



# 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 14
- 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 1 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 automáticos de datos 39
- 2.14 Manejo de archivos digitales de datos 40
- 2.15 Ventajas y desventajas de los recolectores automáticos de datos 41
- Problemas 42
- Bibliografía 44

## **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 78
  - 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 91
- 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 96
  - 4.15.2 Ajuste por paralaje 96
  - 4.15.3 Prueba y ajuste del nivel tubular 97
  - 4.15.4 Ajuste preliminar del hilo horizontal de la retícula 97
  - 4.15.5 Prueba y ajuste de la línea de colimación 98

- Problemas 100
- Bibliografía 102

## **5 • NIVELACIÓN: PROCEDIMIENTOS DE CAMPO Y DE CÁLCULO 103**

---

- 5.1 Introducción 103
- 5.2 Transporte y colocación del nivel 103
- 5.3 Deberes del estadalero 105

- 5.4 Nivelación diferencial 106
- 5.5 Precisión 112
- 5.6 Ajuste de los circuitos de nivelación simples 113
- 5.7 Nivelación recíproca 114
- 5.8 Nivelación con tres hilos 115
- 5.9 Nivelación de perfil 116
  - 5.9.1 El estacado y el establecimiento de estaciones en la línea de referencia 116
  - 5.9.2 Procedimientos de campo para la nivelación de perfil 118
  - 5.9.3 Trazo y utilización de la nivelación de perfil 120
- 5.10 Nivelación para cubicaciones 121
- 5.11 Uso del nivel de mano 121
- 5.12 Clases de errores en nivelación 121
  - 5.12.1 Errores instrumentales 121
  - 5.12.2 Errores naturales 123
  - 5.12.3 Errores personales 124
- 5.13 Equivocaciones 124
- 5.14 Reducción de los errores y eliminación de las equivocaciones 125
- 5.15 Uso de software 125
- Problemas 126
- Bibliografía 129

## **6 • MEDICIÓN DE DISTANCIAS**

**130**

---

### **PARTE I MÉTODOS DE MEDICIÓN DE DISTANCIAS 130**

- 6.1 Introducción 130
- 6.2 Resumen de métodos para hacer mediciones lineales 130
- 6.3 Medición a pasos 131
- 6.4 Medición con odómetro 131
- 6.5 Telémetros ópticos 132
- 6.6 Taquimetría 132
- 6.7 Método de la barra subtensa 132

### **PARTE II MEDICIÓN DE DISTANCIAS CON CINTA 132**

- 6.8 Introducción al uso de la cinta 132
- 6.9 Equipo y accesorios para mediciones con cinta 133
- 6.10 Cuidado del equipo para longimetría 134
- 6.11 Longimetría horizontal con cinta sobre terreno a nivel 135
  - 6.11.1 Alineación 135
  - 6.11.2 Estiramiento 135
  - 6.11.3 Aplome 135

- 6.11.4 Marcaje 136
- 6.11.5 Lectura 136
- 6.11.6 Anotación 137
- 6.12 Mediciones horizontales en terreno inclinado 137
- 6.13 Medición de distancias inclinadas 139
- 6.14 Causas de error en las mediciones con cinta 140
  - 6.14.1 Longitud incorrecta de la cinta 140
  - 6.14.2 Temperaturas anormales 141
  - 6.14.3 Tensión incorrecta 142
  - 6.14.4 Catenaria 143
  - 6.14.5 La cinta no está horizontal y está desalineada 143
  - 6.14.6 Aplome inadecuado 144
  - 6.14.7 Marcaje 144
  - 6.14.8 Lectura incorrecta o interpolación 144
  - 6.14.9 Resumen de los efectos de los errores que ocurren en las mediciones con cinta 144

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

- 6.15 Introducción 145
- 6.16 Propagación de la energía electromagnética 146
- 6.17 Principios de la medición electrónica de distancias 149
- 6.18 Instrumentos electroópticos 150
- 6.19 Instrumentos de estación total 153
- 6.20 Instrumentos de MED sin reflectores 154
- 6.21 Cálculo de distancias horizontales a partir de distancias inclinadas 154
  - 6.21.1 Reducción de líneas cortas por diferencias de elevación 154
  - 6.21.2 Reducción de líneas cortas por el ángulo cenital o vertical 156
- 6.22 Errores en la medición electrónica de distancias 156
  - 6.22.1 Errores personales 157
  - 6.22.2 Errores instrumentales 158
  - 6.22.3 Errores naturales 160
- 6.23 Uso de software 162
- Problemas 162
- Bibliografía 163

## **7 • ÁNGULOS, RUMBOS Y ACIMUTES**

**164**

- 7.1 Introducción 164
- 7.2 Unidades de medida angular 164
- 7.3 Clases de ángulos horizontales 165
- 7.4 Dirección de una línea 167

7.5	Acimutes	167
7.6	Rumbos	169
7.7	Comparación de rumbos y acimutes	169
7.8	Cálculos de acimutes	171
7.9	Cálculo de los rumbos	173
7.10	La brújula y el campo magnético de la tierra	174
7.11	Declinación magnética	175
7.12	Variaciones de la declinación magnética	177
7.13	Software para determinar la declinación magnética	178
7.14	Atracción local	179
7.15	Problemas comunes de la declinación magnética	180
7.16	Equivocaciones	181
	Problemas	182
	Bibliografía	184

## **8 • INSTRUMENTOS DE ESTACIÓN TOTAL; MEDICIÓN DE ÁNGULOS** **185**

---

### **PARTE I INSTRUMENTOS DE ESTACIÓN TOTAL 185**

8.1	Introducción	185
8.2	Características de los instrumentos de estación total	185
8.3	Funciones que realizan los instrumentos de estación total	188
8.4	Partes de un instrumento de estación total	189
8.5	Manejo y emplazamiento de un instrumento de estación total	192
8.6	Instrumentos de estación total servo-impulsados y de operación remota	195

### **PARTE II MEDICIÓN DE ÁNGULOS 197**

8.7	Relación de ángulos y distancias	197
8.8	Medición de ángulos horizontales con los instrumentos de estación total	198
8.9	Medición de ángulos horizontales múltiples por el método de la dirección	200
8.10	Cierre al horizonte	201
8.11	Medición de ángulos de deflexión	202
8.12	Medición de acimutes	204
8.13	Medición de ángulos verticales (o cenitales)	205
8.14	Objetos visados y marcas	206
8.15	Prolongación de una línea recta	207
8.16	Intercalamiento de estaciones no visibles entre sí	209
8.17	Transecto auxiliar	210

- 8.18 Estaciones totales para determinar diferencias de elevación 211
- 8.19 Ajuste de los instrumentos de estación total y sus accesorios 212
  - 8.19.1 Ajuste de los niveles de alidada 213
  - 8.19.2 Ajuste de los tripiés 214
  - 8.19.3 Ajuste de los tríbracos 214
  - 8.19.4 Ajuste de una plomada óptica 214
  - 8.19.5 Ajuste de las burbujas de los niveles circulares 215
- 8.20 Fuentes de error en trabajos con estación total 215
  - 8.20.1 Errores instrumentales 216
  - 8.20.2 Errores naturales 219
  - 8.20.3 Errores personales 220
- 8.21 Propagación de errores aleatorios en la medición de ángulos 221
- 8.22 Equivocaciones 222
- Problemas 222
- Bibliografía 224

## **9 • POLIGONALES**

**225**

- 9.1 Introducción 225
- 9.2 Métodos de medición de ángulos y direcciones en las poligonales 227
  - 9.2.1 Trazo de poligonales por ángulos interiores 227
  - 9.2.2 Trazo de poligonales por ángulos a la derecha 227
  - 9.2.3 Trazo de poligonales por ángulos de deflexión 228
  - 9.2.4 Trazo de poligonales por acimutes 228
- 9.3 Medición de longitudes poligonales 228
- 9.4 Selección de estaciones de una poligonal 229
- 9.5 Señalamientos de estaciones poligonales 230
- 9.6 Registros de campo para las poligonales 232
- 9.7 Error de cierre angular 232
- 9.8 Trazo de poligonales con instrumentos de estación total 233
- 9.9 Poligonales radiales 235
- 9.10 Causas de error en el trazo de poligonales 236
- 9.11 Equivocaciones en el trazo de poligonales 236
- Problemas 236

## **10 • CÁLCULO DE POLIGONALES**

**238**

- 10.1 Introducción 238
- 10.2 Compensación de los ángulos 239
- 10.3 Cálculo de rumbos o acimutes preliminares 241

10.4	Proyecciones ortogonales	242
10.5	Condiciones de cierre por las proyecciones ortogonales	243
10.6	Error de cierre lineal y precisión relativa	244
10.7	Ajuste de poligonales	245
10.7.1	Regla de la brújula (o de Bowditch)	246
10.7.2	Método de los mínimos cuadrados	248
10.8	Coordenadas rectangulares	248
10.9	Métodos alternativos para calcular poligonales	249
10.9.1	Compensación de los ángulos ajustando rumbos o acimutes	249
10.9.2	Compensación de proyecciones ajustando coordenadas	251
10.10	Longitudes y direcciones de líneas a partir de proyecciones o coordenadas	253
10.11	Cálculo de las longitudes y direcciones modificadas de una poligonal	254
10.12	Cálculo de coordenadas en los levantamientos de linderos	256
10.13	Uso de las poligonales abiertas	258
10.14	Sistemas de coordenadas planas estatales	260
10.15	Cálculo de poligonales usando computadoras	261
10.16	Localización de errores en la medición de las poligonales	263
10.17	Equivocaciones en los cálculos de las poligonales	264
	Problemas	264
	Bibliografía	267

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

**268**

---

11.1	Introducción	268
11.2	Formas analíticas de ecuaciones de líneas rectas y circunferencias	269
11.3	Distancia perpendicular de un punto a una línea	271
11.4	Intersección de dos rectas, ambas con direcciones conocidas	273
11.5	Intersección de una recta y una circunferencia	275
11.6	Intersección de dos circunferencias	279
11.7	Resección de tres puntos	281
11.8	Transformación conforme bidimensional de coordenadas	283
11.9	El problema del punto inaccesible	288
11.10	Resección tridimensional de dos puntos	290

- 11.11 Software 293
- Problemas 294
- Bibliografía 298

## **12 • DETERMINACIÓN DE ÁREAS**

**299**

- 12.1 Introducción 299
- 12.2 Métodos para medir áreas 299
- 12.3 Área por división en figuras sencillas 300
- 12.4 Área por normales desde una línea recta 301
  - 12.4.1 Normales con separación regular 301
  - 12.4.2 Normales con separación irregular 302
- 12.5 Áreas mediante el método de las coordenadas 303
- 12.6 Áreas mediante el método de doble distancia meridiana 307
- 12.7 Área de figuras con límites circulares 310
- 12.8 Delimitación de terrenos 311
  - 12.8.1 El método de prueba y error 311
  - 12.8.2 Uso de figuras geométricas simples 313
  - 12.8.3 El método de las coordenadas 314
- 12.9 Áreas calculadas por mediciones en mapas 315
  - 12.9.1 Área calculada mediante cuadrícula 315
  - 12.9.2 Áreas calculadas por longitudes a escala 316
  - 12.9.3 Áreas calculadas por digitalización de las coordenadas 316
  - 12.9.4 Medida de áreas con planímetro 316
- 12.10 Software 318
- 12.11 Fuentes de error en la determinación de áreas 318
- 12.12 Equivocaciones en la determinación de áreas 318
- Problemas 319
- Bibliografía 320

## **13 • SISTEMAS SATELITALES DE NAVEGACIÓN GLOBAL: INTRODUCCIÓN Y PRINCIPIOS DE OPERACIÓN**

**321**

- 13.1 Introducción 321
- 13.2 El panorama del GPS 322

- 13.3 La señal de GPS 324
- 13.4 Sistemas coordinados de referencia para el GPS 327
  - 13.4.1 El sistema coordinado de referencia para el satélite 327
  - 13.4.2 El sistema coordinado geocéntrico 328
  - 13.4.3 El sistema coordinado geodésico 330
  - 13.4.4 Evolución del marco de referencia WGS84 335
- 13.5 Fundamentos del posicionamiento con satélite 336
  - 13.5.1 Distancia por código 336
  - 13.5.2 Mediciones de desviación de fase portadora 338
- 13.6 Errores en las observaciones con GPS 338
  - 13.6.1 El sesgo del reloj 339
  - 13.6.2 La refracción 339
  - 13.6.3 Otras fuentes de error 341
  - 13.6.4 Geometría de los satélites observados 344
- 13.7 Posicionamiento diferencial 346
- 13.8 Métodos cinemáticos 348
- 13.9 Posicionamiento relativo 349
  - 13.9.1 Diferenciación individual 350
  - 13.9.2 Diferenciación doble 350
  - 13.9.3 Diferenciación triple 351
- 13.10 Otros sistemas de navegación satelital 352
  - 13.10.1 La constelación GLONASS 352
  - 13.10.2 El sistema Galileo 353
  - 13.10.3 El sistema BeiDou 354
  - 13.10.4 Resumen 354
- 13.11 El futuro 354
- Problemas 356
- Bibliografía 357

## **14 • SISTEMAS SATELITALES DE NAVEGACIÓN GLOBAL: LEVANTAMIENTOS**

**358**

- 
- 14.1 Introducción 358
  - 14.2 Procedimientos de campo en los levantamientos estáticos GNSS 360
    - 14.2.1 Posicionamiento relativo estático 360
    - 14.2.2 Posicionamiento relativo estático rápido 362
    - 14.2.3 Levantamientosseudocinemáticos 362

- 14.3 Planeación de levantamientos con satélite 363
  - 14.3.1 Consideraciones preliminares 363
  - 14.3.2 Selección del método de levantamiento apropiado 366
  - 14.3.3 Reconocimiento de campo 367
  - 14.3.4 Desarrollo de un esquema de observación 368
  - 14.3.5 Disponibilidad de estaciones de referencia 373
- 14.4 Realización de levantamientos GPS estáticos 375
- 14.5 Procesamiento y análisis de datos 376
  - 14.5.1 Especificaciones para levantamientos GPS 378
  - 14.5.2 Análisis de las mediciones de línea base fija 380
  - 14.5.3 Análisis de mediciones repetidas de la línea base 381
  - 14.5.4 Análisis de los cierres de circuitos 381
  - 14.5.5 Ajuste de la red de la línea base 383
  - 14.5.6 El reporte del levantamiento 383
- 14.6 Cosas que deben considerarse 384
- 14.7 Fuentes de errores en los levantamientos con satélite 387
  - 14.7.1 Errores instrumentales 387
  - 14.7.2 Errores naturales 388
  - 14.7.3 Errores personales 388
- 14.8 Errores en los levantamientos con satélite 388
- Problemas 389
- Bibliografía 391

## **15 • SISTEMAS SATELITALES DE NAVEGACIÓN GLOBAL: LEVANTAMIENTOS CINEMÁTICOS 393**

---

- 15.1 Introducción 393
- 15.2 Planeación de los levantamientos cinemáticos 394
- 15.3 Inicialización 396
- 15.4 Equipo utilizado en los levantamientos cinemáticos 397
- 15.5 Métodos usados en los levantamientos cinemáticos 400
- 15.6 Cómo realizar los levantamientos cinemáticos posprocesados 403
- 15.7 La comunicación en los levantamientos cinemáticos en tiempo real 405
- 15.8 Redes en tiempo real 406
- 15.9 Realización de levantamientos cinemáticos en tiempo real 408

- 15.10 Control y guía de maquinaria 409
- 15.11 Errores en los levantamientos cinemáticos 412
- 15.12 Equivocaciones en los levantamientos cinemáticos 412
- Problemas 413
- Bibliografía 414

---

## **16 • AJUSTE CON MÍNIMOS CUADRADOS 415**

- 16.1 Introducción 415
- 16.2 Condición fundamental de los mínimos cuadrados 417
- 16.3 Ajuste por mínimos cuadrados según el método de la ecuación de observación 418
- 16.4 Métodos matriciales en el ajuste por mínimos cuadrados 422
- 16.5 Ecuaciones matriciales para precisiones de cantidades ajustadas 424
- 16.6 Ajuste por mínimos cuadrados de circuitos de nivelación 426
- 16.7 Propagación de errores 430
- 16.8 Ajuste de mínimos cuadrados de los vectores de línea base para el GNSS 431
- 16.9 Ajuste con mínimos cuadrados de levantamientos planos horizontales tradicionales 437
  - 16.9.1 Cómo linearizar las ecuaciones no lineales 437
  - 16.9.2 La ecuación de observación para distancias 439
  - 16.9.3 La ecuación de observación de acimutes 441
  - 16.9.4 La ecuación de observación de ángulos 442
  - 16.9.5 Un ejemplo con una poligonal usando WOLFPACK 444
- 16.10 Las elipses de error 445
- 16.11 Procedimientos de ajuste 450
- 16.12 Otras medidas de precisión para estaciones horizontales 452
- 16.13 Software 454
- 16.14 Conclusiones 454
- Problemas 455
- Bibliografía 461

---

## **17 • LEVANTAMIENTOS DE CONFIGURACIÓN 462**

- 17.1 Introducción 462
- 17.2 Métodos básicos para ejecutar levantamientos de configuración 463

- 17.3 Escala de un plano o mapa 464
- 17.4 Control para los levantamientos de configuración 466
- 17.5 Curvas de nivel 467
- 17.6 Propiedades de las curvas de nivel 469
- 17.7 Métodos directo e indirecto para determinar curvas de nivel 470
- 17.8 Modelos de elevación digitales y sistemas automáticos para el trazo de curvas de nivel 472
- 17.9 Métodos básicos para identificar accidentes topográficos en el campo 474
  - 17.9.1 Radiaciones con estación total 474
  - 17.9.2 Método del cuadrículado o de la "retícula" 476
  - 17.9.3 Referencias normales desde una línea eje 477
  - 17.9.4 Detallado topográfico con GNSS 479
  - 17.9.5 Escaneado con láser 481
- 17.10 Cómo planificar un levantamiento con escaneado con láser 482
- 17.11 Transformación de coordenadas de conformación tridimensional 485
- 17.12 Selección del método de campo 487
- 17.13 Cómo trabajar con recolectores de datos y software de campo a terminado 487
- 17.14 Levantamientos hidrográficos 490
  - 17.14.1 Equipo para sondeos 490
  - 17.14.2 Reconocimiento por sondeos 491
  - 17.14.3 Elaboración de mapas hidrográficos 493
- 17.15 Causas de error en levantamientos de configuración 494
- 17.16 Equivocaciones en levantamientos de configuración 494
- Problemas 495
- Bibliografía 497

## 18 • CARTOGRAFÍA

498

- 18.1 Introducción 498
- 18.2 Disponibilidad de mapas e información relacionada 499
- 18.3 Programa cartográfico nacional 500
- 18.4 Estándares de exactitud para la cartografía 501
- 18.5 Procedimientos de dibujo manual y por computadora 502
- 18.6 Diseño del mapa 503
- 18.7 Disposición del mapa en la hoja 506
- 18.8 Procedimientos básicos del trazo de mapas 507
  - 18.8.1 Trazado manual por coordenadas 507
  - 18.8.2 Graficado con el uso de CADD 508
- 18.9 Equidistancia de curvas de nivel 509

- 18.10 Trazo de curvas de nivel 509
- 18.11 Letreros 510
- 18.12 Elementos de los mapas cartográficos 511
- 18.13 Materiales de dibujo 514
- 18.14 Mapeo y sistemas de dibujo automatizado con ayuda de computadora 514
- 18.15 Migración de mapas entre paquetes de software 520
- 18.16 Influencia en la cartografía de los sistemas modernos de información geográfica y de suelos 521
- 18.17 Fuentes de errores en la cartografía 521
- 18.18 Equivocaciones en la cartografía 522
- Problemas 522
- Bibliografía 524

## **19 • LEVANTAMIENTOS DE CONTROL Y REDUCCIONES GEODÉSICAS**

**525**

- 
- 19.1 Introducción 525
  - 19.2 El elipsoide y el geoide 526
  - 19.3 El polo terrestre convencional 528
  - 19.4 La posición geodésica y los radios de curvatura elipsoidales 530
  - 19.5 La ondulación del geoide y la desviación de la vertical 532
  - 19.6 Planos de referencia en Estados Unidos 534
    - 19.6.1 Plano de referencia horizontal de Norteamérica de 1927 (NAD27) 534
    - 19.6.2 Plano de referencia horizontal de Norteamérica de 1983 (NAD83) 535
    - 19.6.3 Versiones posteriores del NAD83 535
    - 19.6.4 Plano de Referencia Vertical Geodésico Nacional de 1929 (NGVD29) 537
    - 19.6.5 Plano de Referencia Vertical de Norteamérica de 1988 (NAVD88) 537
    - 19.6.6 Marcos de referencia futuros en Estados Unidos 538
  - 19.7 Transformación de coordenadas entre marcos de referencia 539
    - 19.7.1 La transformación de Helmert y su variante 539
    - 19.7.2 El enfoque dos más uno 540
  - 19.8 Estándares de precisión y especificaciones para levantamientos de control 544
  - 19.9 El Sistema Nacional de Referencia Espacial 547
  - 19.10 Jerarquización en la red de Estados Unidos de control horizontal 547

- 19.11 Jerarquización en la red nacional de control vertical 547
- 19.12 Descripciones de puntos de control 548
- 19.13 Procedimientos de campo en los levantamientos tradicionales de control horizontal 551
  - 19.13.1 Triangulación 552
  - 19.13.2 Poligonación precisa 553
  - 19.13.3 Trilateración 555
  - 19.13.4 Redes combinadas 556
- 19.14 Procedimientos de campo para los levantamientos de control vertical 556
- 19.15 Reducción de las observaciones de campo a sus valores geodésicos 561
  - 19.15.1 Reducción de las mediciones de distancias usando elevaciones 562
  - 19.15.2 Reducción de las mediciones de distancias usando ángulos verticales 564
  - 19.15.3 Reducción de direcciones y ángulos 567
  - 19.15.4 La nivelación y las alturas ortométricas 570
- 19.16 Cálculos de posición geodésica 573
  - 19.16.1 El problema geodésico directo 574
  - 19.16.2 El problema geodésico inverso 575
- 19.17 El sistema de coordenadas geodésicas locales 576
- 19.18 Cálculos de las coordenadas tridimensionales 578
- 19.19 Software 580
- Problemas 580
- Bibliografía 583

## **20 • COORDENADAS PLANAS ESTATALES Y OTRAS PROYECCIONES CARTOGRÁFICAS 584**

---

- 20.1 Introducción 584
- 20.2 Proyecciones usadas en los sistemas de coordenadas planas estatales 585
- 20.3 Proyección cónica conforme de Lambert 588
- 20.4 Proyección Transversal de Mercator 589
- 20.5 Coordenadas planas estatales en el NAD27 y el NAD83 589
- 20.6 Cálculo de las coordenadas SPCS83 en el sistema cónico conforme de Lambert 591
  - 20.6.1 Las constantes de zona 591
  - 20.6.2 El problema directo 592
  - 20.6.3 El problema inverso 594
- 20.7 Cálculo de las coordenadas SPCS83 en el Sistema Transversal Mercator 596
  - 20.7.1 Las constantes de zona 596

- 20.7.2 El problema directo 597
- 20.7.3 El problema inverso 599
- 20.8 Reducción de distancias y ángulos a cuadrículas de coordenadas planas estatales 602
  - 20.8.1 Reducción de las distancias a la cuadrícula 603
  - 20.8.2 Reducción a cuadrícula de acimutes y de ángulos 607
- 20.9 Cálculo de las coordenadas planas estatales de las estaciones de una poligonal 612
- 20.10 Levantamientos que se extienden desde una zona a otra 615
- 20.11 La proyección Transversal Mercator Universal 616
- 20.12 Otras proyecciones cartográficas 617
  - 20.12.1 Proyección cartográfica estereográfica oblicua 618
  - 20.12.2 Proyección cartográfica oblicua de Mercator 620
- 20.13 Software de proyección cartográfica 621
- Problemas 622
- Bibliografía 625

## **21 • LEVANTAMIENTOS CATASTRALES O DESLINDES**

**626**

---

- 21.1 Introducción 626
- 21.2 Tipos de levantamientos de tierras 627
- 21.3 Perspectivas históricas 628
- 21.4 Descripción de una propiedad por acotamiento y linderos 629
- 21.5 Descripción de un predio por el sistema de manzanas y lotes 632
- 21.6 Descripción de un predio por coordenadas 634
- 21.7 Levantamientos de relocalización 634
- 21.8 Levantamientos para subdividir las tierras 637
- 21.9 Reparto de un terreno 639
- 21.10 Registro del título de propiedad 640
- 21.11 Posesión adversa y derecho de vía 641
- 21.12 Levantamientos para condominios 641
- 21.13 Sistemas de Información Geográfica y Terrestre 648
- 21.14 Fuentes de error en los levantamientos catastrales 648
- 21.15 Equivocaciones 649
- Problemas 649
- Bibliografía 651

**22 • LEVANTAMIENTOS DE TIERRAS  
DE JURISDICCIÓN FEDERAL****653**

- 
- 22.1 Introducción 653
  - 22.2 Instrucciones para el levantamiento de las tierras públicas 654
  - 22.3 Punto inicial 657
  - 22.4 Meridiano (o meridiana) principal 658
  - 22.5 Línea base 659
  - 22.6 Paralelos estándares (o líneas de corrección) 659
  - 22.7 Meridianos guías 660
  - 22.8 División exterior en demarcaciones, líneas meridionales (hilera) y líneas de latitud (demarcación) 661
  - 22.9 Designación de las demarcaciones 662
  - 22.10 Subdivisión de una zona cuadrangular en demarcaciones 662
  - 22.11 Subdivisión de una demarcación en secciones 664
  - 22.12 División de una sección en subsecciones 665
  - 22.13 Secciones fraccionarias 666
  - 22.14 Notas 666
  - 22.15 Sinopsis de los pasos a seguir para la división de tierras 666
  - 22.16 Marcación de vértices 666
  - 22.17 Vértices testigo 667
  - 22.18 Vértices de margen o de contorno 667
  - 22.19 Vértices perdidos y borrados 668
  - 22.20 Precisión en los levantamientos de las tierras públicas 671
  - 22.21 Descripciones por demarcación, sección y subdivisión menor 672
  - 22.22 Sistemas de información de la BLM sobre tierras 673
  - 22.23 Causas de error 674
  - 22.24 Equivocaciones 674
  - Problemas 674
  - Bibliografía 676

**23 • LEVANTAMIENTOS PARA CONSTRUCCIONES 677**

- 
- 23.1 Introducción 677
  - 23.2 Equipo especializado para levantamientos de construcción 678

- 23.2.1 Instrumentos de rayo láser visible 678
- 23.2.2 MED de láser de pulsación 680
- 23.2.3 Escáneres de láser 680
- 23.3 Controles horizontal y vertical 682
- 23.4 Trazo de la línea para el tendido de una tubería 683
- 23.5 Trazo de la rasante (o la subrasante) 684
- 23.6 Trazado de líneas para una edificación 686
- 23.7 Trazo de una carretera 690
- 23.8 Otros levantamientos para construcciones 695
- 23.9 Levantamientos de construcción usando instrumentos de estación total 696
- 23.10 Levantamientos de construcción usando equipo GNSS 699
- 23.11 Control y guía de maquinaria 701
- 23.12 Levantamientos tal como están construidos con escaneado con láser 703
- 23.13 Causas de error en los levantamientos de construcción 703
- 23.14 Equivocaciones 704
- Problemas 704
- Bibliografía 706

## **24 • CURVAS HORIZONTALES**

**707**

---

- 24.1 Introducción 707
- 24.2 Grado de una curva circular 708
- 24.3 Definiciones y deducción de fórmulas de curvas circulares 710
- 24.4 Establecimiento de estaciones sobre la curva circular 711
- 24.5 Procedimiento general para el trazo de una curva circular por deflexiones angulares 713
- 24.6 Cálculo de deflexiones angulares y cuerdas 715
- 24.7 Notas para el trazo de curvas circulares con los métodos de deflexiones angulares y del incremento de las cuerdas 717
- 24.8 Procedimientos detallados para el trazo de una curva circular con los métodos de deflexiones angulares y del incremento de las cuerdas 718
- 24.9 Emplazamiento sobre la curva 719
- 24.10 Curvas circulares en el sistema métrico por ángulos de deflexión e incremento de las cuerdas 720
- 24.11 Trazo de curvas circulares por ángulos de deflexión y cuerdas totales 722
- 24.12 Cálculo de coordenadas en una curva circular 723

- 24.13 Trazo de curvas circulares por coordenadas 724
  - 24.14 Estacado de una curva usando receptores GNSS y estaciones totales robóticas 730
  - 24.15 Trazo de curvas circulares por distancias 731
  - 24.16 Problemas especiales de curvas circulares 734
    - 24.16.1 Paso de una curva circular a través de un punto fijo 734
    - 24.16.2 Intersección de una curva circular y una línea recta 735
    - 24.16.3 Intersección de dos curvas circulares 735
  - 24.17 Curvas compuestas e inversas 735
  - 24.18 Visibilidad (o alcance visual) en curvas horizontales 735
  - 24.19 Espirales 736
    - 24.19.1 Relaciones geométricas en espirales 736
    - 24.19.2 Cálculo y trazo de una espiral 738
  - 24.20 Cálculo de alineamientos circulares "tal como están construidos" 741
  - 24.21 Causas de errores en el trazado de curvas circulares 744
  - 24.22 Equivocaciones 744
- Problemas 745  
Bibliografía 747

## **25 • CURVAS VERTICALES**

**748**

- 
- 25.1 Introducción 748
  - 25.2 Ecuación general de una curva vertical parabólica 749
  - 25.3 Ecuación de una curva vertical parabólica de tangentes iguales 750
  - 25.4 Punto más alto o más bajo en una curva vertical 752
  - 25.5 Cálculo de una curva vertical usando la ecuación de la desviación de la tangente 752
    - 25.5.1 Ejemplo de cálculos usando el sistema inglés de unidades 752
    - 25.5.2 Ejemplo de cálculos usando el sistema métrico 754
  - 25.6 Propiedad de las tangentes iguales de una parábola 756
  - 25.7 Cálculos de la curva por proporción 757
  - 25.8 Estacado de una curva vertical parabólica 757
  - 25.9 Control de maquinaria en operaciones de nivelación 758
  - 25.10 Cálculos para una curva vertical de tangentes desiguales 758
  - 25.11 Diseño de una curva que pase por un punto dado 761

- 25.12 Distancia de visibilidad 762
- 25.13 Causas de error en el trazo de curvas verticales 764
- 25.14 Equivocaciones 764
- Problemas 765
- Bibliografía 766

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

**767**

- 26.1 Introducción 767
- 26.2 Métodos de cubicación 767
- 26.3 El método de la sección transversal 768
- 26.4 Tipos de secciones transversales 769
- 26.5 Fórmula del promedio 770
- 26.6 Determinación de las áreas de secciones transversales 772
  - 26.6.1 Determinación de áreas mediante el uso de figuras geométricas simples 772
  - 26.6.2 Áreas por coordenadas 773
- 26.7 Cálculo de los puntos de transición de los taludes 774
- 26.8 Fórmula del prismoide 776
- 26.9 Cubicaciones 778
- 26.10 Método del área unitaria o de cantera de préstamo 780
- 26.11 Método de curvas de nivel 781
- 26.12 Cálculo de volúmenes hidráulicos 782
- 26.13 Software 784
- 26.14 Causas de error en las cubicaciones 785
- 26.15 Equivocaciones 785
- Problemas 785
- Bibliografía 788

## **27 • FOTOGRAMETRÍA**

**789**

- 27.1 Introducción 789
- 27.2 Aplicaciones de la fotogrametría 790
- 27.3 Cámaras aerofotográficas 791
- 27.4 Tipos de fotografías aéreas 793
- 27.5 Aerofotos verticales 793
- 27.6 Escala de una aerofoto vertical 795
- 27.7 Coordenadas en tierra a partir de una sola aerofoto vertical 799
- 27.8 Desplazamiento por relieve (tendido radial) en una aerofoto vertical 801
- 27.9 Altura de vuelo para una aerofoto vertical 803
- 27.10 Paralaje estereoscópico 804

- 27.11 Visualización estereoscópica 807
- 27.12 Medición estereoscópica de la paralaje 808
- 27.13 Fotogrametría analítica 810
- 27.14 Trazadores estereoscópicos 811
  - 27.14.1 Conceptos básicos de los estereotrazadores 811
  - 27.14.2 Estereotrazadores analíticos 813
  - 27.14.3 Estereotrazadores de copia de presentación transitoria 814
- 27.15 Ortofotos 816
- 27.16 Control en tierra para la fotogrametría 817
- 27.17 Planes de vuelo 818
- 27.18 Sistemas aerotransportados de cartografía con láser 820
- 27.19 Percepción remota 821
- 27.20 Software 827
- 27.21 Causas de error en la fotogrametría 828
- 27.22 Equivocaciones 828
- Problemas 829
- Bibliografía 831

## **28 • INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

**833**

- 
- 28.1 Introducción 833
  - 28.2 Sistemas de información terrestre 836
  - 28.3 Fuentes de datos y clasificaciones GIS 836
  - 28.4 Datos espaciales 836
    - 28.4.1 Objetos espaciales simples 837
    - 28.4.2 Formatos vectoriales y de cuadrícula 838
    - 28.4.3 Topología 841
  - 28.5 Datos no espaciales 842
  - 28.6 Conversiones de los formatos de datos 842
    - 28.6.1 Conversión de vector a cuadrícula 843
    - 28.6.2 Conversión de cuadrícula a vector 844
  - 28.7 Generación de bases de datos GIS 845
    - 28.7.1 Generación de datos digitales a partir de levantamientos de campo 846
    - 28.7.2 Digitalización de fotos aéreas con estereotrazadores 847
    - 28.7.3 Digitalización de material gráfico existente 848
    - 28.7.4 Entrada por teclado 849
    - 28.7.5 Conjuntos existentes de datos digitales 849
    - 28.7.6 Escaneado 850
  - 28.8 Metadatos 851
  - 28.9 Funciones analíticas GIS 852
    - 28.9.1 El análisis de proximidad 852
    - 28.9.2 Operaciones de frontera 853

- 28.9.3 Uniones espaciales 854
- 28.9.4 Operaciones lógicas 855
- 28.9.5 Otras funciones GIS 856
- 28.10 Aplicaciones de los GIS 856
- 28.11 Fuentes de datos 857
- Problemas 859
- Bibliografía 861

---

**APÉNDICE A • PROBLEMAS EN LAS MEDICIONES CON CINTA 863**

---

- A.1 Corrección de los errores sistemáticos en mediciones con cinta 863

---

**APÉNDICE B • EJEMPLOS DE NOTAS DE CAMPO 866**

---

---

**APÉNDICE C • OBSERVACIONES ASTRONÓMICAS 873**

---

- C.1 Introducción 873
- C.2 Vista panorámica de los procedimientos usuales para la determinación astronómica del acimut 874
- C.3 Efemérides 876
- C.4 Definiciones 879
- C.5 Tiempo 881
- C.6 Cronometraje de las observaciones 884
- C.7 Cálculo del acimut por observaciones de la estrella polar mediante el método del ángulo horario 885
- C.8 Determinación del acimut por observaciones del sol 887
- C.9 Importancia de la nivelación de precisión 888

---

**APÉNDICE D • USO DE LAS HOJAS DE CÁLCULO 889**

---

- D.1 Introducción 889
- D.2 Cómo usar los archivos 889
- D.3 Cómo usar las hojas de cálculo como una ayuda en el aprendizaje 894

---

**APÉNDICE E • INTRODUCCIÓN A LAS MATRICES 895**

---

- E.1 Introducción 895
- E.2 Definición de una matriz 895
- E.3 Las dimensiones de una matriz 896
- E.4 La traspuesta de una matriz 897
- E.5 Suma de matrices 897
- E.6 Multiplicación de matrices 897
- E.7 Matriz inversa 899

---

**APÉNDICE F • PARÁMETROS DE DEFINICIÓN  
DEL SISTEMA DE COORDENADAS  
PLANAS ESTATALES DE ESTADOS  
UNIDOS 901**

---

- F.1 Introducción 901
- F.2 Parámetros de definición para los estados usando la proyección cartográfica cónica conforme de Lambert 901
- F.3 Parámetros de definición para los estados usando la proyección cartográfica Transversal de Mercator 903

---

**APÉNDICE G • RESPUESTAS A PROBLEMAS  
SELECCIONADOS 906**

---

---

**ÍNDICE 911**

---