



# Contenido

## **PREFACIO**

**xxv**

## **1 • INTRODUCCIÓN**

**1**

- 1.1 Definición de topografía 1
- 1.2 La geomática 3
- 1.3 Historia de la topografía 4
- 1.4 Levantamientos geodésicos y planos 7
- 1.5 Importancia de la topografía 10
- 1.6 Tipos de levantamientos especializados 11
- 1.7 La seguridad en la topografía 12
- 1.8 Sistemas de información terrestre y geográfica 13
- 1.9 Dependencias federales de topografía y de elaboración de mapas 14
- 1.10 La profesión de topógrafo 15
- 1.11 Organizaciones de topógrafos profesionales 16
- 1.12 La topografía en Internet 17
- 1.13 Retos futuros en topografía 18
- Problemas 19
- Bibliografía 20

## **2 • UNIDADES, CIFRAS SIGNIFICATIVAS Y NOTAS DE CAMPO**

**22**

### **PARTE I UNIDADES Y CIFRAS SIGNIFICATIVAS 22**

- 2.1 Introducción 22
- 2.2 Unidades de medición 22

- 2.3 Sistema Internacional de unidades (SI) 24
- 2.4 Cifras significativas 26
- 2.5 Redondeo de números 28

## **PARTE II NOTAS DE CAMPO 29**

- 2.6 Notas de campo 29
- 2.7 Requisitos generales de las notas de campo manuscritas 30
- 2.8 Tipos de libretas de registro 31
- 2.9 Clases de anotaciones 32
- 2.10 La disposición de las notas 32
- 2.11 Sugerencias para registrar notas de campo 34
- 2.12 Introducción a los recolectores automáticos de datos 35
- 2.13 Transferencia de archivos de los recolectores de datos 38
- 2.14 Manejo de archivos digitales de datos 39
- 2.15 Ventajas y desventajas de los recolectores automáticos de datos 41
- Problemas 42
- Bibliografía 43

## **3 • TEORÍA DE LOS ERRORES EN LA MEDICIÓN**

45

- 
- 3.1 Introducción 45
  - 3.2 Mediciones directas e indirectas 45
  - 3.3 Errores en las medidas 46
  - 3.4 Equivocaciones 46
  - 3.5 Causas de errores al hacer mediciones 47
  - 3.6 Tipos de errores 47
  - 3.7 Precisión y exactitud 48
  - 3.8 Eliminación de equivocaciones y de errores sistemáticos 49
  - 3.9 Probabilidad 49
  - 3.10 El valor más probable 50
  - 3.11 Residuos 51
  - 3.12 Aparición de los errores aleatorios 51
  - 3.13 Leyes generales de la probabilidad 55
  - 3.14 Medidas de precisión 55
  - 3.15 Interpretación de la desviación estándar 58
  - 3.16 Los errores de 50, 90 y 95% 58
  - 3.17 Propagación de errores 60
    - 3.17.1 Error de una suma 61
    - 3.17.2 Error de una serie 61
    - 3.17.3 Error en un producto 63
    - 3.17.4 Error de la media 64
  - 3.18 Aplicaciones 65

- 3.19 Ajuste condicional de las mediciones 65
- 3.20 Ponderación de las mediciones 66
- 3.21 Ajustes con mínimos cuadrados 67
- Problemas 68
- Bibliografía 70

## **4 • NIVELACIÓN: TEORÍA, MÉTODOS Y EQUIPO 72**

---

### **PARTE I NIVELACIÓN: TEORÍA Y MÉTODOS 72**

- 4.1 Introducción 72
- 4.2 Definiciones 72
- 4.3 Plano de referencia vertical de Norteamérica 74
- 4.4 Curvatura y refracción 75
- 4.5 Métodos para determinar diferencias de elevación 77
  - 4.5.1 Medición de distancias verticales con cinta o por métodos electrónicos 77
  - 4.5.2 Nivelación diferencial 77
  - 4.5.3 Nivelación barométrica 79
  - 4.5.4 Nivelación trigonométrica 80

### **PARTE II EQUIPO PARA NIVELACIÓN DIFERENCIAL 84**

- 4.6 Tipos de niveles 84
- 4.7 Anteojos telescópicos 85
- 4.8 Niveles de burbuja 86
- 4.9 Niveles basculantes 88
- 4.10 Niveles automáticos 89
- 4.11 Niveles digitales 90
- 4.12 Trípodes 92
- 4.13 Niveles de mano 92
- 4.14 Estadales 93
- 4.15 Prueba y ajuste de los aparatos de nivelación 95
  - 4.15.1 Requerimientos para probar y ajustar los instrumentos 95
  - 4.15.2 Ajuste por paralaje 96
  - 4.15.3 Prueba y ajuste del nivel tubular 96
  - 4.15.4 Ajuste preliminar del hilo horizontal de la retícula 96
  - 4.15.5 Prueba y ajuste de la línea de colimación 97

- Problemas 99
- Bibliografía 100

## **5 • NIVELACIÓN: PROCEDIMIENTOS DE CAMPO Y DE CÁLCULO 102**

---

- 5.1 Introducción 102
- 5.2 Transporte y colocación del nivel 102

- 5.3 Deberes del estadalero 104
- 5.4 Nivelación diferencial 105
- 5.5 Precisión 109
- 5.6 Ajuste de los circuitos de nivelación simples 111
- 5.7 Nivelación recíproca 112
- 5.8 Nivelación con tres hilos 113
- 5.9 Nivelación de perfil 113
  - 5.9.1 El estacado y el establecimiento de estaciones en la línea de referencia 113
  - 5.9.2 Procedimientos de campo para la nivelación de perfil 115
  - 5.9.3 Trazo y utilización de la nivelación de perfil 117
- 5.10 Nivelación para cubicaciones 119
- 5.11 Uso del nivel de mano 119
- 5.12 Clases de errores en nivelación 119
  - 5.12.1 Errores instrumentales 119
  - 5.12.2 Errores naturales 120
  - 5.12.3 Errores personales 121
- 5.13 Equivocaciones 122
- 5.14 Reducción de los errores y eliminación de las equivocaciones 123
- Problemas 123
- Bibliografía 126

## **6 • MEDICIÓN DE DISTANCIAS**

127

### **PARTE I MÉTODOS DE MEDICIÓN DE DISTANCIAS 127**

- 6.1 Introducción 127
- 6.2 Resumen de métodos para hacer mediciones lineales 127
- 6.3 Medición a pasos 128
- 6.4 Medición con odómetro 128
- 6.5 Telémetros ópticos 129
- 6.6 Taquimetría 129
- 6.7 Método de la barra subtensa 129

### **PARTE II MEDICIÓN DE DISTANCIAS CON CINTA 129**

- 6.8 Introducción al uso de la cinta 129
- 6.9 Equipo y accesorios para mediciones con cinta 130
- 6.10 Cuidado del equipo para longimetría 131
- 6.11 Longimetría horizontal con cinta sobre terreno a nivel 132
  - 6.11.1 Alineación 132
  - 6.11.2 Estiramiento 132
  - 6.11.3 Aplomo 132

- 6.11.4 Marcaje 132
- 6.11.5 Lectura 133
- 6.11.6 Anotación 134
- 6.12 Mediciones horizontales en terreno inclinado 134
- 6.13 Medición de distancias inclinadas 136
- 6.14 Causas de error en las mediciones con cinta 137
  - 6.14.1 Longitud incorrecta de la cinta 137
  - 6.14.2 Temperaturas anormales 138
  - 6.14.3 Tensión incorrecta 139
  - 6.14.4 Catenaria 139
  - 6.14.5 La cinta no está horizontal y está desalineada 140
  - 6.14.6 Aplome inadecuado 140
  - 6.14.7 Marcaje 141
  - 6.14.8 Lectura incorrecta o interpolación 141
  - 6.14.9 Resumen de los efectos de los errores que ocurren en las mediciones con cinta 141
- 6.15 Problemas en las mediciones con cinta 141
- 6.16 Correcciones combinadas en un problema de mediciones con cinta 143

### **PARTE III MEDICIÓN ELECTRÓNICA DE DISTANCIAS 145**

- 6.17 Introducción 145
- 6.18 Propagación de la energía electromagnética 145
- 6.19 Principios de la medición electrónica de distancias 148
- 6.20 Instrumentos electroópticos 150
- 6.21 Instrumentos de estación total 153
- 6.22 Instrumentos de MED sin reflectores 153
- 6.23 Cálculo de distancias horizontales a partir de distancias inclinadas 154
  - 6.23.1 Reducción de líneas cortas por diferencias de elevación 155
  - 6.23.2 Reducción de líneas cortas por el ángulo cenital o vertical 156
- 6.24 Errores en la medición electrónica de distancias 156
  - 6.24.1 Errores personales 157
  - 6.24.2 Errores instrumentales 158
  - 6.24.3 Errores naturales 160
- Problemas 161
- Bibliografía 164

## **7 • ÁNGULOS, RUMBOS Y ACIMUTES**

166

- 7.1 Introducción 166
- 7.2 Unidades de medida angular 166
- 7.3 Clases de ángulos horizontales 167
- 7.4 Dirección de una línea 168

- 7.5 Acimutes 169
- 7.6 Rumbos 170
- 7.7 Comparación de rumbos y acimutes 171
- 7.8 Cálculos de acimutes 172
- 7.9 Cálculo de los rumbos 174
- 7.10 La brújula y el campo magnético de la Tierra 175
- 7.11 Declinación magnética 177
- 7.12 Variaciones de la declinación magnética 179
- 7.13 Software para determinar la declinación magnética 179
- 7.14 Atracción local 181
- 7.15 Problemas comunes de la declinación magnética 181
- 7.16 Equivocaciones 182
- Problemas 183
- Bibliografía 186

## **8 • INSTRUMENTOS DE ESTACIÓN TOTAL; MEDICIÓN DE ÁNGULOS**

187

### **PARTE I INSTRUMENTOS DE ESTACIÓN TOTAL 187**

- 8.1 Introducción 187
- 8.2 Características de los instrumentos de estación total 187
- 8.3 Funciones que realizan los instrumentos de estación total 190
- 8.4 Partes de un instrumento de estación total 190
- 8.5 Manejo y emplazamiento de un instrumento de estación total 194
- 8.6 Instrumentos de estación total servo-impulsados y de operación remota 197

### **PARTE II MEDICIÓN DE ÁNGULOS 198**

- 8.7 Relación de ángulos y distancias 198
- 8.8 Medición de ángulos horizontales con los instrumentos de estación total 199
- 8.9 Medición de ángulos horizontales por el método de la dirección 201
- 8.10 Cierre al horizonte 202
- 8.11 Medición de ángulos de deflexión 204
- 8.12 Medición de acimutes 206
- 8.13 Medición de ángulos verticales (o cenitales) 206
- 8.14 Objetos visados y marcas 208
- 8.15 Prolongación de una línea recta 209
- 8.16 Intercalamiento de estaciones no visibles entre sí 211
- 8.17 Transecto auxiliar 212

- 8.18 Estaciones totales para determinar diferencias de elevación 213
- 8.19 Ajuste de los instrumentos de estación total y sus accesorios 214
  - 8.19.1 Ajuste de los niveles de alidada 216
  - 8.19.2 Ajuste de los tripiés 216
  - 8.19.3 Ajuste de los tribracos 216
  - 8.19.4 Ajuste de una plomada óptica 217
  - 8.19.5 Ajuste de las burbujas de los niveles circulares 217
- 8.20 Fuentes de error en trabajos con estación total 217
  - 8.20.1 Errores instrumentales 218
  - 8.20.2 Errores naturales 221
  - 8.20.3 Errores personales 222
- 8.21 Propagación de errores aleatorios en la medición de ángulos 223
- 8.22 Equivocaciones 224
- Problemas 224
- Bibliografía 226

## 9 • POLIGONALES

227

- 9.1 Introducción 227
- 9.2 Métodos de medición de ángulos y direcciones en las poligonales 229
  - 9.2.1 Trazo de poligonales por ángulos interiores 229
  - 9.2.2 Trazo de poligonales por ángulos a la derecha 229
  - 9.2.3 Trazo de poligonales por ángulos de deflexión 229
  - 9.2.4 Trazo de poligonales por acimutes 230
- 9.3 Medición de longitudes poligonales 230
- 9.4 Selección de estaciones de una poligonal 231
- 9.5 Señalamientos de estaciones poligonales 231
- 9.6 Registros de campo para las poligonales 233
- 9.7 Error de cierre angular 234
- 9.8 Trazo de poligonales con instrumentos de estación total 235
- 9.9 Poligonales radiales 236
- 9.10 Causas de error en el trazo de poligonales 237
- 9.11 Equivocaciones en el trazo de poligonales 238
- Problemas 238
- Bibliografía 239

## 10 • CÁLCULO DE POLIGONALES

240

- 10.1 Introducción 240
- 10.2 Compensación de los ángulos 241

10.3	Cálculo de rumbos o acimutes preliminares	243
10.4	Proyecciones ortogonales	244
10.5	Condiciones de cierre por las proyecciones ortogonales	245
10.6	Error de cierre lineal y precisión relativa	246
10.7	Ajuste de poligonales	247
10.7.1	Regla de la brújula (o de Bowditch)	248
10.7.2	Método de los mínimos cuadrados	250
10.8	Coordenadas rectangulares	250
10.9	Métodos alternativos para calcular poligonales	251
10.9.1	Compensación de los ángulos ajustando rumbos o acimutes	251
10.9.2	Compensación de proyecciones ajustando coordenadas	253
10.10	Longitudes y direcciones de líneas a partir de proyecciones o coordenadas	255
10.11	Cálculo de las longitudes y direcciones modificadas de una poligonal	256
10.12	Cálculo de coordenadas en los levantamientos de linderos	258
10.13	Uso de las poligonales abiertas	259
10.14	Sistemas de coordenadas planas estatales	262
10.15	Cálculo de poligonales usando computadoras	263
10.16	Localización de errores en la medición de las poligonales	263
10.17	Equivocaciones en los cálculos de las poligonales	265
	Problemas	265
	Bibliografía	269

## **11 • GEOMETRÍA ANALÍTICA EN LOS CÁLCULOS TOPOGRÁFICOS 270**

---

11.1	Introducción	270
11.2	Formas analíticas de ecuaciones de líneas rectas y circunferencias	271
11.3	Distancia perpendicular de un punto a una línea	273
11.4	Intersección de dos rectas, ambas con direcciones conocidas	275
11.5	Intersección de una recta y una circunferencia	277
11.6	Intersección de dos circunferencias	280
11.7	Resección de tres puntos	282
11.8	Transformación conforme bidimensional de coordenadas	285
11.9	El problema del punto inaccesible	289
11.10	Resección tridimensional de dos puntos	292
11.11	Conclusiones	295
	Problemas	295
	Bibliografía	299

**12 • DETERMINACIÓN DE ÁREAS****301**

- 12.1** Introducción 301
- 12.2** Métodos para medir áreas 301
- 12.3** Área por división en figuras sencillas 302
- 12.4** Área por normales desde una línea recta 303
  - 12.4.1** Normales con separación regular 303
  - 12.4.2** Normales con separación irregular 304
- 12.5** Áreas mediante el método de las coordenadas 305
- 12.6** Áreas mediante el método de doble distancia meridiana 309
- 12.7** Área de figuras con límites circulares 312
- 12.8** Delimitación de terrenos 313
  - 12.8.1** El método de prueba y error 313
  - 12.8.2** Uso de figuras geométricas simples 315
  - 12.8.3** El método de las coordenadas 316
- 12.9** Áreas calculadas por mediciones en mapas 317
  - 12.9.1** Área calculada mediante cuadrícula 317
  - 12.9.2** Áreas calculadas por longitudes a escala 318
  - 12.9.3** Áreas calculadas por digitalización de las coordenadas 318
  - 12.9.4** Medida de áreas con planímetro 318
- 12.10** Fuentes de error en la determinación de áreas 320
- 12.11** Equivocaciones en la determinación de áreas 320
- Problemas** 320
- Bibliografía** 322

**13 • EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL - INTRODUCCIÓN Y PRINCIPIOS DE OPERACIÓN****323**

- 13.1** Introducción 323
- 13.2** El panorama del GPS 324
- 13.3** La señal de GPS 326
- 13.4** Sistemas coordenados de referencia para el GPS 328
  - 13.4.1** El sistema coordenado de referencia para el satélite 329
  - 13.4.2** El sistema coordenado geocéntrico 329
  - 13.4.3** El sistema coordenado geodésico 331
- 13.5** Fundamentos del posicionamiento con GPS 337
  - 13.5.1** Distancia por código 337

- 13.5.2 Mediciones de desviación de fase portadora 339
- 13.6 Errores en las observaciones con GPS 339
  - 13.6.1 El sesgo del reloj 339
  - 13.6.2 La refracción 340
  - 13.6.3 Otras fuentes de error 342
  - 13.6.4 Geometría de los satélites observados 344
  - 13.6.5 Disponibilidad selectiva 346
- 13.7 GPS diferencial 347
- 13.8 Métodos GPS cinemáticos en tiempo real 349
- 13.9 Posicionamiento relativo 350
  - 13.9.1 Diferenciación individual 350
  - 13.9.2 Diferenciación doble 351
  - 13.9.3 Diferenciación triple 352
- 13.10 La constelación GLONASS 352
- 13.11 El futuro 353
- Problemas 354
- Bibliografía 356

## **14 • EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL - PROCEDIMIENTOS DE CAMPO Y DE GABINETE**

358

- 
- 14.1 Introducción 358
  - 14.2 Procedimientos de campo en levantamientos GPS 360
    - 14.2.1 Posicionamiento relativo estático 360
    - 14.2.2 Posicionamiento relativo estático rápido 362
    - 14.2.3 Levantamientos pseudocinemáticos 362
    - 14.2.4 Posicionamiento relativo cinemático 362
    - 14.2.5 Levantamientos con el GPS cinemáticos en tiempo real 364
  - 14.3 Planeación de levantamientos con el GPS 366
    - 14.3.1 Consideraciones preliminares 367
    - 14.3.2 Selección del método de levantamiento apropiado 370
    - 14.3.3 Reconocimiento de campo 372
    - 14.3.4 Desarrollo de un esquema de observación 373
    - 14.3.5 Disponibilidad de estaciones de referencia 377
  - 14.4 Realización de levantamientos GPS estáticos 379
  - 14.5 Procesamiento y análisis de datos 379
    - 14.5.1 Especificaciones para levantamientos GPS 382
    - 14.5.2 Análisis de las mediciones de línea base fija 383

- 14.5.3 **Análisis de mediciones repetidas de la línea base 385**
- 14.5.4 **Análisis de los cierres de circuitos 385**
- 14.5.5 **Ajuste de la red de la línea base 386**
- 14.5.6 **El reporte del levantamiento 387**
- 14.6 **Fuentes de errores en el trabajo con el GPS 388**
  - 14.6.1 **Errores instrumentales 388**
  - 14.6.2 **Errores naturales 389**
  - 14.6.3 **Errores personales 389**
- 14.7 **Errores en el trabajo con el GPS 389**
- 14.8 **¿Qué se espera del GPS para el futuro? 390**
- Problemas 391**
- Bibliografía 393**

## **15 • AJUSTE CON MÍNIMOS CUADRADOS 395**

---

- 15.1 **Introducción 395**
- 15.2 **Condición fundamental de los mínimos cuadrados 397**
- 15.3 **Ajuste por mínimos cuadrados según el método de la ecuación de observación 398**
- 15.4 **Métodos matriciales en el ajuste por mínimos cuadrados 402**
- 15.5 **Ecuaciones matriciales para precisiones de cantidades ajustadas 404**
- 15.6 **Ajuste por mínimos cuadrados de circuitos de nivelación 406**
- 15.7 **Propagación de errores 410**
- 15.8 **Ajuste de mínimos cuadrados de los vectores de línea base para el GPS 411**
- 15.9 **Ajuste con mínimos cuadrados de levantamientos planos horizontales tradicionales 417**
  - 15.9.1 **Cómo linearizar las ecuaciones no lineales 417**
  - 15.9.2 **La ecuación de observación para distancias 419**
  - 15.9.3 **La ecuación de observación de acimutes 421**
  - 15.9.4 **La ecuación de observación de ángulos 422**
  - 15.9.5 **Un ejemplo con una poligonal usando WOLFPACK 425**
- 15.10 **Las elipses de error 425**
- 15.11 **Procedimientos de ajuste 431**
- 15.12 **Otras medidas de precisión para estaciones horizontales 433**
- 15.13 **Conclusiones 434**
- Problemas 435**
- Bibliografía 441**

**16 • LEVANTAMIENTOS DE CONFIGURACIÓN 442**

- 16.1 Introducción 442
- 16.2 Métodos básicos para ejecutar levantamientos de configuración 443
- 16.3 Escala de un plano o mapa 443
- 16.4 Control para los levantamientos de configuración 445
- 16.5 Curvas de nivel 446
- 16.6 Propiedades de las curvas de nivel 449
- 16.7 Métodos directo e indirecto para determinar curvas de nivel 449
  - 16.7.1 Método directo 450
  - 16.7.2 Método indirecto 450
- 16.8 Modelos de elevación digitales y sistemas automáticos para el trazo de curvas de nivel 451
- 16.9 Métodos básicos para identificar accidentes topográficos en el campo 454
  - 16.9.1 Radiaciones con estación total 454
  - 16.9.2 Radiaciones con estadía 456
  - 16.9.3 Método del cuadrículado 461
  - 16.9.4 Referencias normales desde una línea eje 461
  - 16.9.5 Detallado topográfico con unidades de GPS portátiles 463
  - 16.9.6 Escaneado con láser 464
- 16.10 Transformación de coordenadas de conformación tridimensional 466
- 16.11 Selección del método de campo 468
- 16.12 Cómo trabajar con recolectores de datos y software de campo a terminado 468
- 16.13 Levantamientos hidrográficos 471
  - 16.13.1 Equipo para sondeos 471
  - 16.13.2 Reconocimiento por sondeos 473
  - 16.13.3 Elaboración de mapas hidrográficos 475
- 16.14 Causas de error en levantamientos de configuración 475
- 16.15 Equivocaciones en levantamientos de configuración 476
- Problemas 476
- Bibliografía 478

**17 • CARTOGRAFÍA 480**

- 17.1 Introducción 480
- 17.2 Disponibilidad de mapas e información relacionada 481
- 17.3 Programa cartográfico nacional 482
- 17.4 Estándares de exactitud para la cartografía 482

- 17.5 Procedimientos de dibujo manual y por computadora 484
- 17.6 Diseño del mapa 485
- 17.7 Disposición del mapa en la hoja 487
- 17.8 Procedimientos básicos del trazo de mapas 489
  - 17.8.1 Trazado manual por coordenadas 489
  - 17.8.2 Graficado con el uso de CADD 489
- 17.9 Equidistancia de curvas de nivel 491
- 17.10 Trazo de curvas de nivel 491
- 17.11 Letreros 492
- 17.12 Elementos de los mapas cartográficos 493
- 17.13 Materiales de dibujo 496
- 17.14 Mapeo y sistemas de dibujo automatizado con ayuda de computadora 496
- 17.15 Influencia en la cartografía de los sistemas modernos de información geográfica y de suelos 502
- 17.16 Fuentes de errores en la cartografía 503
- 17.17 Equivocaciones en la cartografía 503
- Problemas 503
- Bibliografía 505

## **18 • OBSERVACIONES ASTRONÓMICAS 507**

---

- 18.1 Introducción 507
- 18.2 Métodos simples para determinar la meridiana 509
  - 18.2.1 Método de la sombra proyectada 509
  - 18.2.2 Método de las alturas iguales del sol 510
- 18.3 Vista panorámica de los procedimientos usuales para la determinación astronómica del acimut 511
- 18.4 Efemérides 512
- 18.5 Definiciones 515
- 18.6 Refracción y paralaje 518
- 18.7 Tiempo 519
- 18.8 Cronometraje de las observaciones 521
- 18.9 Posiciones de las estrellas 522
- 18.10 Determinación del acimut por observaciones de la estrella polar 523
- 18.11 Cálculo del acimut por observaciones de la estrella polar mediante el método del ángulo horario 524
- 18.12 Verificación de las observaciones de campo 528
- 18.13 Identificación de la estrella polar en el anteojo 529
- 18.14 Sugerencias prácticas para observaciones de la estrella polar 532
- 18.15 Determinación del acimut por observaciones del sol 533

- 18.16 Fuentes de error en las observaciones astronómicas 537
- 18.17 Equivocaciones 538
- Problemas 538
- Bibliografía 541

## 19 • LEVANTAMIENTOS DE CONTROL Y REDUCCIONES GEODÉSICAS

542

- 19.1 Introducción 542
- 19.2 El elipsoide y el geoide 543
- 19.3 El polo terrestre convencional 545
- 19.4 La posición geodésica y los radios de curvatura elipsoidales 547
- 19.5 La ondulación del geoide y la desviación de la vertical 549
- 19.6 Planos de referencia en Estados Unidos 551
  - 19.6.1 Plano de referencia horizontal de Norteamérica de 1927 (NAD27) 551
  - 19.6.2 Plano de referencia horizontal de Norteamérica de 1983 (NAD83) 552
  - 19.6.3 Versiones posteriores del NAD83 552
  - 19.6.4 Plano de Referencia Vertical Geodésico Nacional de 1929 (NGVD29) 554
  - 19.6.5 Plano de Referencia Vertical de Norteamérica de 1988 (NAVD88) 554
- 19.7 Estándares de precisión y especificaciones para levantamientos de control 555
- 19.8 El sistema nacional de referencia espacial 558
- 19.9 Jerarquización en la red de Estados Unidos de control horizontal 559
- 19.10 Jerarquización en la red de Estados Unidos de control vertical 559
- 19.11 Descripciones de puntos de control 560
- 19.12 Procedimientos de campo en los levantamientos tradicionales de control horizontal 562
  - 19.12.1 Triangulación 563
  - 19.12.2 Poligonación precisa 564
  - 19.12.3 Trilateración 566
  - 19.12.4 Redes combinadas 567
- 19.13 Procedimientos de campo para los levantamientos de control vertical 567
- 19.14 Reducción de las observaciones de campo a sus valores geodésicos 572
  - 19.14.1 Reducción de las mediciones de distancias usando elevaciones 572
  - 19.14.2 Reducción de las mediciones de distancias usando ángulos verticales 575
  - 19.14.3 Reducción de direcciones y ángulos 578

- 19.14.4 La nivelación y las alturas ortométricas 581
- 19.15 Cálculos de posición geodésica 585
  - 19.15.1 El problema geodésico directo 585
  - 19.15.2 El problema geodésico inverso 586
- 19.16 El sistema de coordenadas geodésicas locales 587
- 19.17 Cálculos de las coordenadas tridimensionales 589
- 19.18 Conclusiones 591
- Problemas 591
- Bibliografía 594

## **20 • MEDICIÓN DE DISTANCIAS 596**

---

- 20.1 Introducción 596
- 20.2 Proyecciones usadas en los sistemas de coordenadas planas estatales 597
- 20.3 Proyección cónica conforme de Lambert 600
- 20.4 Proyección transversal de Mercator 601
- 20.5 Coordenadas planas estatales en el NAD27 y el NAD83 601
- 20.6 Cálculo de las coordenadas SPCS83 en el sistema cónico conforme de Lambert 603
  - 20.6.1 Las constantes de zona 603
  - 20.6.2 El problema directo 604
  - 20.6.3 El problema inverso 606
- 20.7 Cálculo de las coordenadas SPCS83 en el sistema transversal Mercator 608
  - 20.7.1 Las constantes de zona 608
  - 20.7.2 El problema directo 609
  - 20.7.3 El problema inverso 611
- 20.8 Reducción de distancias y ángulos a cuadrículas de coordenadas planas estatales 614
  - 20.8.1 Reducción de las distancias a la cuadrícula 615
  - 20.8.2 Reducción a cuadrícula de acimutes y de ángulos 619
- 20.9 Cálculo de las coordenadas planas estatales de las estaciones de una poligonal 624
- 20.10 Levantamientos que se extienden desde una zona a otra 626
- 20.11 Conversiones entre SPCS27 y SPCS83 627
- 20.12 La proyección transversal Mercator universal 628
- 20.13 Otras proyecciones cartográficas 628
- Problemas 630
- Bibliografía 633

## **21 • LEVANTAMIENTOS CATASTRALES 634**

### **O DESLINDES**

---

- 21.1 Introducción 634
- 21.2 Tipos de levantamientos de tierras 635

- 21.3** Perspectivas históricas 636
- 21.4** Descripción de una propiedad por acotamiento y linderos 637
- 21.5** Descripción de un predio por el sistema de manzanas y lotes 640
- 21.6** Descripción de un predio por coordenadas 642
- 21.7** Levantamientos de relocalización 642
- 21.8** Levantamientos para subdividir las tierras 645
- 21.9** Reparto de un terreno 647
- 21.10** Registro del título de propiedad 648
- 21.11** Posesión adversa y derecho de vía 649
- 21.12** Levantamientos para condominios 649
- 21.13** Sistemas de información geográfica y de tierras 656
- 21.14** Causas de error en los levantamientos catastrales 656
- 21.15** Equivocaciones 656
- Problemas 657
- Bibliografía 659

## **22 • LEVANTAMIENTOS DE TIERRAS DE JURISDICCIÓN FEDERAL**

**661**

- 
- 22.1** Introducción 661
  - 22.2** Instrucciones para el levantamiento de las tierras públicas 662
  - 22.3** Punto inicial 666
  - 22.4** Meridiano (o meridiana) principal 666
  - 22.5** Línea base 667
  - 22.6** Paralelos estándares (o líneas de corrección) 668
  - 22.7** Meridianos guías 668
  - 22.8** División exterior en demarcaciones, líneas meridionales (hilera) y líneas de latitud (demarcación) 669
  - 22.9** Designación de las demarcaciones 670
  - 22.10** Subdivisión de una zona cuadrangular en demarcaciones 671
  - 22.11** Subdivisión de una demarcación en secciones 672
  - 22.12** División de una sección en subsecciones 674
  - 22.13** Secciones fraccionarias 674
  - 22.14** Notas 675
  - 22.15** Sinopsis de los pasos a seguir para la división de tierras 675
  - 22.16** Marcación de vértices 675
  - 22.17** Vértices testigo 675
  - 22.18** Vértices de margen o de contorno 677
  - 22.19** Vértices perdidos y borrados 677
  - 22.20** Precisión en los levantamientos de las tierras públicas 680

- 22.21** Descripciones por demarcación, sección y subdivisión menor 681
- 22.22** Sistemas de información de la BLM sobre tierras 681
- 22.23** Causas de error 682
- 22.24** Equivocaciones 683
- Problemas** 683
- Bibliografía** 685

## **23 • LEVANTAMIENTO PARA CONSTRUCCIONES 687**

---

- 23.1** Introducción 687
- 23.2** Equipo especializado para levantamientos de construcción 688
  - 23.2.1** Instrumentos de rayo láser visible 688
  - 23.2.2** MED de láser de pulsación 690
- 23.3** Controles horizontal y vertical 690
- 23.4** Trazo de la línea para el tendido de una tubería 692
- 23.5** Trazo de la rasante (o la subrasante) 694
- 23.6** Trazado de líneas para una edificación 695
- 23.7** Trazo de una carretera 699
- 23.8** Otros levantamientos para construcciones 704
- 23.9** Levantamientos de construcción usando instrumentos de estación total 705
- 23.10** Levantamientos de construcción usando equipo GPS 707
- 23.11** Levantamientos tal como están construidos con escaneado con láser 709
- 23.12** Causas de error en los levantamientos de construcción 709
- 23.13** Equivocaciones 710
- Problemas** 710
- Bibliografía** 712

## **24 • CURVAS HORIZONTALES 713**

---

- 24.1** Introducción 713
- 24.2** Grado de una curva circular 714
- 24.3** Definiciones y deducción de fórmulas de curvas circulares 716
- 24.4** Establecimiento de estaciones sobre la curva circular 718
- 24.5** Procedimiento general para el trazo de una curva circular por deflexiones angulares 720
- 24.6** Cálculo de deflexiones angulares y cuerdas 721
- 24.7** Notas para el trazo de curvas circulares con los métodos de deflexiones angulares y del incremento de las cuerdas 723

- 24.8 Procedimientos detallados para el trazo de una curva circular con los métodos de deflexiones angulares y del incremento de las cuerdas 725
- 24.9 Emplazamiento sobre la curva 725
- 24.10 Curvas circulares en el sistema métrico por ángulos de deflexión e incremento de las cuerdas 726
- 24.11 Trazo de curvas circulares por ángulos de deflexión y cuerdas totales 728
- 24.12 Cálculo de coordenadas en una curva circular 729
- 24.13 Trazo de curvas circulares por coordenadas 731
- 24.14 Trazo de curvas circulares por distancias 736
- 24.15 Problemas especiales de curvas circulares 739
  - 24.15.1 Paso de una curva circular a través de un punto fijo 740
  - 24.15.2 Intersección de una curva circular y una línea recta 740
  - 24.15.3 Intersección de dos curvas circulares 741
- 24.16 Curvas compuestas e inversas 741
- 24.17 Visibilidad (o alcance visual) en curvas horizontales 741
- 24.18 Espirales 742
  - 24.18.1 Relaciones geométricas en espirales 742
  - 24.18.2 Cálculo y trazo de una espiral 744
- 24.19 Cálculo de alineamientos circulares "tal como están contruidos" 747
- 24.20 Causas de errores en el trazado de curvas circulares 750
- 24.21 Equivocaciones 750
- Problemas 751
- Bibliografía 753

## **25 • CURVAS VERTICALES**

**754**

- 
- 25.1 Introducción 754
  - 25.2 Ecuación general de una curva vertical parabólica 755
  - 25.3 Ecuación de una curva vertical parabólica de tangentes iguales 755
  - 25.4 Cálculo de una curva vertical usando la ecuación de la desviación de la tangente 758
    - 25.4.1 Ejemplo de cálculos usando el sistema inglés de unidades 758
    - 25.4.2 Ejemplo de cálculos usando el sistema métrico 760
  - 25.5 Propiedad de las tangentes iguales de una parábola 761
  - 25.6 Cálculos de la curva por proporción 762
  - 25.7 Estacado de una curva vertical parabólica 763
  - 25.8 Cálculos para una curva vertical de tangentes desiguales 763

- 25.9** Punto más alto o más bajo en una curva vertical 766
- 25.10** Diseño de una curva que pase por un punto dado 767
- 25.11** Distancia de visibilidad 768
- 25.12** Causas de error en el trazo de curvas verticales 770
- 25.13** Equivocaciones 770
- Problemas** 770
- Bibliografía** 772

## **26 • DETERMINACIÓN DE VOLÚMENES (CUBICACIONES)**

**773**

- 26.1** Introducción 773
- 26.2** Métodos de cubicación 773
- 26.3** El método de la sección transversal 774
- 26.4** Tipos de secciones transversales 775
- 26.5** Fórmula del promedio 776
- 26.6** Determinación de las áreas de secciones transversales 778
  - 26.6.1** Determinación de áreas mediante el uso de figuras geométricas simples 778
  - 26.6.2** Áreas por coordenadas 779
- 26.7** Cálculo de los puntos de transición de los taludes 780
- 26.8** Fórmula del prismoide 781
- 26.9** Cubicaciones 783
- 26.10** Método del área unitaria o de cantera de préstamo 784
- 26.11** Método de curvas de nivel 786
- 26.12** Cálculo de volúmenes hidráulicos 787
- 26.13** Causas de error en las cubicaciones 788
- 26.14** Equivocaciones 788
- Problemas** 789
- Bibliografía** 792

## **27 • FOTOGRAMETRÍA**

**793**

- 27.1** Introducción 793
- 27.2** Aplicaciones de la fotogrametría 794
- 27.3** Cámaras aerofotográficas 795
- 27.4** Tipos de fotografías aéreas 797
- 27.5** Aerofotos verticales 797
- 27.6** Escala de una aerofoto vertical 800
- 27.7** Coordenadas en tierra a partir de una sola aerofoto vertical 804
- 27.8** Desplazamiento por relieve (tendido radial) en una aerofoto vertical 805
- 27.9** Altura de vuelo para una aerofoto vertical 807
- 27.10** Paralaje estereoscópico 808

- 27.11 Visualización estereoscópica 811
- 27.12 Medición estereoscópica de la paralaje 813
- 27.13 Fotogrametría analítica 814
- 27.14 Trazadores estereoscópicos 815
  - 27.14.1 Estereotrazadores de proyección óptica directa 816
  - 27.14.2 Estereotrazadores de proyección mecánica 818
  - 27.14.3 Estereotrazadores analíticos 819
  - 27.14.4 Estereotrazadores de copia de presentación transitoria 821
- 27.15 Ortofotos 823
- 27.16 Control en tierra para la fotogrametría 824
- 27.17 Planes de vuelo 825
- 27.18 Sistemas aerotransportados de cartografía con láser 828
- 27.19 Percepción remota 828
- 27.20 Causas de error en la fotogrametría 834
- 27.21 Equivocaciones 834
- Problemas 834
- Bibliografía 837

## 28 • INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

839

- 
- 28.1 Introducción 839
  - 28.2 Sistemas de información de la Tierra 842
  - 28.3 Fuentes de datos y clasificaciones GIS 842
  - 28.4 Datos espaciales 842
    - 28.4.1 Objetos espaciales simples 843
    - 28.4.2 Formatos vectoriales y de cuadrícula 844
    - 28.4.3 Topología 847
  - 28.5 Datos no espaciales 848
  - 28.6 Conversiones de los formatos de datos 849
    - 28.6.1 Conversión de vector a cuadrícula 849
    - 28.6.2 Conversión de cuadrícula a vector 851
  - 28.7 Generación de bases de datos GIS 851
    - 28.7.1 Generación de datos digitales a partir de levantamientos de campo 852
    - 28.7.2 Digitalización de fotos aéreas con estereotrazadores 853
    - 28.7.3 Digitalización de material gráfico existente 853
    - 28.7.4 Escaneado 855
    - 28.7.5 Entrada por teclado 856
    - 28.7.6 Conjuntos existentes de datos digitales 857
  - 28.8 Metadatos 857
  - 28.9 Funciones analíticas GIS 858
    - 28.9.1 El análisis de proximidad 858

- 28.9.2 Operaciones de frontera 859
- 28.9.3 Uniones espaciales 860
- 28.9.4 Operaciones lógicas 861
- 28.9.5 Otras funciones GIS 862
- 28.10 Aplicaciones de los GIS 862
- Problemas 863
- Bibliografía 865

## **APÉNDICE A • NIVELES FIJOS, TRÁNSITOS Y TEODOLITOS 867**

---

- A.1 Introducción 867
- A.2 El nivel fijo (dumpy) 868
- A.3 Introducción al tránsito y al teodolito 869
- A.4 El tránsito 872
  - A.4.1 Partes de un tránsito 872
  - A.4.2 Escalas circulares y vernieres 873
  - A.4.3 Características del tránsito 875
  - A.4.4 Manejo, emplazamiento y uso del tránsito 875
- A.5 El teodolito 877
  - A.5.1 Características de los teodolitos 878
  - A.5.2 Teodolitos repetidores 879
  - A.5.3 Teodolitos direccionales 880
  - A.5.4 Manejo, emplazamiento y uso de un teodolito 881

## **APÉNDICE B • EJEMPLOS DE NOTAS DE CAMPO 882**

---

## **APÉNDICE C • CORRECCIONES DE ALTURA DE OBJETIVO Y DE LATITUD PARA LOS ACIMUTES OBSERVADOS 889**

---

- C.1 Introducción 889
- C.2 Reducción de la altura del objetivo 889
- C.3 Corrección para la estación objetivo para una latitud diferente 890

## **APÉNDICE D • USO DE LAS HOJAS DE CÁLCULO EN EL DISCO ACOMPAÑANTE 892**

---

- D.1 Introducción 892
- D.2 Cómo usar los archivos 893
- D.3 Cómo usar las hojas de cálculo como una ayuda en el aprendizaje 896

## **APÉNDICE E • RESPUESTAS A PROBLEMAS SELECCIONADOS 898**

---