde B y con el ángulo α comenzará a trazar la línea definitiva. Al llegar al PI comprobará que lo separa de la preliminar la distancia d . Si el punto inicial ($0 + 000$) está predeterminado y obligatorio por ser el eje de una calle, por ejemplo, el trazador partirá de di-

cho punto y al cruzar la preliminar en L comprobará que no se ha apartado del proyecto si lo hace con el ángulo a . Hay que recordar que como las medidas de las distancias y de los ángulos son efectuados gráficamente, las ligas son aproximadas y por lo tanto no puede esperarse que haya más que una comprobación aproximada.

TRAZO DE LAS CURVAS CIRCULARES

En cuanto al trazo de las curvas circulares tenemos que ya el ingeniero ha determinado todos los elementos de las mismas y por lo tanto en el campo fijará primero el PI y cadeneará la ST para fijar el PC y el PT. Se coloca el aparato en el punto correspondiente al PC con ceros del limbo y la aliada coincidiendo, se fijará el movimiento general y se dará la primera deflexión.

Las deflexiones se calculan, según el grado de la curva, así:

$$\text{Deflexión por 20 m} = \frac{G}{2}$$

$$\text{Deflexión por metro} = \frac{G/2 \cdot 60}{20}$$

O sea que si el grado de la curva es de seis (6), se tienen las siguientes deflexiones:

$$a) \text{ Por 20 metros: } \delta_1 = \frac{G}{2} = \frac{6}{2} = 3 = 180'$$

$$b) \text{ Por un metro: } \delta_1 = \frac{G/2 \cdot 60}{20} = \frac{3 \times 60}{20} = \frac{180}{20} = 9'$$

Una manera de determinar rápidamente la deflexión por metro es multiplicando el grado de la curva por 1.5 y el resultado tomarlo en minutos.

Así pues, cuando el PC de la curva cae en estación cerrada, el trazador, estando con el aparato en el PC puede fijar el primer punto de la curva a 20 m del PC girando un ángulo igual a $G/2$ y midiendo la distancia de 20 m sobre esa visual. Para fijar el segundo punto de la curva la deflexión total a dar será la deflexión anterior más la deflexión por 20 metros y así sucesivamente hasta terminar el trazo de la curva. Como comprobación, la última deflexión debe ser igual a $\frac{\Delta}{2}$.

Cuando el PC de la curva cae en estación fraccionaria, hay que calcular la deflexión por metro y multiplicarla por los metros faltantes para llegar a la primera estación cerrada de la curva sobre la cual se marcará el primer punto. Para fijar el segundo punto de la curva la deflexión total a dar será la deflexión anterior más la deflexión por 20 metros y así sucesivamente.

Ejemplo de cálculo y registro de una curva circular simple:

Datos: $\Delta = 60^\circ 30'$ I; $G = 6^\circ$; P.I. = 2 + 226

$$R = \frac{10}{\frac{G}{\sin \frac{\Delta}{2}}} = \frac{10}{\frac{6}{\sin 30^\circ 15'}} = \frac{10}{0.052} = 191.07 \text{ m}$$

$$ST = R \tan \frac{\Delta}{2} = 191.07 \times \tan 30^\circ 15' = 191.07 \times 0.583 = 111.40 \text{ m}$$

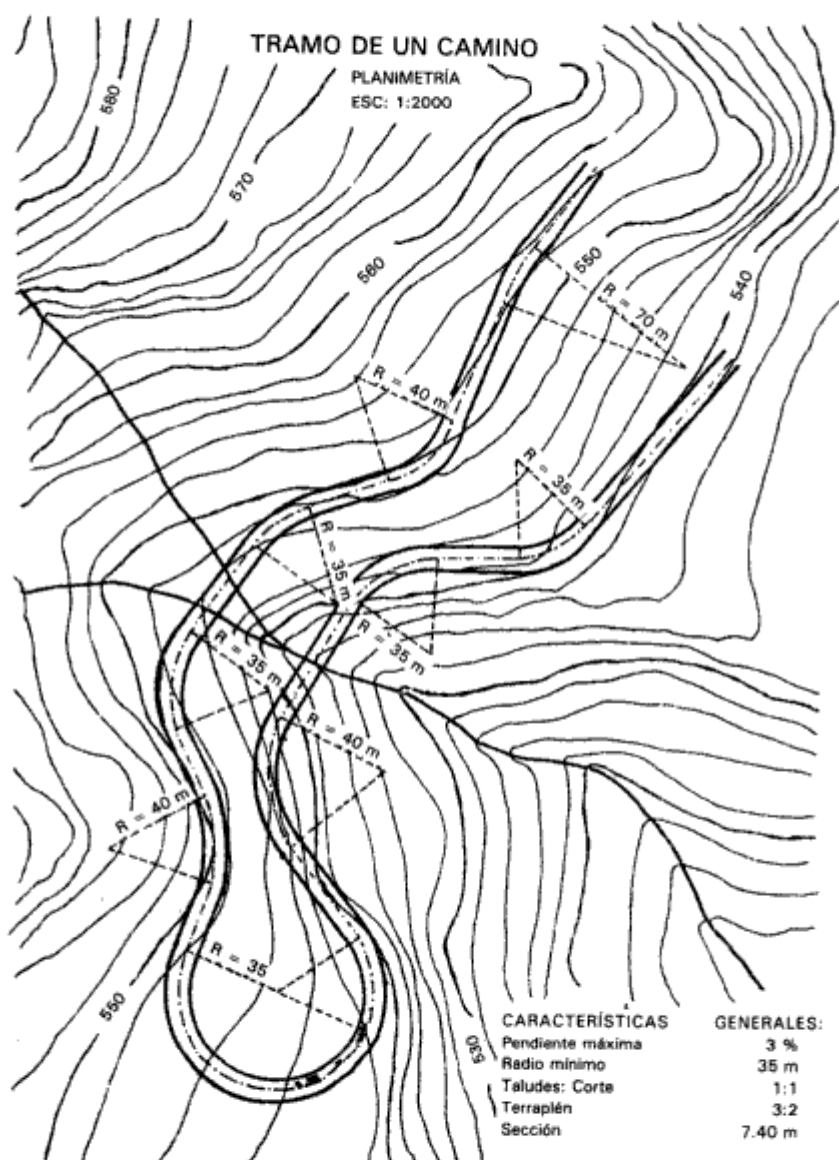
$$LC = \frac{20 \Delta}{G} = \frac{20 \times 60.5}{6} = 201.67 \text{ m}$$

$$PC = PI - ST = 2 + 226.00 - 111.40 = 2 + 114.60$$

$$PT = PC + LC = 2 + 114.60 + 201.67 = 2 + 316.27$$

REGISTRO

Est	P.V.	Deflexiones	DATOS DE LA CURVA	
			R.M.O.	R.A.C.
	P.T. 2 + 316.27	30°15'	N. 12°00'E	N21°42'E
	+ 300	27°49'		
	+ 280	24°49'		
	+ 260	21°49'		
	+ 240	18°49'		
	+ 220	15°49'		
	+ 200	12°49'		
	+ 180	9°49'		
	+ 160	6°49'		
	+ 140	3°49'		
P.C. 2 + 114.60	P.T. 2 + 120	0°49'	N72°30'F	N82°12'E



La mejor manera de trazar las curvas es haciéndolo por mitades a partir del PC y del PT y a encontrarse en la mitad de la curva ya que así se evita el que se acumule el error natural que haya en el trazo de la curva.

Sucede a menudo que no toda la curva puede verse desde el PC o el PT, necesitándose entonces cambiar el aparato a un punto sobre la curva (PSC) para seguir trazándola.

Supongamos que en el ejemplo anterior del cálculo y el trazo de una curva, únicamente se pudo visar hasta el punto $2 + 180$.

Para continuar se fija con trompo y tachuela esta estación como PSC y se pasa el aparato a ella, se visa el PC con los ceros del aparato coincidiendo y utilizando el movimiento general se da vuelta de campana y se gira un ángulo de $10^{\circ} 39'$ el eje del anteojo estará tangente a la curva por lo que puede seguirse con $13^{\circ} 39'$ que corresponde a la estación $2 + 200$, y así sucesivamente.

REFERENCIAS

El objeto de las referencias es el de fijar la posición de un punto con relación a otros fijos que se supone permanecerán fijos durante la construcción del camino. Como se supone, muchos de los puntos del trazo desaparecerán durante el desmonte y construcción del camino, por lo que estando ellos referenciados se pueden fijar nuevamente y por lo tanto reconstruirse el trazo.

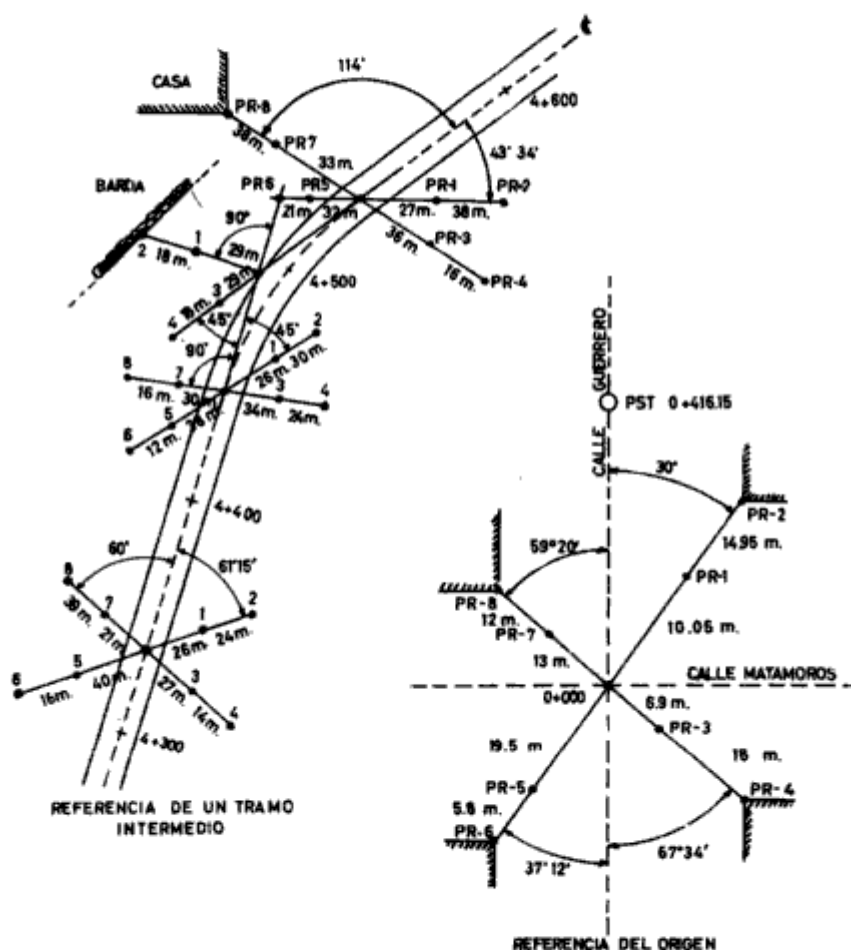
Para referenciar un punto se emplean ángulos y distancias medidas con exactitud, prefiriendo siempre que los puntos escogidos como referencia queden fuera del derecho de vía.

Es absolutamente necesario que el Ingeniero deje referenciados todos los puntos que definen el trazo tales como los PI, PC, PT y varios PST procurando que éstos no disten entre sí más de 500 m.

Los ángulos se medirán siempre en cuadrantes tomando como origen el eje del camino y en los PI el origen será la tangente del lado del PC o sea en el sentido del avance de la línea y la numeración de los puntos de referencia se harán en el sentido de las manecillas del reloj, de adentro hacia afuera y comenzando adelante y a la derecha del eje del camino. Cada visual llevada a cabo tendrá dos puntos de referencia midiéndose la distancia parcial entre ellos. Como puntos de referencia podrán emplearse árboles corpulentos y notables, cantiles, torres de iglesias, aristas de edificios, etc., y en caso de no encontrar ninguno de ellos entonces se pondrá trompo con tachuela en cada punto y junto una estaca con el número de referencia del punto y su distancia al eje del camino. Cuando el camino que se traza no va

a ser construido en un plazo corto, se construyen entonces mojoneras en los PI y PST de la línea, fijando en la parte superior de ellas los puntos.

Como puede verse, el referenciar los puntos principales de una línea, es de gran importancia y por lo tanto debe ejecutarse en forma correcta. Las figuras que siguen muestran los detalles de las referencias del origen de una línea y los de un tramo intermedio cualquiera.



NIVELACIÓN

Habiendo trazado y referenciado la línea definitiva en el campo, se nivela ella para apoyar las secciones de construcción y para poder tener el perfil del terreno y proyectar la subrasante.

La nivelación es la operación mediante la cual se determina la diferencia de nivel entre dos o varios puntos, y su estudio y práctica se agrupa en tres grandes capítulos: nivelación geométrica o topográfica, nivelación trigonométrica y nivelación barométrica. La nivelación topográfica se ejecuta con aparatos especiales llamados *niveles* que dan directamente las diferencias de altura mediante observaciones y operaciones adecuadas.

Dentro de la nivelación topográfica se distinguen otras clases de nivelaciones, que, en esencia, no son sino diferentes modalidades de aquella. Estas son la nivelación diferencial, la de perfil, etcétera.

La nivelación trigonométrica se funda en las propiedades trigonométricas de un triángulo rectángulo y para su ejecución utiliza la medición de ángulos verticales y distancias practicadas a lo largo de una poligonal.

La nivelación barométrica es aquella que se lleva a cabo mediante el uso de barómetros, aneroides o hipsómetros, y tiene su apoyo en la variabilidad de la presión atmosférica con relación a la altura del lugar, la temperatura del lugar y la temperatura del aire.

En caminos se sigue generalmente la nivelación de *perfil* y se comprueba con la *nivelación diferencial*.

Se llama *perfil* de una línea a la obtenida vaciando a escalas convenientes las cotas de todas las estacas.

Como una especie de recordatorio, vamos a continuación a llevar a cabo una nivelación de perfil y cuyos resultados tabulados los podemos ver en la hoja que sigue en la cual hemos expuesto dicho registro, como también la comprobación de la nivelación mencionada.

Se parte de un punto cuya cota es conocida y se llama generalmente Banco de Nivel.

Los puntos de liga, se escogen, casi siempre fuera de la poligonal.

Colocando y nivelando el aparato en un punto conveniente con el objeto de ver el mayor número de estaciones desde el mismo lugar, se coloca el estadal sobre el BM y se hace la lectura 0.361, la cual sumada a la cota 100.00 del Banco, se obtiene la altura 100.361 del aparato.

Se mueve el estadal de estación en estación y se hacen las lecturas 0.850, 0.910, 1.450, etc., las cuales, restadas de la altura 100.361 del aparato se obtienen las cotas 99.511, 99.451, 98.911, etcétera.

Cuando la visibilidad ya no permite leer más adelante, se busca un PL fuera de la poligonal poniendo un trompo.

Se hace la lectura 1.832 y se tiene su cota 98.529.

Se cambia el aparato y ya nivelado y con el estatal en el PL se hace la lectura 0.651, con la cual, sumada a la cota del PL de 98.529, se obtiene la nueva altura del aparato y se prosigue la nivelación.

La nivelación es un aspecto que tiene mucha importancia en la construcción de un camino y por lo tanto se recomienda que siempre se ejecute con cuidado y se compruebe si ha sido bien llevada a cabo la misma.

Es muy recomendable que el estudiante le dé una repasada general a la Topografía a fin de fijar conceptos que puedan estar olvidados.

REGISTRO DE NIVELACIÓN DE PERFIL

PUNTOS VISADOS.	+	∇	Estac.	PL	Cotas
BN ₁	0.361	100.361			100.000
0 + 000			0.850		99.511
+ 020			0.910		99.451
+ 040			1.450		98.911
+ 060			1.630		98.731
+ 080			1.780		98.581
PL ₁	0.651	99.180		1.832	98.529
0 + 100			0.750		98.430
+ 120			1.110		98.070
+ 140			1.580		97.600
+ 160			1.730		97.450
PL ₂				1.854	97.326

Comprobación. La comprobación aritmética es la siguiente:

$$0.361 + 0.651 = 1.012$$

$$1.832 + 1.854 = 3.686$$

$$3.686 - 1.012 = 2.674$$

Este último resultado debe ser igual a la diferencia entre las cotas del BN y la del PL₂.


Cierre de la Nivelación. Si se ha hecho con la tolerancia debida, 1 cm cada 500 m en caminos, se regresa con una nivelación diferencial o con doble punto de liga.

Para comprobar una nivelación de perfil o para encontrar la diferencia de niveles entre dos puntos, se hace uso de la nivelación diferencial.

$$\text{Desnivel} = 1625.000 - 1619.466 = 5.534$$

$$\text{Comprobación} = 6.882 - 1.348 = 5.534$$

REGISTRO DE NIVELACIÓN DIFERENCIAL

PV	+			Cotas
A	0.325	1625.325		1625.000
PL ₁	0.462	1624.150	1.637	1623.688
PL ₂	0.561	1622.341	2.370	1621.780
B	<u>1.348</u>		<u>2.875</u> 6.882	1619.466

Habiendo trazado y nivelado la línea definitiva en el terreno, se procede a sacar una sección transversal del terreno en cada estación de veinte metros y en todos los puntos intermedios en que el terreno sea accidentado.

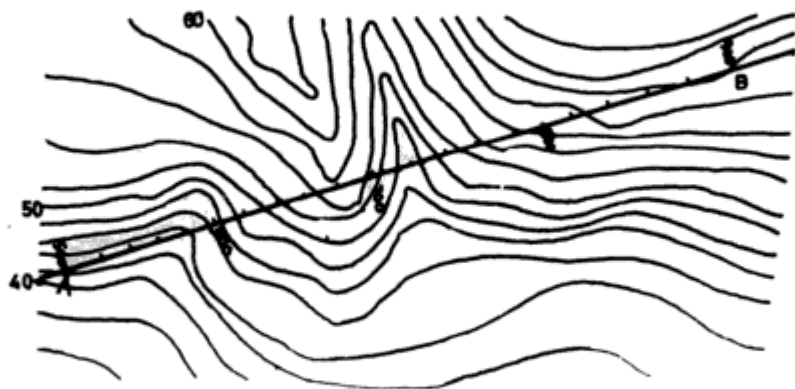
Dichas secciones transversales se dibujan en papel milimétrico a escala 1:100.

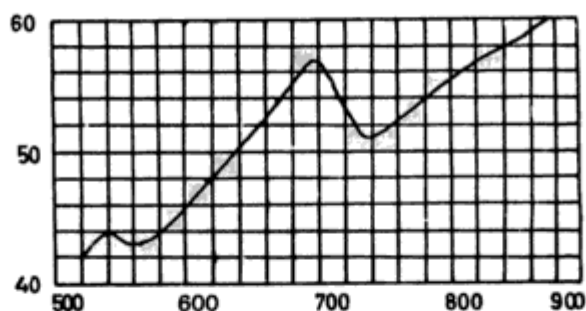
PERFIL DEDUCIDO

Cuando la configuración topográfica se hace con cuidado y se tiene la seguridad de que las curvas de nivel que cruzan la línea proyectada en el plano corresponden a la topografía del terreno, se puede deducir un perfil que diferirá muy poco del que se obtenga nivelando la línea del trazo definitivo. El *perfil deducido* es muy ventajoso para ir modificando el proyecto en el plano, antes de trazarlo en el terreno, con lo que se ahorra mucho tiempo y se puede observar que pequeños cambios pueden significar grandes economías en volumen de terracerías, máxime si el terreno es muy movido.

Para dibujar un *perfil deducido* se cuenta desde luego con las cotas de las estaciones cerradas y además con las de todos los accidentes del terreno comprendidos entre dos estaciones, así pues, el ingeniero obtendrá del plano de la planta, el kilometraje correspondiente a los cruces de las curvas de nivel con la línea proyectada, es decir, que dibujará el perfil que resulte de unir las cotas conocidas en los cadenamientos que les corresponda. Cuando una curva de nivel cruce dos veces consecutivas al proyecto, como puede suceder en los fondos de los ríos, ciernas, etc., el ingeniero calculará por medio de la cercanía de las curvas de nivel adyacentes, la cota máxima o mínima elevación y medirá su kilometraje para dibujarla en el perfil.

Consideremos el caso de la figura que sigue sobre una topografía en la cual se tiene confianza. La mencionada línea AB comprende de la estación 24 + 520 a la estación 24 + 920. Podemos pues, conocer el perfil de la línea AB deduciéndolo de la misma topografía en la forma en que arriba se haya indicado.





Los cadenamientos en los cuales las curvas de nivel cortan a la línea AB son:

Cota	Cadenamiento	Cota	Cadenamiento
44	580	54	705
46	595	52	712
48	604	52	725
50	614	54	735
52	630	56	750
54	641	58	762
56	668	60	785
56	696	62	829

Hay además, otros puntos con cotas intermedias que completan el perfil como son el 24 + 520 que tiene una cota de 43, por interpolación. En la estación 24 + 520 vemos que se acerca la curva 44, y por lo tanto, por otro lado por interpolación, entre las curvas encontramos que a la estación 24 + 680 le corresponde una cota de 67.4. De la misma manera calculamos que para las estaciones 24 + 800; 24 + 860 y 24 + 920, se tienen respectivamente las cotas 69.4, 63 y 63.4.

Con todos los puntos así obtenidos y los cadenamientos encontrados para las cotas cerradas se construye el *perfil deducido*. Sobre este perfil

puede proyectarse una subrasante y estudiarse detenidamente, y aún más, puede calcularse un diagrama de masa bastante aproximado hasta dejar el proyecto lo suficientemente afinado como para considerarlo como definitivo y proceder a su trazo en el terreno. Los perfiles se dibujan en papel milimétrico grueso, que permita borrar los varios anteproyectos o ensayos de subrasante que se hagan.

Las escalas para sus dibujos serán: horizontal 1 a 2000 y vertical 1 a 200.

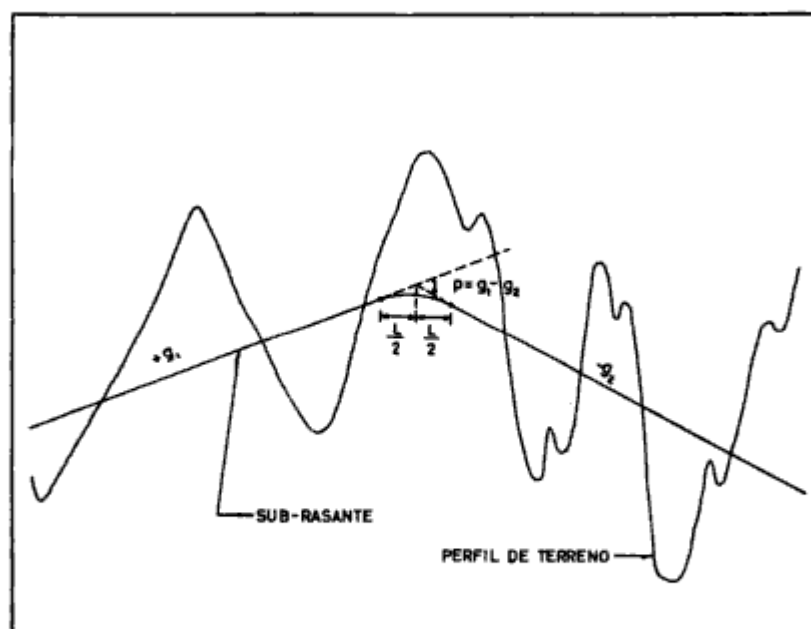
El perfil del terreno se dibuja a tinta china negra.

PROYECTO DE LA SUBRASANTE

La subrasante es el perfil de las terracerfas del camino compuesto por las líneas rectas que son las pendientes unidas por arcos de curvas parabólicas verticales.

Las pendientes se proyectan al décimo como 4.1%, 3.7%, etc., a no ser que un motivo determinado como igualdades, ligas, etc., obligue a calcular una pendiente fraccionaria que necesitará todos los decimales que se requieran para dar la diferencia de niveles entre los dos puntos que ligan.

Según sea el sentido del cadenamiento, las pendientes ascendentes se marcan con signo positivo y las descendentes con signo negativo.



La subrasante que se proyecte debe compensar, en todo lo que sea posible, los cortes con los terraplenes en el sentido longitudinal y aun en el transversal cuando se aloje en una ladera que permita la compensación lateral. Cuando la ladera es muy inclinada y no se detienen los terraplenes, en el perfil aparece la subrasante como una línea mal compensada, continuamente en desperdicio, pero justificado ya que el camino debe alojarse totalmente en firme.

Para proyectar la subrasante deben tenerse en cuenta las especificaciones de pendiente máxima y de longitud de curvas verticales, además de la conveniencia de no usar contrapendientes innecesarias, ni excesiva cantidad de quiebres que darían un alineamiento vertical defectuoso, inadecuado para el tránsito de vehículos el cual debe ser seguro y cómodo.

En algunos tramos puede suceder que circunstancias especiales de diversa índole obliguen al proyecto de la subrasante. Esto sucede, por ejemplo, al atravesar las poblaciones en las cuales se debe tener en cuenta la altura de las entradas a las casas, proyectando una subrasante que se acomode en lo posible a un buen número de puntos obligados para evitar defectos de drenaje o de carácter estético. De igual manera, al atravesar regiones pantanosas o inundables se hace necesario que la subrasante se eleve sobre el terreno natural a determinada altura para cada localidad necesitándose construir terraplenes con materiales acarreados. Una vez que se ha elegido una subrasante, deberán calcularse las curvas verticales y determinar los espesores.

CURVAS VERTICALES

Los elementos que constituyen el perfil longitudinal de la subrasante deben enlazarse por medio de las curvas verticales, convexas o cóncavas, de longitud variable. Así, pues, las curvas verticales se emplean para pasar gradualmente de un tramo en que la subrasante tiene una pendiente determinada a otro en que la pendiente es diferente, pudiendo presentarse dos casos: uno en que vamos subiendo y luego bajamos, denominado *cima*, y el otro en el cual primero se baja y luego se sube llamado *columpio*.

Únicamente se proyectará curva vertical cuando la diferencia algebraica entre dos pendientes sea mayor de 0.5%, ya que en los casos de diferencia igual o menor a la indicada, el cambio es tan pequeño que en el terreno se pierde durante la construcción. Ejemplos:

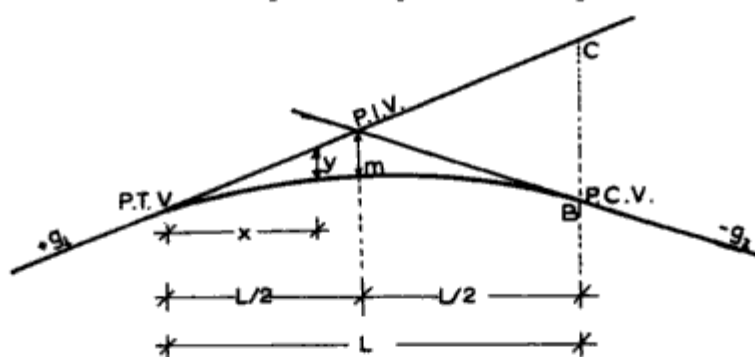
Tramo ascendente	= + 3%
Tramo descendente	= - 3%
Diferencia	= + 6%

Tramo ascendente	= + 3 %
Tramo ascendente	= + 2.8 %
Diferencia algebraica	= + 0.2 %

En el primer caso sí se proyecta la curva vertical, pero en el segundo caso no.

La curva que mejor satisface el cambio gradual de una tangente a otra es la parábola, porque si se intercala la rama de una parábola entre los dos puntos, se obtiene una variación uniforme de pendiente y además la entrada y la salida resultan suavizadas porque en ellas la variación de pendiente es la mitad que para el resto de la curva.

Las curvas verticales son parábolas que se calculan por la fórmula.



$$Y = K \cdot x^2 \quad \text{ó} \quad m = K \left(\frac{L}{2} \right)^2$$

así que:

$$\frac{Y}{m} = \frac{Kx^2}{K \left(\frac{L}{2} \right)^2} = \left(\frac{x^2}{\left(\frac{L}{2} \right)^2} \right)$$

de manera que:

$$Y = \frac{x^2}{\left(\frac{L}{2} \right)^2} \cdot m = \left(\frac{x}{\frac{L}{2}} \right)^2 \cdot m$$

De la figura anterior puede también escribirse que:

$$(g_1 \cdot \frac{L}{2}) + (g_2 \cdot \frac{L}{2}) = \overline{BC}$$

o sea que:

$$\overline{BC} = (g_1 + g_2) \frac{L}{2}$$

pudiéndose, por lo tanto, escribir que:

$$\frac{m}{\overline{BC}} = \left(\frac{\frac{L}{2}}{L}\right)^2$$

$$\frac{m}{(g_1 + g_2) \frac{L}{2}} = \frac{\frac{L}{2}}{(L)^2}$$

de donde:

$$m = \frac{\frac{(L)^2}{4}}{(L)^2} (g_1 + g_2) \frac{L}{2} = \frac{(g_1 + g_2) L}{8} = \frac{pL}{8}$$

y en cualquier punto de la parábola

$$Y = \left(\frac{x}{\frac{L}{2}}\right)^2 (m) = \left(\frac{x}{\frac{L}{2}}\right)^2 \frac{pL}{8} = \frac{p \cdot x^2}{2L}$$

en donde:

m = ordenada media de la parábola o sea la correspondiente al vértice de las tangentes.

$p = (g_1 + g_2)$ = diferencia algebraica de pendientes.

L = Longitud de la curva, en metros.

x = Abscisas a contar de los extremos de la curva, en metros.

Si en las fórmulas

$$m = \frac{pL}{8} , \text{ y}$$

$$Y = \frac{px^2}{2L}$$

se quiere expresar a p en tanto por ciento en vez de en decimal, entonces:

$$m = \frac{pL}{800} ; \text{ y}$$

$$Y = \frac{px^2}{200 L}$$

Supóngase que $g_1 = 3\%$, que $g_2 = -1\%$ y que $L = 120$ metros, entonces:

$$y_1 = \frac{p x_1^2}{200 L} = \frac{4 (20)^2}{200 \times 120} = \frac{1600}{24,000} = 0.067 \text{ m}$$

$$y_2 = \frac{p x_2^2}{200 L} = \frac{4 (40)^2}{200 \times 120} = \frac{6400}{24000} = 0.267 \text{ m}$$

$$y_3 = m = \frac{p L}{800} = \frac{4 \times 120}{800} = 0.60 \text{ m}$$

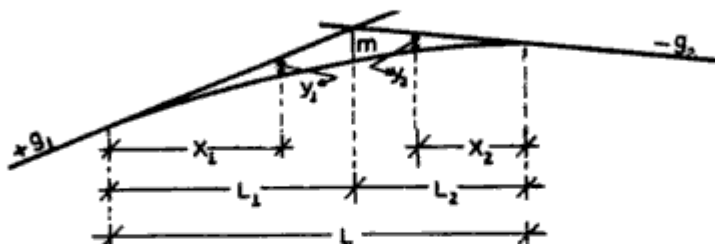
La fórmula $m = \frac{pL}{8}$ o $m = \frac{pL}{800}$ da la ordenada media solamente para

curvas verticales simétricas.

Las curvas verticales generalmente se proyectan simétricas con respecto al punto de intersección de las pendientes, de manera que sean

iguales las proyecciones horizontales de las tangentes. Cuando las proyecciones horizontales de las tangentes sean desiguales, se dice que las curvas son asimétricas. Este caso suele presentarse cuando las pendientes de la rasante están determinadas y en una de ellas se encuentra un punto obligado que limite la longitud de una de las ramas de la parábola. Esto ocurre frecuentemente en los accesos de los puentes y en las intersecciones de caminos y vías férreas.

Cuando las curvas verticales son asimétricas, las fórmulas a emplear son:



Para la ordenada media:

$$m = \frac{p \cdot L_1 \cdot L_2}{2 (L_1 + L_2)}$$

y para las demás ordenadas de la parábola:

$$Y_1 + \left(\frac{x_1}{L_1} \right)^2 m; Y_2 = \left(\frac{x_2}{L_2} \right)^2 m$$

según la rama de la curva de que se trate.

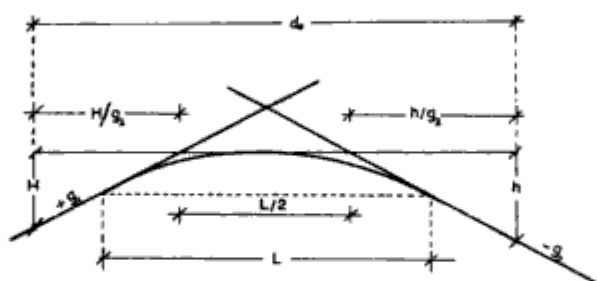
La longitud mínima que debe tener una curva vertical se determina por la consideración de la distancia de visibilidad de parada correspondiente a la velocidad de proyecto elegida.

Según se trate de curvas verticales en cima o en columpio, las longitudes requeridas para las curvas serán distintas.

- a) Longitud mínima de las curvas verticales en *cima* en función de la distancia de visibilidad de parada. Dependiendo de si la distancia de visibilidad es mayor o menor que la longitud de la curva, se pueden presentar dos casos:

Caso 1:

Cuando el conductor y el objeto sobre la calzada están fuera de la curva, la distancia de visibilidad es mayor que la longitud de la curva, es decir, $d_v > L$. En este caso, la longitud mínima de la curva debe

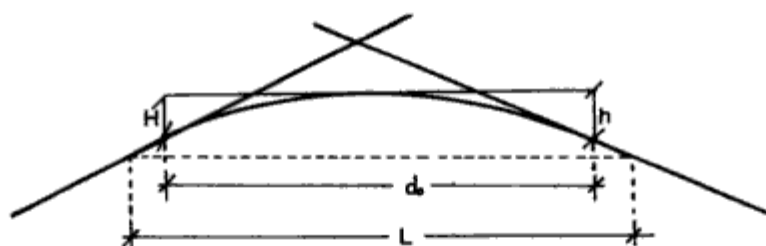


ser:

$$L = 2 d_o - \frac{200(\sqrt{H} + \sqrt{h})^2}{p}$$

Caso 2

Cuando el conductor y el objeto sobre la calzada están dentro de la curva, la distancia de visibilidad es menor que la longitud de la curva, es decir d_o es menor que L . En este caso, la longitud mínima de la curva debe ser:



$$L = \frac{p d_o^2}{200 (\sqrt{H} + \sqrt{h})^2}$$

En estas dos últimas fórmulas relativas a la longitud de las curvas se tiene que:

L = Longitud mínima de la curva, en metros.

d_o = Distancia mínima de la visibilidad de parada, en metros.

p = Diferencia algebraica de pendientes en por uno o decimal.

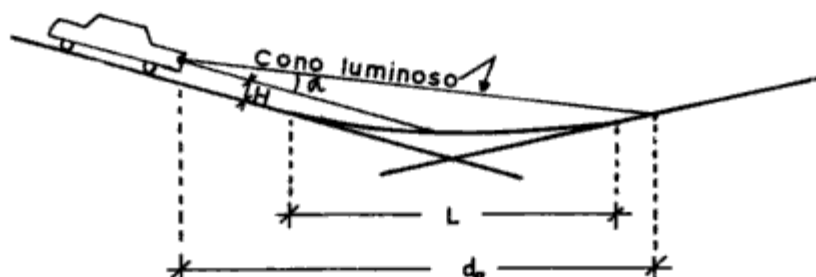
H = Altura del ojo del conductor sobre la calzada, en metros. Actualmente $H = 1.14$ m.

h = Altura del objeto, en metros. Actualmente se considera para h un valor de 0.15 m.

b) Longitud mínima de las curvas verticales en columpio en función de la distancia de visibilidad de parada. La longitud mínima de las curvas verticales en columpio se determina por la condición de visibilidad nocturna, presentándose dos casos:

Caso 1:

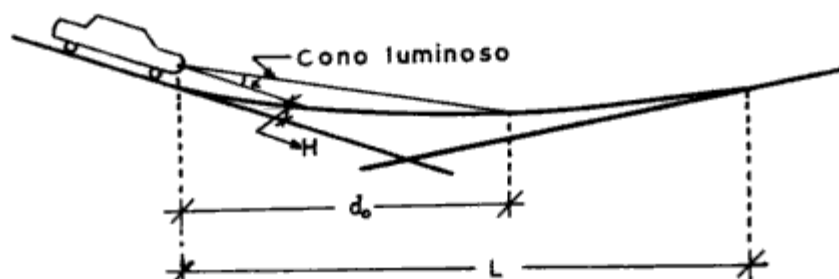
La distancia de visibilidad es mayor que la longitud de la curva, es decir, $d_0 > L$. En este caso la longitud mínima de la curva debe ser:



$$L = 2d_0 - \frac{200 (H + d_0 \tan \alpha)}{p}$$

Caso 2:

La distancia de visibilidad es menor que la longitud de la curva, es decir, d_0 es menor que L . En este caso la longitud mínima de la curva debe ser:



$$L = \frac{p d_0^2}{200 (H + d_0 \tan \alpha)}$$

En estas dos últimas fórmulas:

H = Altura del centro de los faros sobre la calzada, siendo actualmente considerado como de 0.60 m.

α = Ángulo máximo de los rayos del cono luminosos de los faros sobre el eje prolongado del vehículo. Usualmente 1° .

Las otras letras de las fórmulas corresponden a valores ya conocidos.

Una forma más simple de proyectar las curvas verticales es la siguiente. Ya se sabe que las curvas verticales son parábolas que se calculan por la fórmula:

$$Y = K \cdot x^2$$

En la fórmula anterior a la constante K se le puede asignar el valor de:

$$K = \frac{p}{10L}$$

En las cuales:

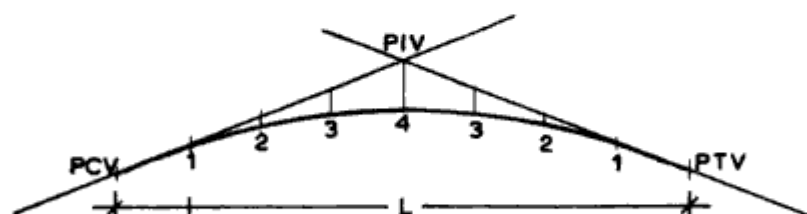
Y = Ordenada de la curva vertical, considerada con relación a la tangente de la curva en la estación correspondiente. Estas ordenadas se restan de las cotas de las tangentes si la curva es una cima y se suman si la curva es un columpio.

p = Diferencia algebraica de pendientes.

L = Longitud de la curva vertical en estaciones de 20 m.

x = Número de orden que le corresponde a la estación para la cual se calcula la ordenada Y .

La longitud mínima que puede tener una curva vertical será, en estaciones cerradas, la diferencia algebraica de pendientes. Así, si la diferencia algebraica de pendientes es de 9.6, se tomará para la L un valor de 10, es decir que la curva tendrá: $20 \times 10 = 200$ m de longitud. Sin embargo, es necesario que con la longitud calculada en la forma anterior, se cubra la distancia de visibilidad necesaria. En caso contrario hay que aumentar L .



Es conveniente tener el PCV, el PIV y el PTV en estaciones cerradas o a mitad de ellas. Si el PIV cae en estación cerrada y L es par, tanto el PCV como el PTV quedarán en estación cerrada. En este caso X tiene valores de 1,2,3,4, etc. Si el PIV está en estación cerrada pero L es impar, el PCV y el PTV quedarán en media estación del PCV, es decir que los números de orden de X serán 0.5, 1.5, 2.5, 3.5, etc. Igual puede suceder si el PIV está a media estación y L es par.

Ejemplo: calcular, haciendo uso de la longitud mínima, la curva vertical en *cima* siguiente: (Ver la siguiente figura).

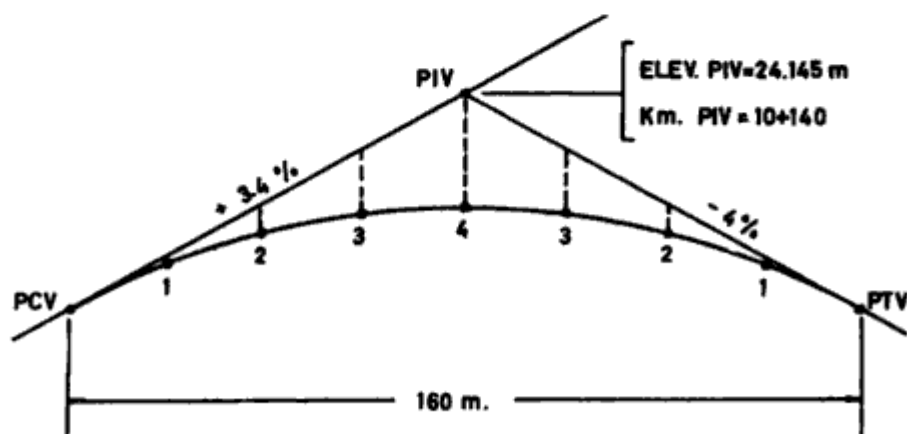
Diferencia algebraica de pendientes = $p = 3.4 + 4 = 7.4$; por lo que tomaremos como longitud de la curva L ocho estaciones de 20 metros.

El cadenamiento del PCV = Cadenamiento del PIV - Longitud de la curva entre dos.

$$\text{PCV} = (10 + 140) - \left(\frac{8 \times 20}{2}\right) = (10 + 140) - 80 = 10 + 060$$

La elevación del PCV = Elevación del PIV menos la pendiente por la distancia del PCV al PIV, por lo tanto:

$$\text{Elev. PCV} = 24.145 - (80 \times 0.034) = 21.425 \text{ m.}$$



El cadenamiento del PTV = Cadenamiento del PIV más la longitud de la curva entre dos. Por lo tanto:

$$PTV = (10 + 140) + 80 = 10 + 220$$

La elevación del PTV = Elevación del PIV menos la pendiente por la distancia del PIV al PTV. Por lo tanto:

$$\text{Elev. PTV} = 24.145 - 3.20 = 20.945 \text{ m}$$

El valor de la constante K es:

$$K = \frac{p}{10 L} = \frac{7.4}{80} = 0.0925$$

Para comprobar el que no se hay cometido algún error en el cálculo, a la cota del penúltimo punto se le resta (en el caso de las cimas) o se le suma (en el caso de los columpios) el desnivel correspondiente a su distancia al PTV, disminuido con el valor del Y si es estación completa, o en la mitad de Y si es en media estación, y el resultado debe dar la elevación del PTV.

En el caso que acabamos de resolver, el penúltimo punto corresponde a la estación $10 + 200$ con elevación calculada de 21.6525; el desnivel correspondiente es el de 20 metros con pendiente de -4% por lo tanto:

Desnivel	=	0.04×20	=	0.8000
Menos Y	=		=	0.0925
				<hr/> 0.7075

Elev. en $10 + 200$	=	21.6525
	-	0.7075
		<hr/> 20.9450 = Elev. del PTV

Lo cual indica que el cálculo se efectuó correctamente.

En la tabla de valores de la curva se puede observar que a partir del PIV los valores de Y son simétricos y no es necesario calcularlos.

TABLA DE VALORES

Estación	Cotas en la tangente	X	X ²	K	Y	Cotas en la curva
10 + 060	21.425	-	-	-----	-----	21.4250
10 + 080	22.105	1	1	0.0925	0.0925	22.0125
10 + 100	22.785	2	4	0.0925	0.3700	22.4150
10 + 120	23.465	3	9	0.0925	0.8325	22.6325
10 + 140	24.145	4	16	0.0925	1.4800	22.6650
10 + 160	23.345	3	9	0.0925	0.8325	22.5125
10 + 180	22.545	2	4	0.0925	0.3700	22.1750
10 + 200	21.745	1	1	0.0925	0.0925	21.6525
10 + 220	20.945	--	--	-----	-----	20.9450

EMPLEO SIMULTÁNEO DE CURVAS VERTICALES Y HORIZONTALES

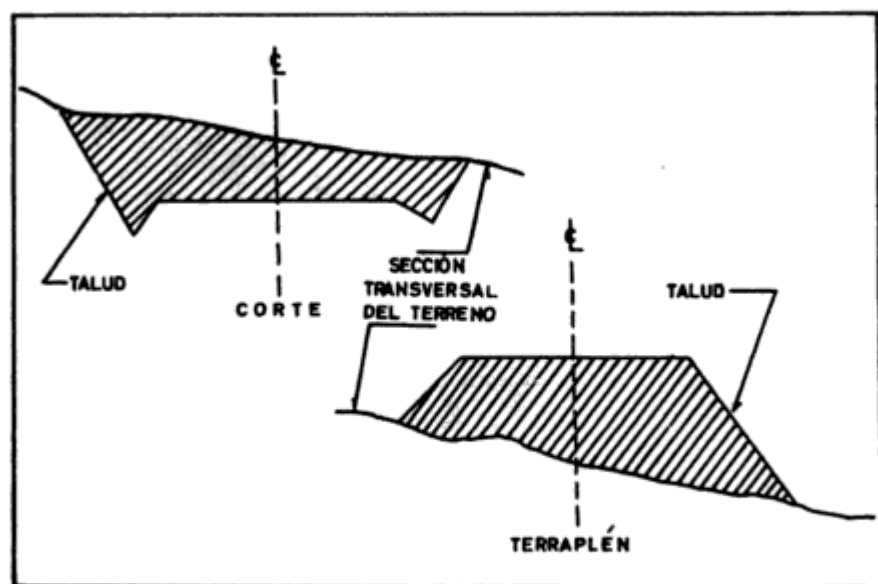
Los cambios de pendiente de la rasante deben verificarse sobre los alineamientos rectos. Sin embargo, en casi todos los trazos se presenta frecuentemente el problema de un cambio de pendiente dentro de una curva horizontal. En términos generales parece preferible sacrificar las ventajas derivadas del empleo de pendientes suaves si con ello se logra mejorar el alineamiento.

La Asociación Americana de Caminos recomienda que los pequeños cambios de dirección de los alineamientos se efectúen sobre los puntos altos de la rasante, en vez de en las depresiones; y evitar el empleo simultáneo de curvas verticales y horizontales de pequeño radio, especialmente cuando las pendientes sean fuertes. En caso de que sea necesario usar con-

juntamente una curva vertical y una horizontal, esta última deberá cubrir o sobrepasar a aquélla.

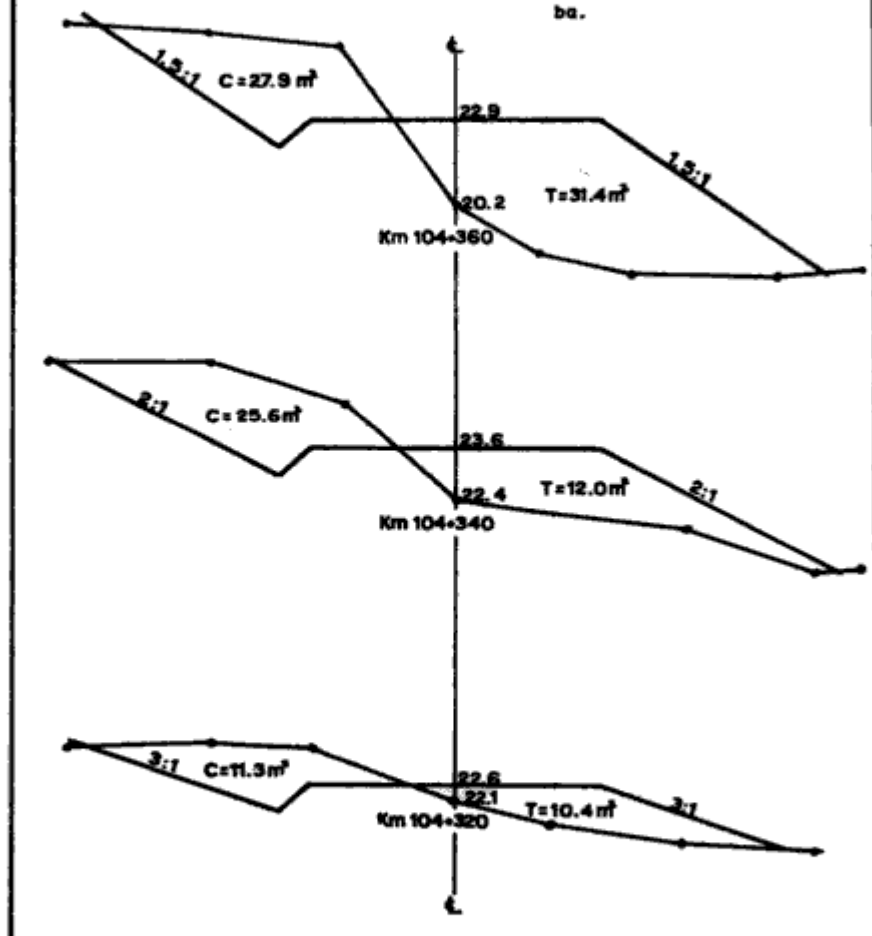
SECCIONES DE CONSTRUCCIÓN

Ya se ha indicado con anterioridad que habiendo trazado la línea definitiva en el terreno con todas sus curvas y habiéndola nivelado, se sacaban secciones transversales del terreno en cada estación de 20 m y en todos aquellos puntos intermedios en los cuales se note que haya cambio notable con respecto a las estaciones que le anteceden o le siguen. Estas secciones se llaman *Secciones de Construcción* y se dibujan a escala 1:100 en papel milimétrico. Por medio del proyecto de la subrasante podemos conocer el espesor ya sea de corte o de terraplén para cada estación completa de 20 m o de cualquier punto intermedio que haya sido nivelado. Haciendo uso de una plantilla de material transparente que represente la sección del camino con sus cunetas, se dibuja ésta sobre la sección transversal a la distancia del terreno que corresponda al corte o terraplén, según sea el caso.



ESQUEMA QUE MUESTRA LA FORMA DE DIBUJAR LAS SECCIONES TRANSVERSALES.

Nota: Las secciones transversales se leen de abajo hacia arriba.



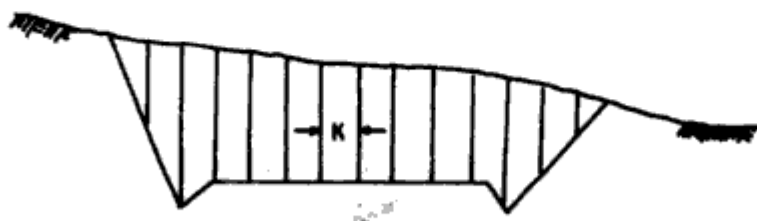
Los terraplenes se dibujarán con los taludes que le correspondan, generalmente de 1.5 a 1, y los pedraplenes con taludes de 1.25 a 1. En los cortes el talud dependerá de la estabilidad de los mismos de acuerdo con el tipo de material que los forme, variando desde el talud vertical hasta el de 1.5 a 1.

DETERMINACIÓN DE LAS ÁREAS DE LAS SECCIONES

Dibujados los perfiles transversales del camino a escala adecuada, generalmente 1 a 100, hay que medir sus áreas para determinar los volúmenes de tierras a mover.

La determinación de las áreas puede hacerse por varios procedimientos, sin embargo, normalmente se emplea el método del planímetro. Como las secciones se dibujan a las mismas escalas horizontal y vertical, con el planímetro se puede obtener rápidamente el área, en corte o en terraplén, limitada por el perfil del terreno natural, por la sección del camino y los taludes del corte o del terraplén como se puede observar en las dos figuras anteriores.

Otro procedimiento empleado para determinar el área de las secciones consiste en dividir la superficie en fajas del mismo ancho mediante líneas verticales con una separación K igual entre todas. Mientras más cercanas sean las separaciones de las líneas verticales, mayor será la aproximación que se logre con este método. Se puede obtener buena precisión, aun con bastante separación de las líneas verticales, cuando el terreno sea bastante uniforme. En términos generales se recomienda que la separación sea de 3 mm.



El área de la sección anterior se obtiene por la fórmula:

$$A = K \cdot \Sigma L$$

A = Área de la sección en metros cuadrados.

K = Separación constante entre líneas verticales (usualmente 3 mm).

L = Suma de las longitudes de las líneas verticales, en cm.

Si al hacer la multiplicación en la fórmula anterior se toma en cuenta que cada centímetro representa un metro, se dará a K un valor que represente fracciones de metro. Así, pues, si se toma como equidistancia de las líneas verticales un valor de 3 mm el valor de K será de 0.3 ya que si un centímetro (0.01) representa un metro, 3 milímetros (0.003) representará:

$$K = \frac{0.003}{0.01} = 0.3$$

De esta forma la multiplicación de la equidistancia por la suma de las líneas verticales quedará en metros cuadrados al considerar los centímetros de longitud de las líneas verticales como metros.

Otro procedimiento que se puede seguir para determinar las áreas de las secciones es el de contar materialmente los cuadros del papel milimétrico que están comprendidos dentro de la superficie que se desea medir. Se comienza por los centímetros cuadrados completos, que representan metros cuadrados. Después se cuentan los cuartos de centímetro cuadrado, se continúa con los milímetros cuadrados completos y se termina con las fracciones de milímetros cuadrados agrupándolas para formar milímetros cuadrados completos.

DETERMINACIÓN DE LOS VOLUMENES DE TIERRA ENTRE ESTACIONES

Conociendo las áreas de las diferentes secciones transversales por medio de cualquiera de los procedimientos ya indicados, vamos a ver cómo se determina el volumen de las tierras a mover. Consideremos un tramo en recta todo en terraplén o todo en corte. La sección del sólido del camino, entre los perfiles transversales, es semejante a un prismoide.

El volumen del prismoide viene dado por la fórmula:

$$V = \frac{d}{6} (A_1 + A_2 + 4 A_m)$$

$$\frac{d}{6} (A_1 + A_2 + 2 A_1 + 2 A_2) = \frac{A_1 + A_2}{2} d = \frac{d}{2} (A_1 + A_2).$$

Así pues, el volumen de material ya sea en corte o en terraplén comprendido entre dos secciones, se calculará tomando la suma de las áreas extremas y multiplicándola por la mitad de la distancia que las separa.

En el caso de que dos secciones consecutivas sea una en corte y otra en terraplén, el sólido se denomina *de paso*.

Supongamos dos secciones ABCED y EFGH, una en corte y otra en terraplén y, además, supongamos que el terreno es una superficie plana engendrada por rectas paralelas a un plano vertical que pasa por el eje del camino y que tenga por directrices las dos curvas DC y GH de intersección con el terreno con el plano de la subrasante será una curva QPR, llamada *curva de paso*. La intersección de los taludes del camino con el terreno serán curvas DQ, QH, CR y RG. Si trazamos planos verticales por AE y BF, tendremos el sólido total dividido en los sólidos parciales Aa. DQ, QEeH, QAaMOP, QEeNOP, POMbBR, PONiFR, BbCR y FFRG, unos con forma piramidal y otros con forma prismática, pero ninguno es prismoide, y la determinación de sus volúmenes es complicada. Debido a ello en la práctica se emplea un procedimiento aproximado que consiste en sustituir la curva de paso por una recta normal al eje del camino y situada a una distancia proporcional a las áreas de las secciones extremas.

Si llamamos d_1 y d_2 a las distancias parciales desde las secciones extremas al punto de paso, y T y C a las áreas de los perfiles en terraplén y corte tenemos:

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{T}{C}$$

$$d_1 C = d_2 T; \text{ como } d_1 + d_2 = d, \text{ se tiene:}$$

$$(d - d_2) C = d_2 T$$

$$Cd - Cd_2 = Td_2$$

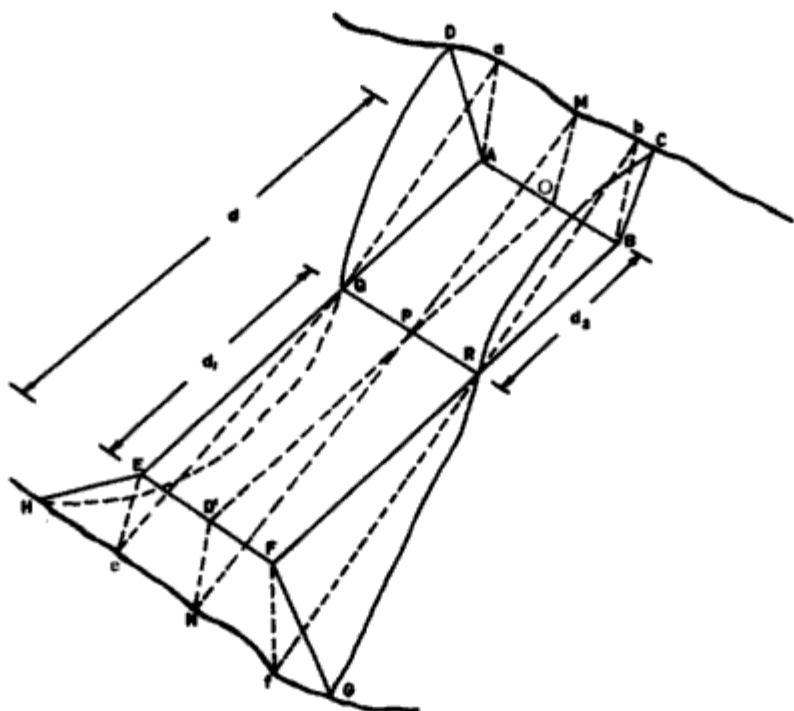
Dividiendo por d_2 :

$$\frac{Cd}{d_2} - C = T; \frac{Cd}{d_2} = C + T$$

$$\frac{d}{d_2} = \frac{C+T}{C}; Cd = d_2(C+T); d_2 = d \frac{C}{C+T}$$

De igual forma:

$$d_1 = d \frac{T}{C+T}$$



La recta de paso se puede considerar como el área cero, por lo tanto si aplicamos la fórmula de la media de las áreas, se tiene:

$$V_t = d_1 \cdot \frac{T + 0}{2} = d_1 \cdot \frac{T}{2}$$

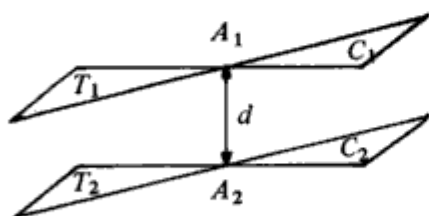
$$V_c = d_2 \cdot \frac{C + 0}{2} = d_2 \cdot \frac{C}{2}$$

y sustituyendo los valores de d_1 y d_2 por los obtenidos anteriormente se tiene.

$$V_t = d \cdot \frac{T}{T + C} \cdot \frac{T}{2} = \frac{d}{2} \cdot \frac{T^2}{T + C}$$

$$V_c = d \cdot \frac{C}{C + T} \cdot \frac{C}{2} = \frac{d}{2} \cdot \frac{C^2}{C + T}$$

Cuando las dos secciones consideradas sean mixtas de corte y terraplén, como se muestra en las figuras que siguen, si los puntos de paso de las dos secciones están en una recta paralela al eje del camino, los volúmenes de corte y terraplén serán:

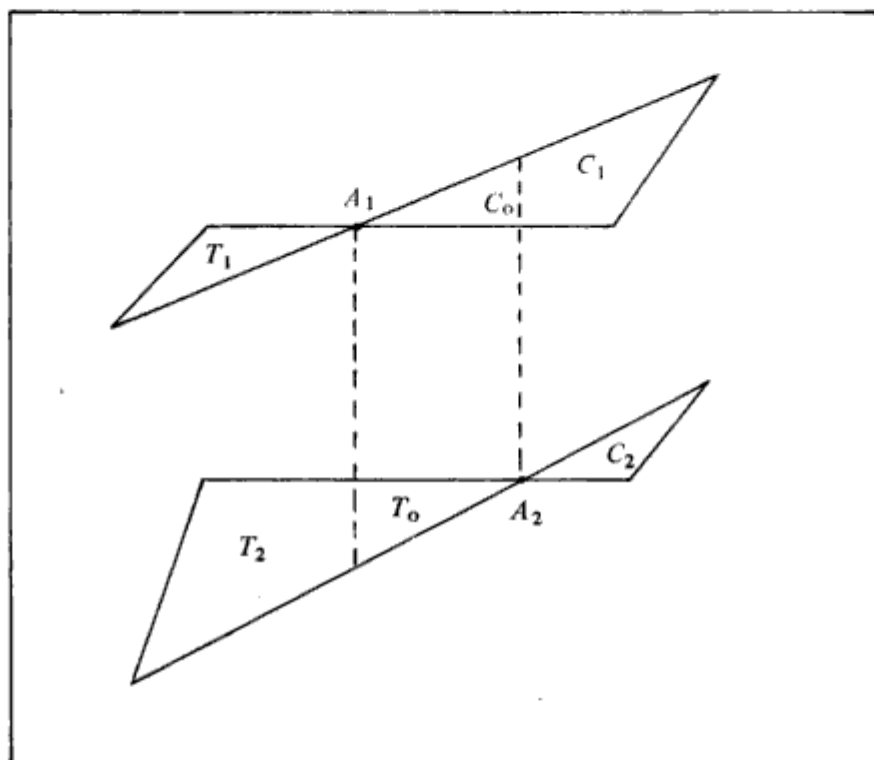


$$V_t = \frac{T_1 + T_2}{2} \cdot d$$

$$V_c = \frac{C_1 + C_2}{2} \cdot d$$

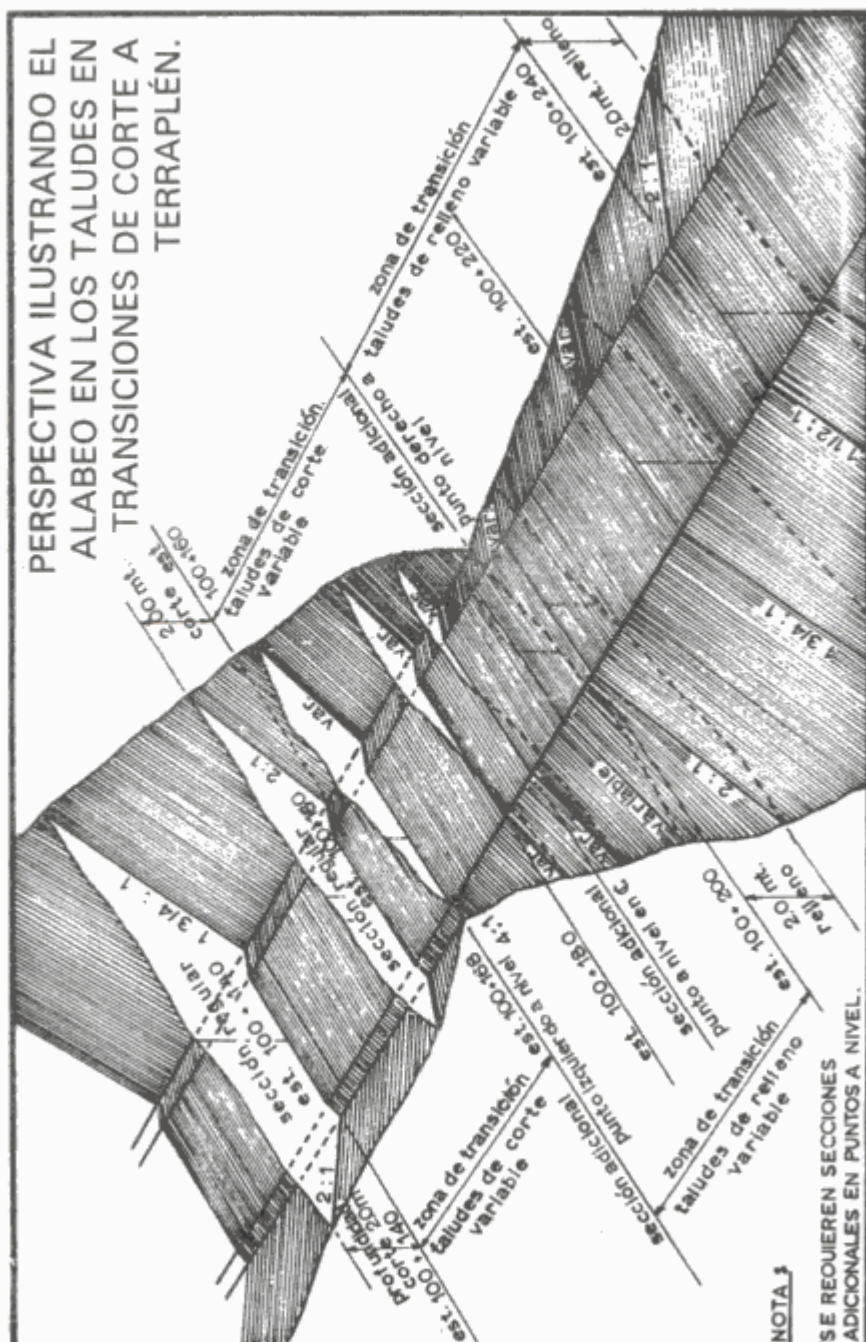
Si el punto de paso no se encuentra en la misma recta paralela al eje del camino, se imaginan trazados planos paralelos al vertical que pasa por el eje por los puntos A_1 y A_2 . El volumen buscado se descompone en una parte formada por dos terraplenes, T_1 y T_2 , y otra en corte C_o y terraplén T_o , y además, una formada por dos cortes C_1 y C_2 . Aplicando las fórmulas ya conocidas tenemos:

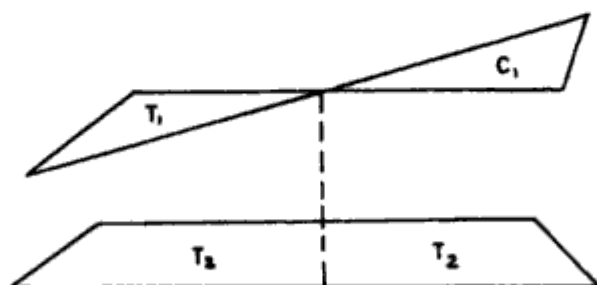
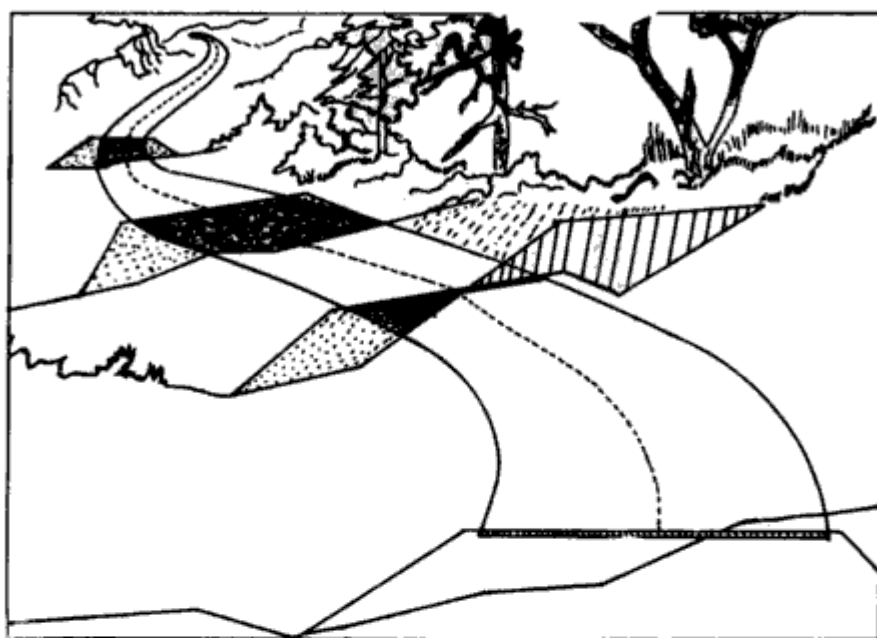
cortes C_1 y C_2 . Aplicando las fórmulas ya conocidas tenemos:



$$V_t = \frac{d}{2} (T_1 + T_2) + \frac{d}{2} \cdot \frac{T_o^2}{T_o + C_o} = \frac{d}{2} (T_1 + T_2 + \frac{T_o^2}{T_o + C_o})$$

$$V_c = \frac{d}{2} (C_1 + C_2) + \frac{d}{2} \cdot \frac{C_o^2}{C_o + T_o} = \frac{d}{2} (C_1 + C_2 + \frac{C_o^2}{C_o + T_o})$$





Ahora, si tenemos una sección mixta y otra sección toda en corte o en terraplén, trazando un plano paralelo al vertical que pase por el eje por el punto de paso de la sección mixta, tendremos un sólido en el cual las secciones extremas son ambas corte o terraplén, y otro mixto de corte y terraplén, y por lo tanto se pueden aplicar las fórmulas ya conocidas.

DIAGRAMA DE MASAS

Al diseñar un camino no basta ajustarse a las especificaciones sobre pendientes, curvas verticales, compensación por curvatura, drenaje, etc., para obtener un resultado satisfactorio, sino que también es igualmente importante conseguir la mayor economía posible en el movimiento de tierras. Esta economía se consigue excavando y rellenando solamente lo indispensable y acarreando los materiales la menor distancia posible y de preferencia cuesta abajo. Este estudio de las cantidades de excavación y de relleno, su compensación y movimiento, se lleva a cabo mediante un diagrama llamado *Curva Masa* o *Diagrama de Masas*. Aunque el método no es totalmente exacto y consume bastante tiempo, posiblemente sea el método más preciso conocido actualmente, y sólo requiere conocer los principios básicos de la aritmética.

La curva masa es un diagrama en el cual las ordenadas representan volúmenes acumulativos de las terracerías y las abscisas el cadenamiento correspondiente. Este diagrama se dibuja en el mismo papel donde se dibujó el perfil del terreno y se proyectó la subrasante. Corrientemente las abscisas se dibujan a escala de un centímetro igual a una estación y las ordenadas se dibujan a escala de un centímetro igual a 400 metros cúbicos, pero estas escalas pueden variarse según sea más conveniente.

Para determinar los volúmenes acumulados se consideran positivos los de los cortes y negativos los de los terraplenes, haciéndose la suma algebraicamente, es decir, sumando los volúmenes de signo positivo y restando los de signo negativo.

La secuela a seguir para el proyecto de la curva masa es como sigue:

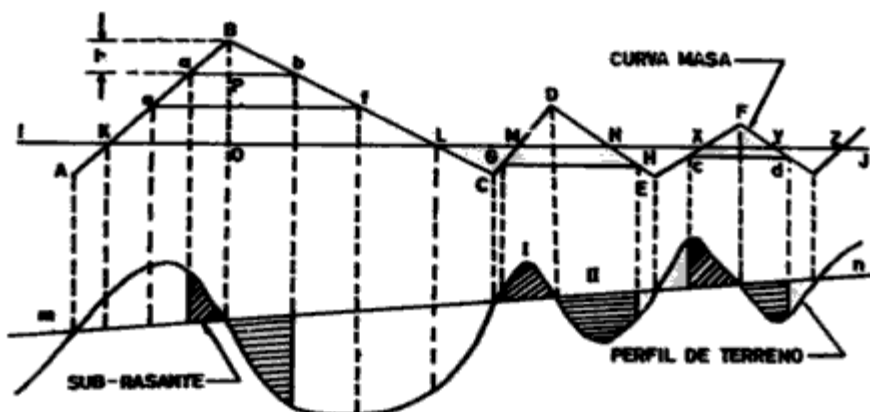
1. Se proyecta la subrasante sobre el dibujo del perfil del terreno.
2. Se determina en cada estación, o en los puntos que lo ameriten, los espesores de corte o de terraplén.
3. Se dibujan las secciones transversales topográficas (secciones de construcción).

4. Se dibuja la plantilla del corte o del terraplén con los taludes escogidos según el tipo de material, sobre la sección topográfica correspondiente, quedando así dibujadas las secciones transversales del camino.
5. Se calculan las áreas de las secciones transversales del camino por cualquiera de los métodos ya conocidos.
6. Se calculan los volúmenes abundando los cortes o haciendo la reducción de los terraplenes, según el tipo de material y método escogido.
7. Se suman algebraicamente los volúmenes de cortes y terraplenes.
8. Se dibuja la curva con los valores anteriores.

Ahora bien, como el diagrama de masas tiene por abscisa las estaciones del cadenamiento, se dibuja de izquierda a derecha, y como los volúmenes de corte aumentan el valor de las ordenadas por tener signo positivo, resulta que la curva masa sube de izquierda a derecha en los cortes, teniendo un máximo en el límite donde termina el corte. A partir de ese punto, baja de izquierda a derecha ya que los volúmenes de los terraplenes hacen disminuir el valor de la ordenada, que seguirá decreciendo hasta donde termina el terraplén y empieza otro corte. No conviene calcular la curva masa por tramos de varios kilómetros ya que como se trata de un procedimiento de aproximaciones sucesivas y es muy difícil que a la primera subrasante se escoja la más conveniente, se aconseja proceder por tramos de 500 metros a un kilómetro y hasta no quedar conforme, no seguir con los siguientes tramos. Cada vez que se proyecte una subrasante se determinan los espesores, se dibujan las secciones, se determinan las áreas, se calculan los volúmenes, se calcula la curva masa, se dibuja y se escoge la línea de compensación que puede ser la del tramo anterior. Por simple inspección y algo de experiencia se varía la subrasante para obtener una mejor compensación repitiéndose el proceso señalado en este párrafo cuantas veces sea necesario.

En términos generales, la línea de compensación que da los acarrees mínimos, es aquella que corta el mayor número de veces a la curva masa.

Comparando varios diagramas de curva masa para un mismo tramo, el mejor será el más económico, esto es aquel cuya suma del importe de las excavaciones incluyendo préstamos, más el valor de los sobreacarreos dé el menor precio, siempre y cuando se refiera a un perfil aceptable. Más adelante se da un ejemplo del cálculo de la curva masa por dos procedimientos.



Los objetivos principales de la curva masa son los siguientes:

1. Compensar volúmenes.
2. Fijar el sentido de los movimientos del material.
3. Fijar los límites del acarreo libre.
4. Calcular los sobreacarreos.
5. Controlar préstamos y desperdicios.

Se verá cada uno de estos puntos relativos a la curva masa.

Compensar volúmenes. Cualquier línea horizontal que corte una cima o un columpio de la curva masa, marca los límites de corte y terraplén que se compensan. Si se traza en la curva masa la línea GH, se corta a la curva masa precisamente en los puntos G y H. En la curva masa esta horizontal indica que el volumen comprendido entre G y D es suficiente para construir el terraplén de D a H, o bajando referencias al perfil del camino, que el volumen de corte marcado I llena el terraplén II.

La línea GH resuelve lo referente a los volúmenes I y II, pero no indica lo que debe hacerse con el resto del corte ni hasta dónde debe acarrear. Si se traza la línea horizontal IJ que corta toda la curva, se tendrá que el corte KB es suficiente para el terraplén BL, que con el corte MD se construirá el terraplén DN, que el terraplén LC se construirá con el corte CM, que el terraplén NE se construirá con el corte EX.

Bajando al perfil del camino las referencias de los puntos K, L, M, N y X, se obtienen los límites de los movimientos de los cortes y de los terraplenes.

Sentido de los movimientos. Los cortes que en la curva masa queden arriba de la línea de compensación se mueven hacia adelante, y

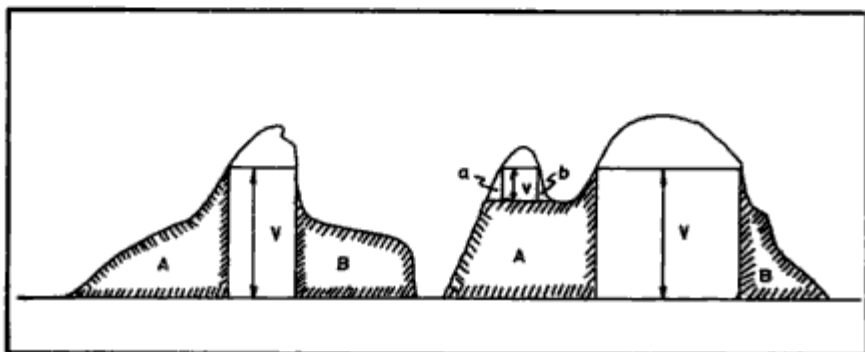
los cortes que queden abajo de la línea de compensación se mueven hacia atrás.

Distancia de acarreo libre. En la construcción de terracerías con volúmenes considerables, la longitud del acarreo necesario para colocar los materiales de excavación en los terraplenes correspondientes, ejerce una influencia importante en el costo de operaciones. Debido a que ocurren en estos casos variaciones considerables en la longitud del acarreo del material excavado, se ha adoptado la práctica de considerar dentro del precio de excavación, el acarreo del material a cierta distancia que se le denomina *distancia de acarreo libre*. Esta distancia se ha fijado sea de 20 metros, o sea una estación, y puede ser modificada. La distancia de acarreo libre es la distancia a la que cada metro cúbico de material puede ser movido sin que se haga, por lo tanto, un pago adicional.

Para determinar los volúmenes de acarreo libre, se toma un vector que horizontalmente represente a la escala del cadenamiento (1:2000) el valor del acarreo libre (20m) y se va corriendo verticalmente hasta que toque a dos puntos de la curva; la cantidad de material movido está dado por la ordenada de la horizontal al punto más alto o más bajo de la curva comprendida, (h en la figura anterior). En la figura de la curva masa anterior, las líneas *ab* y *cd* se supone que miden una estación y por lo tanto marcan el acarreo libre. Bajando, hasta el perfil del terreno los puntos donde estas horizontales *ab* y *cd* cortan a la curva masa, se tienen los límites de cortes y terraplenes correspondientes al acarreo libre. Los volúmenes de los cortes son, para cada caso, las diferencias de las ordenadas entre *a* y *B* y entre *c* y *F*.

Distancia de sobreacarreo. El sobreacarreo es el transporte de los materiales ya sea del corte o de un préstamo a mayor distancia que la del acarreo libre. A la distancia que hay del centro de gravedad del corte (o préstamo) al centro de gravedad del terraplén que se forma con ese material, se le resta la distancia de acarreo libre para tener la distancia media de sobreacarreo, y se valúa en estaciones de 20 metros y décimos de estación. *El valor del sobreacarreo se obtiene multiplicando esa distancia, por los metros cúbicos de la excavación, medidos en la misma excavación, y por el precio unitario correspondiente del metro cúbico por estación.* Para determinar la distancia media de sobreacarreo, se divide *OP* en dos partes iguales y por ese punto se traza la horizontal que se encuentra a la curva masa en los puntos *e* y *f* que tienen la propiedad de encontrarse en las ordenadas que pasan por los centros de gravedad de las masas movidas. A la distancia entre los puntos anteriores, medida hasta décimos de estación, se le resta la distancia de acarreo libre para tener la distancia de sobreacarreo.

Cuando la curva masa afecte formas irregulares como se muestra entre las figuras que siguen, u otras por el estilo, las distancias de sobreacarreo determinadas por el procedimiento anterior pueden no ser precisas. En esos casos es preferible encontrar por medio de un planímetro las áreas A y B y dividir su suma entre el volumen V para encontrar la distancia de sobreacarreo, teniendo en cuenta la escala, necesitándose a veces, resolver el problema en acarreo compuesto, agregando a lo anterior el sobreacarreo d obtenido de la suma de $(a + b)$ entre v ya que *el área entre la curva masa y una horizontal representa el producto del volumen por la longitud media de acarreo*.



Préstamos y desperdicios. Si se determinan correctamente, con anterioridad, los factores de abundamiento y de reducción de los materiales, se puede observar que los volúmenes de los cortes son suficientes para construir los terraplenes y no hay desperdicio. Sin embargo, es muy común que las determinaciones de los factores antes mencionados no se lleven a cabo y sean nada más supuestos, con los cual la curva masa no se cumple enteramente y los cortes no son suficientes para terraplenar, siendo necesario hacer préstamos de materiales que deben ser autorizados por el ingeniero. Si en un determinado caso se observa que los préstamos se repiten sistemáticamente puede modificarse el proyecto de la subrasante.

Si los préstamos son nada más eventuales, puede modificarse la curva masa corrigiendo los abundamientos o reducciones de acuerdo con la realidad.

Cuando por una determinada causa sea necesario hacer uso de un préstamo, en muchas ocasiones se presenta duda de si es más conveniente tomar los materiales de un préstamo o sobreacarrearlos de un corte. Para ello es necesario determinar la distancia económica de sobreacarreo. Así, el costo del metro cúbico de préstamo y del costo de ese mismo metro cúbico acarreado de un corte, se obtiene la distancia económica de sobreacarreo de la siguiente manera:

Costo del metro cúbico del préstamo	\$ 7.50
Costo del sobreacarreo por metro cúbico y por estación de 20 metros	\$ 0.35

$$\text{Distancia de acarreo} = \frac{7.50}{0.35} = 21.4 \text{ estaciones}$$

Por lo tanto el número de metros a los cuales se puede sobreacarrear será de $21.4 \times 20 = 428$ metros. Aumentándole a esta distancia los 20 metros del acarreo libre, se tienen 448 metros como la máxima distancia a la que se puede acarrear de un corte, ya que más allá de esa distancia conviene más que el contratista traiga material de un préstamo.

DOS PROCEDIMIENTOS OPTATIVOS PARA EL CÁLCULO DE LA CURVA MASA

A continuación se desarrollarán dos procedimientos diferentes para el cálculo de la curva masa. Los dos dan resultados satisfactorios y aun los mismos resultados si se escogen atinadamente los coeficientes por cambio de volumen. Para el cálculo del volumen de sobreacarreo, siguiendo cualquiera de los dos procedimientos, se multiplicará el volumen del material compacto (en la excavación) sobreacarreado, por la distancia de sobreacarreo. Ya en los precios unitarios de los contratos se especifica en esta forma para evitar confusiones y para que los resultados sean los mismos independientemente de quien los calcula.

PROCEDIMIENTOS DE ABUNDAR LOS CORTES

Los volúmenes de corte de cada estación se multiplican por un coeficiente mayor que la unidad que corresponde al abudamiento que sufrirá el material. Este coeficiente es generalmente llamado *factor de abudamiento*, y se determina en la forma siguiente:

$$\text{Factor de abudamiento del corte al material suelto} = F.A. = \frac{\gamma_b}{\gamma_s} = \frac{V_s}{V_b}$$

en la que:

γ_b = Peso volumétrico del material en el banco o corte.

γ_s = Peso volumétrico del material suelto.

V_s = Volumen del material suelto.

V_b = Volumen del material en el banco o corte.

Esta obra es de gran utilidad en la práctica de Ingeniería Civil ya que cubre los diferentes temas que se exigen en los programas del área de los transportes; sirve de consulta para los ingenieros que se dedican a los más importantes trabajos en diseño, construcción y conservación de vías de comunicación con técnicas menos sofisticadas y más baratas que las empleadas en países con grandes recursos económicos.

Se presentan, de manera sencilla y didáctica, los aspectos principales de la materia, además tiene la gran ventaja de que los temas se pueden dividir y adaptarse a los diversos programas de las Universidades, sin que por ello se pierda la coherencia en la exposición.

Un tema muy importante es el que trata el capítulo de maquinaria, donde se analizan las diferentes máquinas que se emplean en la construcción de terracerías y pavimentos así como el rendimiento de cada una de ellas.

Otro capítulo muy interesante es el que se refiere a los pavimentos flexibles y rígidos, es decir, los de asfalto y de concreto hidráulico.

e-mail: limusa@noriega.com.mx
www.noriega.com.mx

AREA: ING. CIVIL

ISBN 968-18-4849-7



9 789681 848491



Material protegido por derechos de autor