

Indice

PRIMERA PARTE

Capítulo 1. ESTUDIO DE RUTAS PARA EL TRAZADO DE CARRETERAS

- 1.1. Introducción **3**
- 1.2. Planificación y transporte **3**
- 1.3. Alcance del proyecto de carreteras y de la función del ingeniero **15**
- 1.4. Estudios de rutas para el trazado de carreteras **15**
 - 1.4.1. Factores de localización de una carretera **15**
 - 1.4.2. Obtención de la información **16**
 - 1.4.3. Elaboración de los croquis **17**
 - 1.4.4. Reconocimientos preliminares **18**
 - 1.4.5. Recomendaciones sobre los reconocimientos preliminares **21**
 - 1.4.6. Evaluación de las rutas **24**

Bibliografía **26**

Apéndice: Normas para el estudio geotécnico de carreteras. Estudio geotécnico preliminar **27**

Capítulo 2. ESTUDIO DEL TRAZADO DE CARRETERAS

- 2.1. Introducción **29**
- 2.2. Reconocimientos topográficos terrestres **29**
 - 2.2.1. Poligonales de estudio **29**
 - 2.2.2. Criterios para el desarrollo de los trazados **30**
- 2.3. Estudio del trazado **31**
 - 2.3.1. Trazado por terreno plano **31**
 - 2.3.2. Trazado por terreno montañoso **34**
 - 2.3.2.1. Estudio de las líneas de pendiente uniforme **34**
 - 2.3.2.1.1. Manera general de llevar una línea de pendiente en los planos **34**
 - 2.3.2.1.2. Distintos casos que se pueden presentar al llevar una línea de pendiente en los planos **36**
 - 2.3.2.1.3. Manera general de llevar una línea de pendiente en el campo **36**
 - 2.3.2.1.4. Distintos casos que se pueden presentar al llevar una línea de pendiente en el campo **37**
 - 2.3.2.2. Consideraciones sobre los trazados **39**
 - 2.3.2.3. Ejemplos sobre la forma de llevar un trazado **42**

- 2.4. Levantamientos aéreos **47**
 - 2.4.1. Obtención y examen de las fotografías aéreas **47**
 - 2.4.2. Interpretación de las fotografías aéreas **58**
 - 2.4.3. Reconocimientos preliminares y localización de carreteras utilizando fotografías aéreas **63**
 - 2.4.4. Elaboración de los mapas aerofotogramétricos para la elaboración del proyecto **69**
- 2.5. Evaluación de los trazados **74**
- Bibliografía **76**

Capítulo 3. ANTEPROYECTO DE CARRETERAS

- 3.1. Introducción **77**
- 3.2. Información topográfica para anteproyectar **77**
 - 3.2.1. Levantamientos topográficos terrestres para anteproyectar **77**
 - 3.2.1.1. Levantamiento de la línea de estadia **78**
 - 3.2.1.1.1. Levantamiento del eje **78**
 - 3.2.1.1.2. Levantamiento de las secciones transversales **82**
 - 3.2.1.2. Levantamiento de la poligonal de precisión **87**
 - 3.2.2. Cálculo de las coordenadas de la poligonal de estudio **87**
 - 3.2.3. Precisión de los levantamientos topográficos **89**
 - 3.2.4. Dibujo de los planos de la faja de estudio **90**
- 3.3. Criterios y normas para establecer los alineamientos y pendientes en un anteproyecto **94**
- 3.4. Método general para anteproyectar **99**
 - 3.4.1. Manera general para anteproyectar la línea *L* cuando la pendiente es el control **99**
 - 3.4.2. Manera general para anteproyectar la línea *L* cuando la pendiente no es control **104**
- 3.5. Variantes en la manera general de anteproyectar **105**
 - 3.5.1. Anteproyecto de tramos montañosos **106**
 - 3.5.1.1. Manera de anteproyectar en tramos montañosos **108**
 - 3.5.1.2. Diferencias entre la línea *L* y la de estadia durante el anteproyecto **108**
 - 3.5.2. Anteproyecto de tramos a media ladera **114**
- 3.6. Curvas de enlace. Líneas de *C* y *T*. Puntos de paso **117**

- 3.7. Normas del Ministerio de Obras Públicas para la presentación del proyecto preliminar o anteproyecto **123**
- 3.8. Estudio económico de los anteproyectos **124**
- 3.9. Utilización de los computadores electrónicos en el estudio y proyecto de carreteras **126**
 - 3.9.1. El modelo digital del terreno (DTM) **127**
 - 3.9.1.1. Sistema DTM del Massachusetts Institute of Technology (M. I. T.) **130**
 - 3.9.1.2. Sistema DTM de la Universidad Central de Venezuela **132**
 - 3.9.1.3. Observaciones sobre el DTM y recomendaciones para su uso **133**
 - 3.9.2. El sistema simulador de la operación de vehículos **134**
 - 3.9.2.1. Observaciones al sistema simulador de la operación de vehículos **134**
 - 3.9.3. El sistema ROADS del Massachusetts Institute of Technology **135**
 - 3.9.3.1. Observaciones al sistema ROADS **135**
 - 3.9.4. Generación automática de la rasante. El sistema SARA **135**
 - 3.9.4.1. Técnica utilizada en la generación automática de rasantes **136**
 - 3.9.4.2. Criterios de diseño **137**
 - 3.9.4.3. Criterios de optimización **137**
 - 3.9.4.4. Observaciones sobre el programa SARA **138**
 - 3.9.5. El sistema de programas HOPS **138**
 - 3.9.5.1. El programa PRELUDE **138**
 - 3.9.5.2. El programa VENUS **139**
 - 3.9.5.3. El programa MINERVA **140**
 - 3.9.5.4. Observaciones sobre el sistema HOPS **140**
 - 3.9.6. Optimización del trazado horizontal y vertical de la vía **141**
- 4.2.3.2. Método de tanteos en el terreno **147**
- 4.2.4. Cálculo de las áreas de las secciones transversales **148**
- 4.2.5. Cálculo del volumen de los prismoides **151**
 - 4.2.5.1. Fórmula prismoidal y de las áreas medias **151**
 - 4.2.5.2. Corrección prismoidal **151**
 - 4.2.5.2.1. Corrección prismoidal para secciones de distinto tipo **153**
 - 4.2.5.3. Corrección por curvatura **154**
 - 4.2.5.3.1. Determinación de la posición del centro de gravedad **155**
- 4.3. Volúmenes de tierra obtenidos de préstamo **157**
- 4.4. Compensación de volúmenes y cálculo de transportes **159**
 - 4.4.1. Compensación y transporte. Conceptos **160**
 - 4.4.2. Diagrama de masas **162**
 - 4.4.2.1. Propiedades del diagrama de masas **165**
 - 4.4.2.2. Compensación de volúmenes y sentido y largo de los acarrees **167**
 - 4.4.2.3. Distinto casos que pueden presentarse en la compensación de los volúmenes del movimiento de tierras **168**
- 4.5. Utilización de los computadores electrónicos en el cálculo del movimiento de tierras **170**
- 4.6. Estudios geotécnicos para el estudio y construcción de carreteras **170**
- 4.7. Características del subsuelo y trazado de carreteras **178**
 - 4.7.1. Terraplenes **183**
 - 4.7.1.1. Terraplenes sobre laderas inclinadas **183**
 - 4.7.2. Taludes de banqueo **184**

Bibliografía **187**

Apéndice: Normas para el estudio de carreteras, MOP. Estudio geotécnico para el proyecto **189**

SEGUNDA PARTE

Capítulo 4. MOVIMIENTO DE TIERRAS

- 4.1. Introducción **143**
- 4.2. Cómputo métrico de los volúmenes de tierra **143**
 - 4.2.1. Formación de los prismoides **143**
 - 4.2.2. Formación de las secciones transversales **144**
 - 4.2.3. Colocación de las estacas de talud **145**
 - 4.2.3.1. Método analítico **145**

Capítulo 5. CONTROLES DE DISEÑO GEOMETRICO EN EL PROYECTO DE UNA CARRETERA

- 5.1. Introducción **205**
- 5.2. Características de las corrientes de tráfico **205**
 - 5.2.1. Generalidades **205**
 - 5.2.2. Elementos que definen las corrientes de tráfico **207**

- 5.2.2.1. Volumen de tráfico **207**
 - 5.2.2.1.1. Características de los volúmenes de tráfico **207**
 - 5.2.2.2. Densidad **210**
 - 5.2.2.3. Velocidad **212**
 - 5.2.2.3.1. Velocidad y consumo de carburante **216**
 - 5.3. Proyección del tráfico **219**
 - 5.4. Capacidad y niveles de servicio **220**
 - 5.4.1. Conceptos generales **220**
 - 5.4.2. Capacidad para condiciones de circulación continua **221**
 - 5.4.3. Niveles de servicio. Concepto ampliado y definiciones **221**
 - 5.4.4. Niveles y volúmenes de servicio para condiciones de circulación continua **222**
 - 5.5. Factores que reducen los volúmenes de servicio y la capacidad de una vía **226**
 - 5.5.1. Factores relativos a la vía **227**
 - 5.5.2. Factores relativos al tráfico **227**
 - 5.6. Análisis de la capacidad y niveles de servicio en carreteras de dos carriles y de múltiples carriles **236**
 - 5.6.1. Generalidades **236**
 - 5.6.2. Cálculo de la capacidad de las vías rurales bajo condiciones prevalecientes **236**
 - 5.6.3. Cálculo de los volúmenes de servicio de las vías rurales bajo condiciones prevalecientes **236**
 - 5.6.4. Determinación de los niveles de servicio de las vías bajo condiciones prevalecientes **236**
 - 5.6.5. Análisis combinado de subtramos de carretera **240**
 - 5.6.6. Ejemplos de aplicación **240**
 - 5.7. Método de la AASHO para el cálculo de la capacidad de diseño **242**
 - Bibliografía **245**
- Capítulo 6. DISEÑO GEOMETRICO DE CARRETERAS**
- 6.1. Introducción **247**
 - 6.2. Curvatura y peralte **248**
 - 6.2.1. Movimiento de los vehículos en las curvas circulares **248**
 - 6.2.2. Peralte **250**
 - 6.2.3. Coeficiente de rozamiento lateral **251**
 - 6.2.4. Valores máximos del peralte **253**
 - 6.2.5. Radios mínimos de curvatura **254**
 - 6.2.5.1. Radios mínimos para curvas con peralte máximo **254**
 - 6.2.5.2. Radios mínimos para curvas con peralte negativo **254**
 - 6.2.6. Correlación entre la velocidad, los radios y el peralte en un trazado de carretera **255**
 - 6.2.7. Volcamiento de los vehículos en las curvas **256**
 - 6.3. Geometría de las curvas circulares **259**
 - 6.3.1. Clasificación y elementos de las curvas circulares **259**
 - 6.3.2. Cálculo de los elementos de las curvas circulares **261**
 - 6.3.2.1. Curvas circulares simples **261**
 - 6.3.2.2. Curvas compuestas **261**
 - 6.3.2.3. Curvas revertidas **263**
 - 6.3.3. Expresión de la curvatura de las curvas circulares **264**
 - 6.4. Geometría de las curvas de transición **265**
 - 6.4.1. La clotoide como curva de transición **266**
 - 6.4.2. Ecuaciones de la clotoide **268**
 - 6.4.3. Clasificación y elementos de la clotoide **269**
 - 6.4.4. Cálculo de los elementos de la clotoide **272**
 - 6.4.5. Longitud mínima de la clotoide **273**
 - 6.5. Geometría de las curvas verticales **274**
 - 6.5.1. Movimiento de los vehículos en las curvas verticales **274**
 - 6.5.2. Clasificación y elementos de las curvas verticales **277**
 - 6.5.3. Propiedades geométricas y cálculo de los elementos de la parábola **277**
 - 6.5.3.1. Curvas verticales simétricas **277**
 - 6.5.3.2. Curvas verticales asimétricas **280**
 - 6.5.4. Longitud mínima de las curvas verticales **281**
 - 6.6. Visibilidad en carreteras **281**
 - 6.6.1. Visibilidad de frenado **281**
 - 6.6.1.1. Criterios para medir la visibilidad de frenado **284**
 - 6.6.1.2. Longitud mínima de las curvas verticales con visibilidad de frenado **285**
 - 6.6.1.2.1. Longitud mínima de curvas verticales convexas con visibilidad de frenado **285**
 - 6.6.1.2.2. Longitud mínima de curvas verticales cóncavas con visibilidad de frenado **288**

- 6.6.1.2.3. Visibilidad de frenado en las curvas horizontales **290**
- 6.6.2. Visibilidad de paso **292**
- 6.6.2.1. Criterio para medir la visibilidad de paso **294**
- 6.6.2.2. Longitud mínima de curvas verticales con visibilidad de paso **294**
- 6.6.2.2.1. Longitud mínima de curvas verticales convexas con visibilidad de paso **294**
- 6.6.2.2.2. Longitud mínima de curvas verticales cóncavas con visibilidad de paso **294**
- 6.6.2.2.3. Visibilidad de paso en las curvas horizontales **295**
- 6.7. Diseño de la sección transversal de la carretera **297**
- 6.7.1. Elementos de la sección transversal **297**
- 6.7.1.1. Características de la calzada. Diseño **297**
- 6.7.1.2. Características de los hombrillos **298**
- 6.7.1.3. Características de los taludes. Diseño **298**
- 6.7.1.4. Elementos misceláneos de la sección transversal **304**
- 6.8. Diseño geométrico y accidentes de tránsito **313**
- 6.8.1. Causas generales de los accidentes de tránsito **313**
- 6.8.2. Elementos geométricos de la carretera y ocurrencia de accidentes **313**
- Bibliografía **319**

Capítulo 7. DRENAJE SUPERFICIAL DE CARRETERAS

- 7.1. Introducción **321**
- 7.2. Principios de hidrología aplicados al estudio del drenaje de carreteras **321**
- 7.2.1. Ciclo hidrológico **322**
- 7.2.2. Precipitación pluvial **323**
- 7.2.2.1. Duración e intensidad de las lluvias **324**
- 7.2.2.2. Ajuste de los registros de las lluvias **326**
- 7.2.2.3. Análisis de los registros pluviográficos **326**
- 7.2.2.4. Extensión de las lluvias puntuales a áreas **328**
- 7.2.2.5. Análisis de frecuencia **333**
- 7.2.2.6. Probabilidad de ocurrencia de una lluvia de frecuencia dada **337**
- 7.2.2.7. Generalización de los datos de frecuencia **337**
- 7.2.3. Escurrimiento superficial **346**
- 7.2.3.1. Descarga de diseño **347**

- 7.2.3.2. Fórmula racional **347**
- 7.2.3.3. Método del hidrograma **350**
- 7.2.3.3.1. Propiedades del hidrograma **351**
- 7.2.3.3.2. Hidrogramas de escorrentía **353**
- 7.2.3.3.3. Método de Clark para la obtención de hidrogramas unitarios sintéticos **356**
- 7.2.3.3.4. Estimación del gasto pico mediante el método de Clark **361**
- 7.3. Drenaje de la calzada y de los laterales de la vía **363**
- 7.3.1. Hidráulica de los canales abiertos **363**
- 7.3.1.1. Definiciones **363**
- 7.3.1.2. Características de la corriente en los canales abiertos **363**
- 7.3.1.3. Energía y flujo **365**
- 7.3.1.4. Flujo crítico en canales abiertos **366**
- 7.3.1.5. Flujo uniforme en canales abiertos **371**
- 7.3.1.6. Flujo gradualmente variado en canales abiertos **375**
- 7.3.2. Diseño de canales para el drenaje de carreteras **379**
- 7.3.2.1. Diseño de canales para flujo uniforme **380**
- 7.3.2.1.1. Diseño de canales no revestidos **380**
- 7.3.2.1.2. Diseño de canales revestidos **383**
- 7.3.2.2. Diseño de canales para flujo no uniforme **386**
- 7.3.2.3. Diseño de transiciones **388**
- 7.4. Drenaje transversal de carreteras **389**
- 7.4.1. Estudios previos al diseño de las alcantarillas **389**
- 7.4.2. Características del flujo en las alcantarillas **391**
- 7.4.3. Hidráulica de las alcantarillas **394**
- 7.4.4. Diseño de las alcantarillas **402**
- 7.4.4.1. Emplazamiento de las alcantarillas **402**
- 7.4.4.2. Uso de los distintos tipos y formas de alcantarillas **404**
- 7.4.4.3. Diseño hidráulico de las alcantarillas **408**
- 7.4.4.3.1. Ejemplos de diseño **439**
- 7.4.4.3.2. Programas de computación para el cálculo de alcantarillas **440**
- 7.4.4.3.3. Procedimiento alternativo de diseño de alcantarillas **440**
- 7.4.4.4. Control de la velocidad a la salida **449**
- 7.4.4.4.1. Revestimiento de los canales **449**
- 7.4.4.4.2. Disipadores de energía **449**

- 7.4.4.4.3. Alcantarillas de fondo de pendiente discontinua **453**
- 7.4.4.5. Diseño estructural de las alcantarillas **458**
- 7.4.4.5.1. Comportamiento estructural de los conductos **458**
- 7.4.4.5.2. Cálculo de las cargas que actúan sobre los conductos **461**
- 7.4.4.5.3. Capacidad de carga de los conductos rígidos **465**
- 7.4.4.5.4. Capacidad de carga de los conductos flexibles **467**
- 7.4.4.6. Diseño económico de las alcantarillas **470**
- 7.4.5. Cálculo hidráulico de puentes **471**

Bibliografía **472**

Capítulo 7. PROYECTO DE CARRETERAS

- 8.1. Introducción **475**
- 8.2. Localización del eje definitivo de la carretera **475**
- 8.2.1. Replanteo de la línea *L* **475**
- 8.2.1.1. Técnicas de replanteo **476**
- 8.2.1.1.1. Replanteo directo **476**
- 8.2.1.1.2. Replanteo de la línea *L* **476**
- 8.2.1.1.3. Obstáculos en el replanteo **477**
- 8.2.1.1.4. Adaptación de un trazado con curvas circulares a otro con transiciones **478**
- 8.2.2. Cálculo de las coordenadas de la línea *L* **480**
- 8.2.2.1. Ecuación de los alineamientos rectos **481**
- 8.2.2.2. Cálculo de las coordenadas de los puntos notables de una curva circular **482**
- 8.2.2.3. Cálculo de las coordenadas de un punto cualquiera de la curva circular a la distancia *L* del TE **482**
- 8.2.2.4. Cálculo de las coordenadas de los puntos notables de una curva espiral **483**
- 8.2.2.5. Ecuación de alineamientos paralelos **485**
- 8.2.2.6. Cálculo de las coordenadas de los puntos de intersección entre una curva y una recta **486**

- 8.3. Geometrización del proyecto **486**
- 8.3.1. Transición del peraltado **486**
- 8.3.2. Sobreebanco de las curvas. Valores de diseño. Transición del sobreebanco **496**
- 8.3.3. Carriles auxiliares de subida **500**
- 8.3.4. Estudio de la visibilidad en los planos del perfil longitudinal y de la planta **506**
- 8.4. Intersecciones **506**
- 8.4.1. Clasificación y elementos de las intersecciones **506**
- 8.4.2. Movimiento de los vehículos en las intersecciones **510**
- 8.4.3. Características geométricas de las intersecciones **511**
- 8.4.3.1. Alineamientos y perfiles **511**
- 8.4.3.2. Radios mínimos del borde de la calzada **514**
- 8.4.3.3. Brazos de giro canalizados **521**
- 8.4.4. Bifurcaciones **522**
- 8.4.4.1. Relaciones entre velocidad y curvatura **522**
- 8.4.4.2. Ancho de la calzada **525**
- 8.4.4.3. Transición de la curvatura **527**
- 8.4.4.4. Transición del peraltado **531**
- 8.4.4.5. Visibilidad **533**
- 8.4.4.6. Carriles para cambio de velocidad **533**
- 8.4.5. Cálculo de coordenadas en las curvas de las intersecciones **539**
- 8.5. Estética vial **545**
- 8.5.1. Armonía de los alineamientos **545**
- 8.5.2. Tratamiento de los laterales de la vía **557**
- 8.5.2.1. Diseño paisajista **558**
- 8.5.3. Producción, predicción y prevención del ruido en las carreteras **574**
- 8.5.3.1. Producción de los ruidos en las carreteras **575**
- 8.5.3.2. Predicción del ruido en las carreteras **577**
- 8.5.3.3. Prevención del ruido en las carreteras **577**
- 8.6. Planos y documentos que constituyen el proyecto definitivo **585**
- Bibliografía **588**