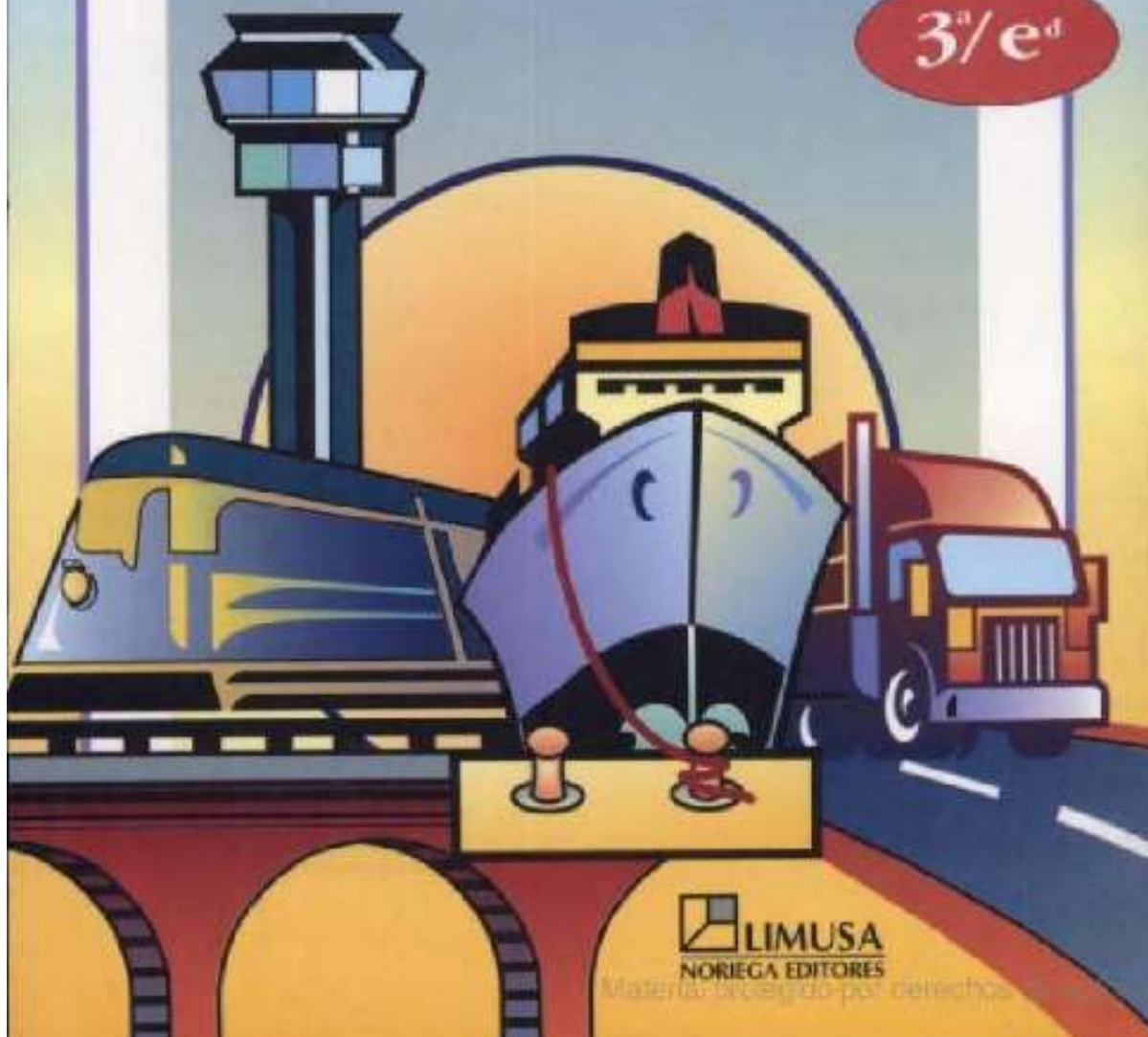


VÍAS DE COMUNICACIÓN

Caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos

CRESPO

3^{ra} e^d



 **LIMUSA**
NORIEGA EDITORES

Materia protegida 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

CONTENIDO

	Pág.
PROLOGO	V
CAPITULO I. PRIMERA PARTE: CAMINOS	1
Caminos 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 velocidad, 7; Método del cronómetro, 7; Método del enoscopio, 7; Método radarmétrico, 8; La velocidad y los accidentes de tránsito, 9; Volumen de tránsito, 10; Tipo de tránsito, 12; Capacidad de un camino, 13; Factores que reducen la capacidad de las carreteras, 15; Curvatura, 17; Sobreelevación, 18; Ampliación, 22; Transición, 24; Pendiente, 28; Visibilidad, 31; Ancho de sección, 39; Derecho de vía, 42; Cargas de proyecto, 42; Dimensiones de los vehículos, 47; Carga por rueda de diseño, 56; Espesor del pavimento, 59.	
CAPITULO II. ETAPAS DE UNA CARRETERA	61
II-1-PLANEACION	61
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 y hacienda, 67; Comunicaciones y transportes, 67; Zonas vitales, 68; Estudio previo, 68.	

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 natural, **235**; Asfalto de lago, **235**; Rocca asfáltica, **235**; Gilsomita, **235**; Asfalto refinado con vapor, **235**; Asfalto oxidado o sopiado, **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-

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

I-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 alternativos para el cálculo de la curva masa, **129**; Procedimientos de abanquear los cortes, **129**; Procedimiento de corregir los volúmenes de los terrapienes, **130**; Proyecto de caminos por el procedimiento fotogramétrico electrónico, **135**; Drenaje de los caminos, **140**; Drenaje superficial, **141**; Camélas, **142**; Contracunetas, **146**; Bombo del camino, **147**; Lavaderos o verederos, **147**; Obras de cruce: Alcantarillas, **148**; Arca hidráulica de las alcantarillas, **151**; Pendiente de la alcantarilla, **156**; Longitud de las alcantarillas, **159**; Murros 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**; Zanjas, **187**; Drenes ciegos, **187**; Drenes de tubo, **188**; Tumbado de los tubos, **189**; Secuela en el proyecto de drenaje subterráneo, **190**; Estudio de los pavimentos, **194**; 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 penetración

nano 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; Compromisión 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 adquinados, 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; Dosisificación 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

CONTENIDO

XIV

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.

717

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, arrastró 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

XV

XVI

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, caerían 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 evitaba 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.

CAPITULO I

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 adaptada.

CLASIFICACION 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.

CLASIFICACION 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:



CLASIFICACION ADMINISTRATIVA

Por el aspecto administrativo las carreteras se clasifican en:

- 1.— Federales: cuando son costeadas íntegramente por la Federación y se encuentran por lo tanto a su cargo.
- 2.— Estatales: cuando son construídos 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 Juntas Locales de Caminos.
- 3.— Vecinales: cuando son construídos 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 Juntas Locales de Caminos.
- 4.— De Cuota: los cuales quedan a cargo de la dependencia oficial descentralizada denominada Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Conexos siendo la inversión recuperable a través de cuotas de paso.

CLASIFICACION TECNICA 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 (15 años)* y las especificaciones geométricas aplicadas. En México, la Secretaría de Obras Públicas, clasifica técnicamente a las carreteras de la manera siguiente:

GENERALIDADES

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).

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 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 convenientemente 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

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 adecuados, etc.

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

La capacidad teórica de un camino ha sido 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: $Q = \frac{1000 V}{S}$

En la que V es la velocidad medio 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, el 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 de la red caminera, en el resto la capacidad práctica de las carreteras es superior al tránsito actual.

Esto 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 acostamientos (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 acostamiento, 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 acostamiento 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 por la Secretaría de Obras Públicas de México, se pueden obtener los valores recomendados 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:

Porcentaje de vehículos pesados, con relación al tránsito total. Caminos de dos carriles.	EFFECTOS DE LOS VEHICULOS PESADOS	
	Terreno Plano	Terreno Ondulado
0	900	100
10	800	89
20	710	79
		900
		640
		500
		100
		71
		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:

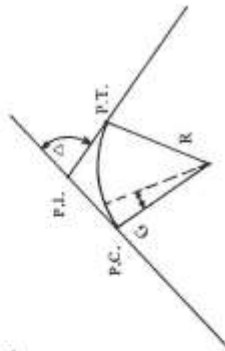
Distancia del borde de la carpeta asfáltica hasta el obstáculo, en metros.	EFFECTO DE LAS OBSTRUCCIONES	
	Ancho efectivo de dos carriles de 3.66 metros cada uno.	
1.80		7.30
1.20		6.70
0.60		6.10
0.00		5.50

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:

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

$$G = \frac{1145.91}{R} = \frac{11.46}{R}$$



La tabla que sigue muestra los grados máximos de curvatura recomendables según el tipo de camino y según la topografía:

GRADOS DE CURVATURA MAXIMOS RECOMENDABLES

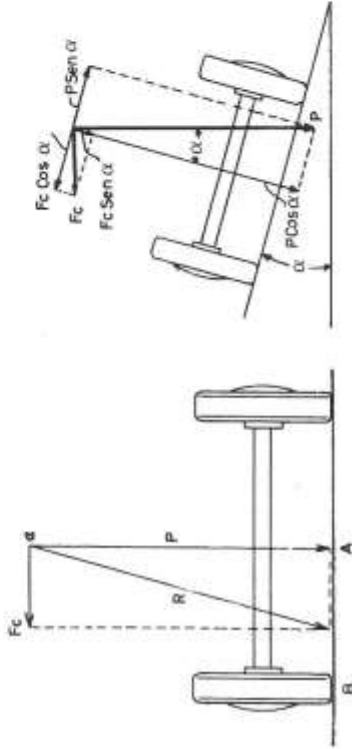
TIPO DE CAMINO	TOPOGRAFIA			
	Plana, o con poco lomerío	Con lomerío fuerte	Montañoso pero poco escarpado	Montañoso, pero muy escarpado
Tipo Especial	Requiere Estudio Especial			
Tipo A	8°	11°	16°30'	26°
Tipo B	11°	16°30'	26°	35°
Tipo C	16°30'	26°	47°	67°

SOBREELEVACION

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 u_t no es suficiente para que $P \sin \alpha$ sea mayor que la fuerza centrífuga F_c , y el segundo se presenta cuando F_c por A_x 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:

$$F_c = \frac{P \cdot V^2}{g \cdot R}$$

Por lo tanto en el peligro de deslizamiento 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 P .
- La fuerza resistente provocada por el rozamiento, o sea la reacción

GENERALIDADES

del rozamiento transversal por rotación y cuyo valor es de $u_t (F_c \sin \alpha + P \cos \alpha)$.

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

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

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.

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 dá 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.

GRADO DE LA CURVA	SOBREELEVACION EN %
2°	2.0
2°30'	4.0
3°	6.0
3°50'	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

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:

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

GENERALIDADES

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:

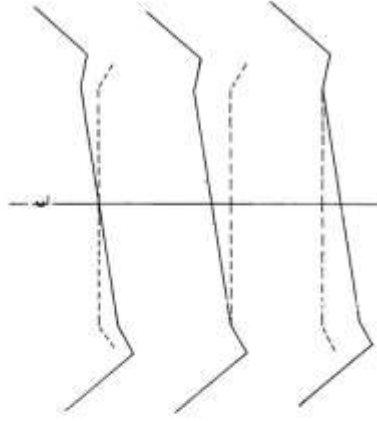
$$\tan \alpha = \frac{(0.75 V)^2}{127 R} = \frac{0.5625 V^2}{127 R}$$

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

$$\text{Peralte en \%} = p = \frac{100 V^2}{226 R} = \frac{V^2}{2.26 R}$$

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, etc.

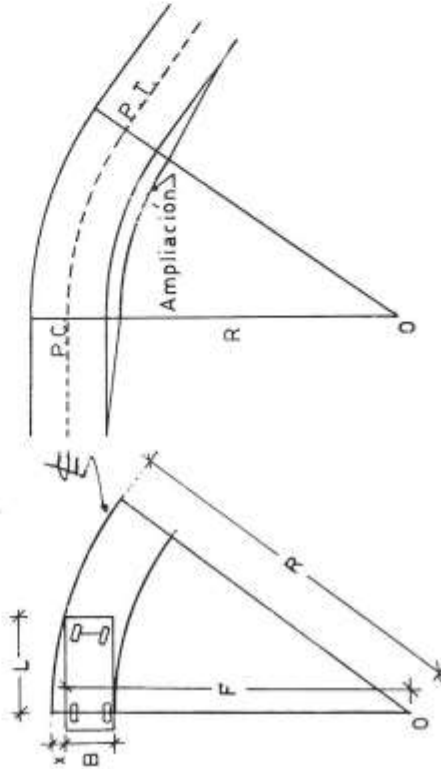


AMPLIACION

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 tienen que seguir una ruta que las acerca al centro del camino; y por otro lado, los vehículos que transitan por la parte exterior 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.

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.

**GENERALIDADES**

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.S.T.H.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 $\frac{0.10 V}{\sqrt{R}}$

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.

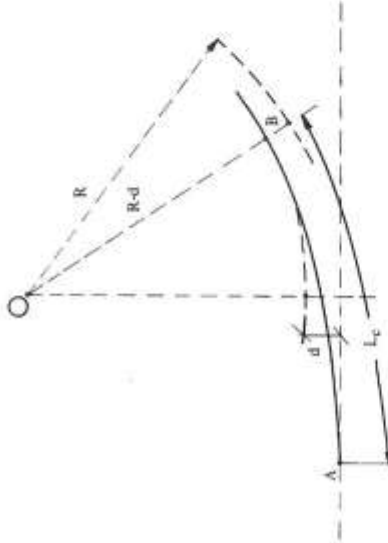
También se puede calcular el sobre ancho de las curvas por la fórmula:

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

Entendiendo las letras el mismo significado ya indicado con anterioridad.

TRANSICION

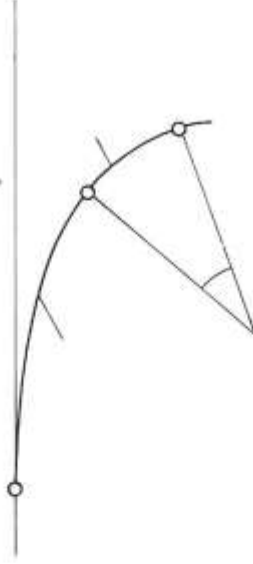
El trazo de un camino por líneas rectas y curvas circulares horizontales es admisible únicamente como una primera aproximación, ya que la discontinuidad de curvatura existente en el enlace de una tangente con la mencionada curva no puede ser aceptada en un trazo racional. Así pues, prácticamente, el 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 precisión, *R*, para poder evitar la sacudida del vehículo por adquirir de repente la relación centrífuga $\frac{V^2}{R}$ en la unión *B* con la curva, y cuya longitud *AB* sea igual a la longitud *L_c* de la curva de transición.



Para proyectar un camino con características de seguridad suajenamiento 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.



Con curvas de transición 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, hemisicata 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 valdrá:

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

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, teniendo bastante seguridad con el valor de 0.61 m/seg³, y con este valor la longitud de transición resulta de:

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

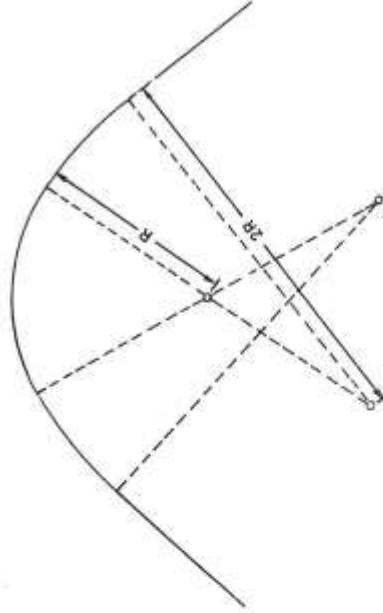
en la que V está dada en metros por segundo y R en metros.

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

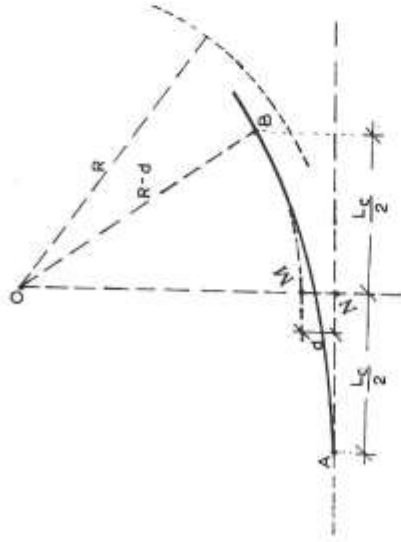
$$L_c = \frac{1.64 V^3}{(3.6)^3 R} = 0.0351 \frac{V^3}{R}$$

formula 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 por 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 tra-

mos 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 del transporte por que se disminuye la velocidad, aumenta el gasto de combustible por kilómetro y el desgaste de los vehículos, especialmente en los neumáticos. Por lo anterior, hay siempre 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 se 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

TIPO DE CAMINO	TOPOGRAFIA		
	Plana o con poco lomerío	Con lomerío fuerte, escarpada	Montañosa, pero muy escarpada
Tipo Especial	REQUIERE ESTUDIO ESPECIAL		
Tipo A	4%	5%	5.5%
Tipo B	4.5%	5.5%	6%
Tipo C	5%	6%	6.5%
			7%

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

$$i = \frac{0.15 C N}{V P} - 1.5$$

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 del 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 camiones 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 super-cargadores 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 de 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:

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

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:



México ha venido evolucionando, desde 1821 hasta 1872, del tráfico de arriería y diligencias, hasta la aparición del ferrocarril en 1872. En sus primeros 54 años se construyeron 350 kilómetros de vía férrea cada año, desde 1872 hasta 1926, reduciéndose ese ritmo entre 1926 y 1966 a solo una tercera parte, con lo cual se alcanza el kilometraje actual (1966) de la red férrea mexicana, con 23,000 kilómetros aproximadamente. Se estima que son aún necesarios unos 3,500 kilómetros más para terminar la red básica, además de modernizar el alineamiento de las vías existentes cuya edad oscila entre los 60 y 90 años en una buena parte.

La reducción del ritmo de construcción de las vías férreas se debió, en parte, a la necesidad de crear la red caminera de la cual se han construido 55,000 kilómetros de caminos, transitables en todo tiempo, entre 1926 y 1966.

Los ferrocarriles nacionales mueven, diariamente, algo más de 500 trenes (1/3 de pasaje y 2/3 de carga) recorriendo un promedio de 300 kilómetros los de pasaje y de 200 kilómetros los de carga.

El tren de carga *medio* produce 100 mil toneladas-kilómetro (netas) por tren, con recorrido medio de 200 kilómetros y una distancia media de 450 km. por tonelada.

El tren de pasajeros *medio* produce 60 mil pasajeros-kilómetro, con recorrido medio de 300 km., por 120 km de recorrido por pasajero.

Los ferrocarriles mexicanos mueven sus trenes con, aproximadamente, 1000 locomotoras, 2000 coches y 25000 carros.

DEFINICION

Un ferrocarril se puede definir como la vía provista de guías paralelas, denominadas rieles, sobre las que se deslizan una serie de trenes movidos por tracción mecánica.

CLASIFICACION DE LOS FERROCARRILES

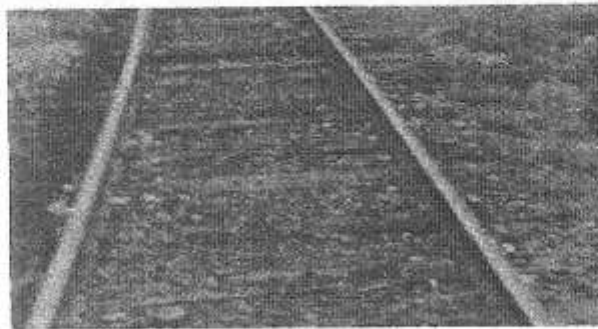
No se cuenta en la actualidad con una clasificación unificada de las líneas de ferrocarril debido a que las mismas presentan una gran variedad en sus características. Sin embargo, desde ciertos puntos de vista se pueden clasificar en:

- a) LINEAS PRINCIPALES Y LINEAS SECUNDARIAS. Las líneas principales son aquellas que forman las grandes líneas troncales y las líneas secundarias las que complementan la red formada por las

- anteriores dando así un sistema completo de vías férreas.
- b) LINEAS DE VIA ANGOSTA Y DE VIA ANCHA. Esta clasificación corresponde al aspecto económico de su construcción sin tener en cuenta si es una vía principal o secundaria, es decir que una línea principal no necesariamente debe ser de vía ancha o que una secundaria sea de vía angosta, ya que ello dependerá de los aspectos económicos relativos a la construcción.
 - c) LINEAS DE TRANSITO GENERAL, LINEAS SUB-URBANAS Y LINEAS URBANAS. Esta es una clasificación relativa al servicio público que prestan y así se tiene que las líneas de tránsito general corresponden al servicio nacional o internacional de larga distancia. Las líneas sub-urbanas son aquellas que ligan una población con sus zonas de influencia cercanas. Las líneas urbanas son las que prestan servicio dentro de las poblaciones, ya sean estos servicios efectuados sobre la superficie como los tranvías o subterráneos o elevados como los metropolitanos.
 - d) LINEAS DE SERVICIO PARTICULAR. Corresponde esta clasificación a las líneas dedicadas exclusivamente al servicios de algunas empresas de carácter privado tales como las líneas mineras.

CONSTITUCION DE LA VIA

La vía de un ferrocarril se compone de dos partes principales: las terracerías y la superestructura. Las terracerías son el conjunto de obras formadas por cortes y terraplenes para llegar al nivel de subrasante, y la superestructura, o vía propiamente dicho, es la parte que va arriba de la terracería y la forman dos hileras de rieles sujetos a piezas transversales llamadas *durmientes*, que a su vez descansan sobre un lecho de material pétreo denominado *balasto*, a lo que hay que agregar los accesorios de la vía tales como placas, planchuelas, tornillos, etc.



$$H = 0.45 \sqrt{F}$$

H = altura de la ola, desde el cono hasta la cresta, expresada en metros.

F = Fetch = distancia en línea recta, expresada en millas náuticas (1851 m) de agua abierta en las que es posible el crecimiento de la ola bajo la acción del viento sin interrupciones producidas por masas de tierra.

Obras costeras. — Para que un puerto pueda cumplir debidamente con sus funciones debe estar protegido ya sea natural o artificialmente por medio de obras especiales, y de ahí que se haya establecido que deben cumplir con tres condiciones:

- Contar con canal navegable de profundidad suficiente para el calado de los barcos que han de circular por ellos.
- Contar con las protecciones adecuadas contra la acción destructora de las olas, ya sea mediante escolleras, rompeolas, espigones o malecones.
- Contar con un fondo con anclaje seguro para mantener a los barcos lo suficientemente inmóviles contra los grandes vientos.

Además, la entrada de los puertos debe ser lo suficientemente amplia para permitir el paso fácil de los barcos y lo suficientemente estrecha para evitar el paso de un exceso de oleaje durante las tempestades.

Actualmente se está tendiendo a que la anchura de la entrada a los puertos sea igual al largo de los mayores barcos que se piensa pueda alojar.

Se indicará ahora algo relativo a cada una de las condiciones que se han mencionado y que deben satisfacer los puertos.

1.— **CANAL DE ENTRADA.** La profundidad del canal de entrada a un puerto está relacionada no sólo con el calado de los barcos sino también con factores como el de la depresión del agua en el movimiento del barco y también con el cabeceo del mismo. La profundidad necesaria en el canal de entrada viene dada por la expresión:

$$D = D' + D'' + \frac{H}{3}$$

en la que:

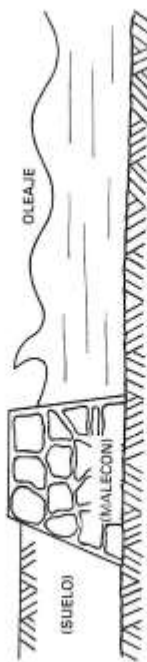
D' = calado del mayor barco que va a utilizar el puerto.

D'' = valor que depende del descenso del barco en su movimiento y que vale 1.2 m en los puertos de mayor importancia y de 0.60 m en los de menor importancia.

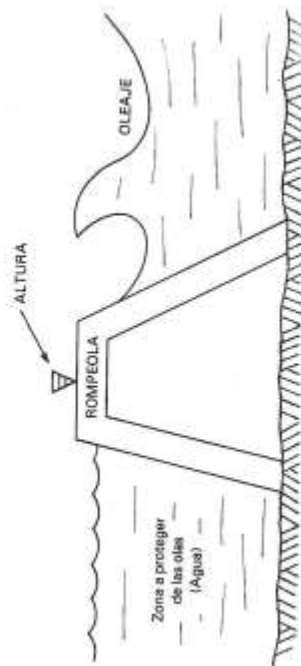
H = altura de las olas máximas, en metros.

2.— **MALECONES, ROMPEOLAS, ESCOLLERAS y ESPIGONES.** Estas obras de protección son bastante parecidas entre sí pero tienen su diferencia.

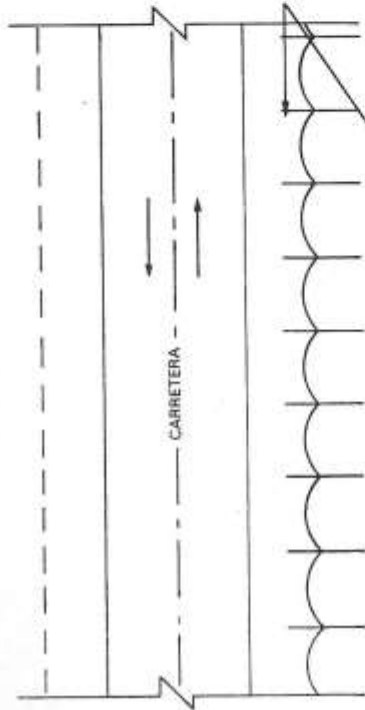
Los "malecones" son aquellas obras de protección que se construyen paralelas a la costa y que esporádicamente puede ser o no salpicada su parte superior por el agua al romper las olas contra el malecón.



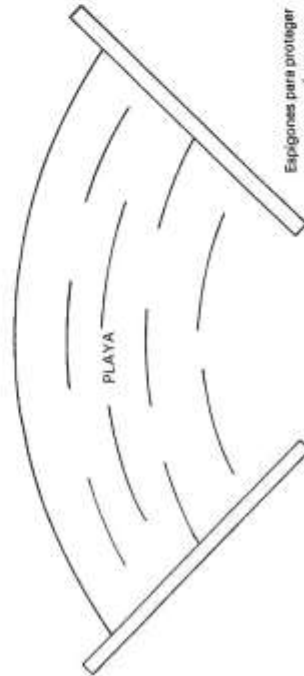
Las "rompeolas" son obras a construir de tal manera que sobresalgan de la costa a proteger. Su tipo puede ser variable.



Los "espigones" son elementos que se construyen ya sea normal o inclinados a la costa con el objeto de proteger ya sea a una playa, carretera, etc.



Espigones cortos y cercanos unos de otros para proteger a una carretera.



Espigones para proteger a una playa. Generalmente son de unos 6 a 8 m de profundidad.

Al construir los espigones siempre hay que ver cuál es el objetivo que se persigue con ellos.

Las "escolleras" son rompeolas que en muchas ocasiones quedan sumergidas así:



El análisis estructural de un rompeolas se relaciona, lógicamente, con las dimensiones de los elementos y los taludes del mismo. En general la fuerza de las olas que actúa sobre una piedra determinada, es proporcional a la superficie de la piedra expuesta a su acción, mientras que la resistencia de la piedra es proporcional a su volumen. De aquí que a mayor tamaño de la piedra, mayor estabilidad.

El peso necesario mínimo de cada una de las piedras que forman un rompeolas viene dado por la fórmula:



$$W = \frac{\gamma_r \cdot H^3}{K_d(\gamma_r/\gamma_w) - 1} \cot \alpha$$

W = peso mínimo que debe tener cada piedra que forma el rompeolas, en kg.

γ_r = peso volumétrico de la piedra, en kg/m³.

H = altura de la ola de diseño, en metros.

γ_w = peso volumétrico del fluido, en kg/m³.

α = ángulo del talud del rompeolas, en grados.

K_d = coeficiente que tiene los siguientes valores: