2 EDICIÓN

TOPOGRAFÍA

Conceptos y aplicaciones



SIL
SISTEMA DE INFORMACIÓN EN LÍNEA
COMPLEMENTO VIRTUAL

Wilson Ernesto Vargas Vargas
Mario Arturo Rincón Villlaba
Carlos Javier González Vergara

ECOE EDICIONES

TOPOGRAFÍA

CONCEPTOS Y APLICACIONES

Wilson Ernesto Vargas Vargas
Mario Arturo Rincón Villalba
Carlos Javier González Vergara

Catalogación en la publicación - Biblioteca Nacional de Colombia

Vargas Vargas, Wilson Ernesto, autor
Topografía : conceptos y aplicaciones / Wilson Ernesto Vargas Vargas, Mario Arturo Rincón Villlaba, Carlos Javier González Vergara -- Segunda edición -- Bogotá : Ecoe Ediciones, 2023.
337 páginas. -- (Ingeniería y afines. Ingeniería civil)

Incluye datos curriculares de los autores -- Incluye referencias bibliográficas.

ISBN 978-958-503-641-3 (impreso) -- 978-958-503-642-0 (e-book)

1. Topografía 2. Ingeniería civil I. Rincón Villalba, Mario Arturo, autor II. González Vergara, Carlos Javier, autor

CDD: 526.3 ed. 23 CO-BoBN– a1112492

Área: *Ingeniería y afines*
Subárea: *Ingeniería civil*

ECOE
EDICIONES

© Wilson Ernesto Vargas Vargas
© Mario Arturo Rincón Villalba
© Carlos Javier González Vergara

© Ecoe Ediciones S.A.S.
info@ecoeediciones.com
www.ecoeediciones.com
Carrera 19 # 63 C 32
Teléfono: (+57) 321 226 46 09
Bogotá, Colombia

Segunda edición: Bogotá, marzo del 2023

ISBN: 978-958-503-641-3
e-ISBN: 978-958-503-642-0

Directora editorial: Claudia Garay Castro
Coordinadora editorial: Paula Bermúdez B.
Editora júnior de adquisiciones: Alejandra Cely R.
Corrección de estilo: Andrés Caro
Diagramación: Nicolás Bello
Carátula: Wilson Marulanda Muñoz
Impresión: La Imprenta Editores
Calle 77 # 27 A - 39

Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.

Impreso y hecho en Colombia - Todos los derechos reservados

CONTENIDO

Capítulo 1. Conceptos básicos 1
1.1 Topografía 1
1.1.1 Representación de puntos en topografía 1
1.2 Operaciones topográficas 2
1.2.1 Levantamiento topográfico 2
1.2.2 Replanteo 2
1.2.3 Control 3
1.3 Tipos de levantamientos 3
1.4 Mediciones en topografía 3
1.4.1 Unidades de medición angular 4
1.4.2 Unidades de medida de longitud 5
1.4.3 Unidades de medida de superficie 7
1.4.4 Unidades de medida de volumen 8
1.5 Redondeo de números 8
1.6 Exactitud y precisión 9
1.7 Equipos utilizados en Topografía 9
1.7.1 Estación total 9
1.7.2 Trípode 10
1.7.3 Nivel topográfico 11

1.7.4 Mira topográfica 11
1.7.5 Prisma 11
1.7.6 Jalones 12
1.7.7 Cinta métrica 13
1.7.8 Plomadas 13

CAPÍTULO 2. LEVANTAMIENTOS CON CINTA Y BRÚJULA 15
2.1 Levantamiento con cinta 15
2.1.1 Medición de distancias con cinta 15
2.1.2 Medición de ángulos con cinta 18
2.1.3 Cálculo de áreas por figuras geométricas 20
2.1.4 Levantamiento con cinta método de izquierdas y derechas 22
2.1.5 Levantamiento con cinta método de medidas a dos puntos 27
2.2 Levantamiento con cinta y brújula 32
2.2.1 Ejercicio práctico 34
2.3 Ejercicios planteados 40

CAPÍTULO 3. ÁNGULOS Y COORDENADAS 41
3.1 Ángulos 41
3.1.1 Rumbo (Rb) 42
3.1.2 Azimut (AZ) 43
3.1.3 Ángulo de deflexión 43
3.2 Coordenadas 44
3.2.1 Coordenadas arbitrarias 47
3.2.2 Coordenadas asifinas 48
3.2.3 Coordenadas reales 48
3.2.4 Coordenadas rectangulares 48
3.2.5 Coordenadas polares 48
3.3 Conversión de coordenadas 49
3.3.1 Conversión de coordenadas rectangulares a polares 49
3.3.2 Conversión de coordenadas polares a rectangulares 51

CAPÍTULO 4. RADIACIÓN 53
4.1 Radiación simple 53
4.1.1 Definición 53
4.1.2 Aplicaciones 54
4.1.3 Procedimiento en terreno 54
4.1.4 Procedimiento en la oficina 55
4.1.5 Ejemplo práctico 55
4.1.6 Cálculos 56
4.2 Radiación doble 60
4.2.1 Definición 60
4.2.2 Aplicaciones 60
4.2.3 Ley de senos 61
4.2.4 Metodología 61
4.2.5 Ejemplo 62
4.3 Ejercicios planteados 70

Capítulo 5. Poligonales 73
5.1 Generalidades 73
5.2 Clasificación de las poligonales 74
5.2.1 Poligonal abierta 74
5.2.2 Poligonal cerrada 75
5.2.3 Poligonal orientada o de azimut directo 76
5.2.4 Poligonal no orientada 76
5.3 Ajustes y compensaciones 78
5.3.1 Error de cierre angular 78
5.3.2 Errores de cierre en distancia 80
5.3.3 Precisión de la poligonal 80
5.4 Métodos de ajuste 80
5.4.1 Método de brújula o de Bowditch 80
5.4.2 Método de tránsito 81
5.4.3 Método de Crandall 81
5.4.4 Método de variación de coordenadas 82
5.4.5 Ajuste por mínimos cuadrados 83

Capítulo 6. Poligonal abierta 85
6.1 Definición 85
6.2 Levantamiento: poligonal abierta método ceros atrás 86
6.2.1 Metodología 86
6.2.2 Ejercicio: poligonal abierta por ceros atrás 87
6.3 Poligonal abierta por azimut directo 90
6.3.1 Metodología 90
6.3.2 Ejercicio poligonal abierta por azimut directo 92
6.4 Ejercicio planteado 96

Capítulo 7. Poligonal cerrada 97
7.1 Definición 97
7.2 Aplicaciones 97
7.3 Metodología 97
7.3.1 Trabajo de campo 97
7.3.2 Trabajo en oficina 98
7.4 Ejercicio práctico 99
7.4.1 Ajuste de la poligonal por método de brújula 100
7.4.2 Ajuste de la poligonal por método de tránsito 105
7.4.3 Ajuste de la poligonal por método de Crandall 107
7.4.4 Ajuste de la poligonal por método de variación de coordenadas por el número de lados 110
7.4.5 Ajuste de la poligonal por método de variación de coordenadas por el perímetro 112
7.4.6 Ajuste de la poligonal por método de mínimos cuadrados 114
7.4.7 Cálculo de los detalles 118
7.5 Ejercicio planteado 120

CAPÍTULO 8. POLIGONAL PUNTO A PUNTO 123
8.1 Metodología 125
8.1.1 Trabajo de campo 125
8.1.2 Trabajo de oficina 125
8.2 Ejercicio: poligonal abierta por ceros atrás corrigiendo ángulos 126
8.2.1 Cálculos 127
8.3 Ejercicio: poligonal punto a punto por ceros atrás corrigiendo azimuts 134
8.3.1 Cálculos 136
8.4 Poligonal controlada en cada delta 143
8.4.1 Aplicaciones y ventajas 143
8.4.2 Metodología 144
8.4.3 Ejercicio práctico 145
8.5 Ejercicio planteado 152

CAPÍTULO 9. LOCALIZACIÓN DE PROYECTOS 155
9.1 Tipos de replanteo 156
9.1.1 Replanteo para obras puntuales 156
9.1.2 Replanteo para obras lineales 158
9.1.3 Control vertical 161

CAPÍTULO 10. CÁLCULO DE ÁREAS 163
10.1 Definición 163
10.2 Métodos de cálculo de áreas 164
10.2.1 Método de las figuras geométricas 164
10.2.2 Método de las coordenadas 170
10.2.3 Método de la herramienta CAD 174
10.2.4 Método gráfico del planímetro 178
10.2.5 Método gráfico de la malla de puntos 180
10.2.6 Método gráfico del papel milimetrado 183

CAPÍTULO 11. ALTIMETRÍA, CONCEPTOS GENERALES 185
11.1 Altimetría 185
11.2 Altura o cota 186
11.3 Tipos de nivelación 186
11.4 Equipos empleados en nivelación 187
11.4.1 Teodolito 187
11.4.2 Nivel 188
11.4.3 Mira 189
11.4.4 Nivel de mano (nivel Locke) 189
11.4.5 Nivel Abney 189
11.4.6 Altímetro 190
11.4.7 Equipo menor y materiales 190
11.5 Precisión en altimetría 190
11.5.1 Error permitido en nivelación 190

Capítulo 12. Nivelación geométrica o diferencial 193
12.1 Equipos para nivelación geométrica 193
12.2 Errores en nivelación geométrica 194
12.3 Nivelación geométrica simple 195
12.3.1 Ejemplo de nivelación geométrica simple 196
12.4 Nivelación geométrica compuesta 197
12.4.1 Procedimiento para nivelaciones geométricas compuestas 198
12.5 Circuito de nivelación por diferentes cambios 198
12.5.1 Ejemplo práctico: circuito de nivelación por diferentes cambios 199
12.5.2 Ejercicio propuesto: circuito de nivelación por diferentes cambios 203
12.6 Circuito de nivelación por los mismos cambios 203
12.6.1 Ejemplo práctico: circuito de nivelación por los mismos cambios 204
12.6.2 Ejercicio práctico: circuito de nivelación por los mismos cambios 208

Capítulo 13. Nivelación trigonométrica 209
13.1 Definición 209
13.2 Usos 210
13.3 Metodología 210
13.3.1 Trabajo en campo 210
13.3.2 Trabajo en oficina 211
13.4 Tipos de nivelación trigonométrica 212
13.4.1 Nivelación trigonométrica simple 212
13.4.2 Nivelación trigonométrica compuesta 217
13.5 Ejercicio propuesto 225

Capítulo 14. Nivelación de líneas (perfiles) 227
14.1 Concepto 227
14.2 Perfil longitudinal 228
14.2.1 Métodos de materialización de ejes 228
14.2.2 Ejemplo práctico 230
14.3 Perfiles o secciones transversales 234
14.3.1 Nivelación de los perfiles transversales 234
14.3.2 Ejemplo práctico 237
14.4 Ejercicio propuesto 241

Capítulo 15. Modelos digitales de terreno 243
15.1 Curvas de nivel 244
15.1.1 Características de las curvas de nivel 244
15.1.2 Equidistancia de las curvas de nivel 245
15.2 *Breaklines* o divisorias de aguas 246
15.3 Análisis con Modelos Digitales de Terreno 248
15.3.1 Interpretación de las curvas 248
15.3.2 Mapa de pendientes 249
15.3.3 Mapa de elevaciones 249
15.3.4 Mapa de direcciones de pendiente 250
15.3.5 Mapa de cuencas 250

CAPÍTULO 16. NIVELACIÓN DE SUPERFICIES 253
16.1 Generalidades 253
16.2 Nivelación por radiación 253
16.3 Nivelación por cuadrícula 263
16.4 Método de nivelación trigonométrica – puntos de quiebre 271
16.5 Ejercicios planteados 283

CAPÍTULO 17. MOVIMIENTO DE TIERRAS 289
17.1 Concepto 289
17.2 Método de perfiles consecutivos o secciones transversales 289
17.2.1 Diseño de la rasante 289
17.2.2 Cálculo del área en la sección transversal 292
17.2.3 Cálculo de la cubicación 298
17.3 Método de las curvas de nivel 303

CAPÍTULO 18. PLANOS TOPOGRÁFICOS 307
18.1 Información en planos topográficos 310
18.2 Elaboración de planos correspondientes a levantamientos topográficos 314

CAPÍTULO 19. SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL 315
19.1 Segmentos del sistema GPS 316
19.1.1. Segmento espacial 316
19.1.2. Segmento control Tierra 317
19.1.3. Segmento de usuarios 317
19.2 Constelaciones satelitales 319
19.2.1 Constelación GPS (Antigua Navstar) 319
19.2.2 Constelación GLONASS 320
19.2.3 Constelación GALILEO 321
19.3 Métodos de posicionamiento GPS 322
19.3.1 Posicionamiento estático relativo 323
19.3.2 Posicionamiento estático relativo rápido 323
19.3.3 Posicionamiento cinemático relativo 324
19.3.4 Posicionamiento cinemático STOP & GO 324
19.3.5 Posicionamiento en tiempo real (RTK) 325
19.4 Procesamiento de datos GPS 326
19.4.1 Planeación 326
19.4.2 Toma de datos 328
19.4.3 Postproceso 328

REFERENCIAS 339

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación de puntos 2
Figura 2. Distancias en topografía 4
Figura 3. Precisión 9
Figura 4. Estación total 10
Figura 5. Trípode 10
Figura 6. Nivel 11
Figura 7. Mira 11
Figura 8. Prisma 12
Figura 9. Jalones 12
Figura 10. Cinta métrica o flexómetro 13
Figura 11. Plomada 13
Figura 12. Medidas con cinta en terreno plano 16
Figura 13. Medidas seccionadas con cinta en terreno plano 16
Figura 14. Medidas con cinta en terreno inclinado 17
Figura 15. Medidas seccionadas con cinta en terreno inclinado 17
Figura 16. Medidas con cinta en terreno inclinado con obstáculos 18
Figura 17. Perpendicular con cinta, método del radio 18
Figura 18. Perpendicular con cinta, método del triángulo rectángulo 19
Figura 19. Perpendicular con escuadras 19

Figura 20. Fórmula para ángulos con cinta 19
Figura 21. Carteras de campo: levantamiento con cinta..... 23
Figura 22. Carteras de campo: levantamiento con cinta..... 24
Figura 23. Área por figuras geométricas..... 26
Figura 24. Distancias izquierdas y derechas al restaurante 27
Figura 25. Distancias al punto 10..... 28
Figura 26. Carteras de campo: levantamiento con cinta, método distancias a dos puntos 29
Figura 27. Carteras de campo: levantamiento con cinta, método distancias a dos puntos 30
Figura 28. Ejercicio planteado: levantamiento con cinta..... 31
Figura 29. Ejercicio planteado: levantamiento con cinta..... 32
Figura 30. Azimut 33
Figura 31. Rumbo 33
Figura 32. Carteras de campo: levantamiento con cinta y brújula..... 35
Figura 33. Carteras de campo: levantamiento con cinta y brújula..... 36
Figura 34. Azimuts tomados en campo 38
Figura 35. Atracción local de cada línea del polígono 38
Figura 36. Atracción local de cada línea del polígono 39
Figura 37. Ejercicio: medición con cinta..... 40
Figura 38. Ángulo 42
Figura 39. Nomenclatura de los cuadrantes..... 42
Figura 40. Rumbo 43
Figura 41. Azimut 43
Figura 42. Ángulo de deflexión..... 44
Figura 43. Proyecciones cartográficas..... 46
Figura 44. Orígenes de las coordenadas planas de Gauss en Colombia 47
Figura 45. Coordenadas..... 48
Figura 46. Coordenadas polares 49
Figura 47. Coordenadas rectangulares a polares..... 50
Figura 48. Definición de cuadrante en función del signo de las diferencias de norte y este 50
Figura 49. Signo del ángulo θ..... 51
Figura 50. Coordenadas rectangulares a polares..... 52
Figura 51. Radiación simple de un lote..... 53
Figura 52. Equipos empleados en levantamientos por radiación simple 54
Figura 53. Imagen del predio a levantar 56
Figura 54. Cartera de campo: levantamiento por radiación sencilla 57

Figura 55. Cartera de campo: levantamiento por radiación sencilla 58
Figura 56. Radiación doble 60
Figura 57. Ley de senos 61
Figura 58. Glorieta a ser levantada y ubicación de la base medida 62
Figura 59. Radiación doble en la glorieta 63
Figura 60. Cartera de campo: radiación desde D_2 64
Figura 61. Cartera de campo: radiación desde D_2 y D_3 65
Figura 62. Cartera de Campo: radiación desde D_3 66
Figura 63. Ángulos del triángulo para el punto 4 67
Figura 64. Levantamiento con poligonales 74
Figura 65. Poligonal abierta 75
Figura 66. Poligonal de circuito cerrado 75
Figura 67. Poligonal de línea cerrada 76
Figura 68. Poligonal orientada 76
Figura 69. Poligonal por ceros atrás externos 77
Figura 70. Poligonal por ceros atrás internos 77
Figura 71. Poligonal por deflexiones 78
Figura 72. Ángulos internos de una poligonal 79
Figura 73. Ángulos externos de una poligonal 79
Figura 74. Poligonal con brazo interno 80
Figura 75. Poligonal abierta 85
Figura 76. Cartera de campo 87
Figura 77. Cartera de campo 92
Figura 78. Ejercicio planteado: poligonal abierta 96
Figura 79. Ejercicio práctico: poligonal cerrada 99
Figura 80. Ejercicio práctico: poligonal cerrada 100
Figura 81. Ejercicio planteado: poligonal cerrada 120
Figura 82. Ejercicio planteado: poligonal cerrada 121
Figura 83. Poligonal punto a punto 123
Figura 84. Poligonal punto a punto con dos puntos de apoyo 124
Figura 85. Poligonal punto a punto con tres puntos de apoyo 124
Figura 86. Poligonal punto a punto con cuatro puntos de apoyo 124
Figura 87. Ejercicio poligonal punto a punto 126
Figura 88. Ejercicio: poligonal punto a punto 127
Figura 89. Ángulos medidos y ángulo proyectado 129
Figura 90. Ángulos externos del polígono (incluido el ángulo en proyecciones) 129
Figura 91. Ejercicio poligonal punto a punto (para corregir azimuts) 135

Figura 92. Ejercicio poligonal punto a punto (para corregir azimuts) 136
Figura 93. Poligonal controlada en cada delta 143
Figura 94. Cartera de campo 145
Figura 95. Cartera de campo 146
Figura 96. Cartera de campo 152
Figura 97. Cartera de campo 153
Figura 98. Planta de bodega 157
Figura 99. Tramo vial 159
Figura 100. Tramo vial para control vertical 162
Figura 101. Unidades de área 164
Figura 102. Área a levantar 166
Figura 103. División del terreno en figuras geométricas 166
Figura 104. Cartera de campo: levantamiento con cinta 168
Figura 105. Cartera de campo: levantamiento con cinta 169
Figura 106. Coordenadas de la edificación - Numeración de puntos 171
Figura 107. Poligonal que une los puntos de la edificación de la Figura 106 174
Figura 108. Comando *AREA* en la barra de comandos 175
Figura 109. Comando *AREA*, opción *Object*, selección del polígono 175
Figura 110. Área del polígono 175
Figura 111. Selección de puntos del polígono bajo el comando *AREA* 176
Figura 112. Área del polígono 176
Figura 113. Comando *LIST* 177
Figura 114. Área de la poligonal con el comando *LIST* 178
Figura 115. Planímetro rodante 178
Figura 116. Ubicación de los brazos del planímetro 179
Figura 117. Recorrido para el cálculo del área por planímetro polar 179
Figura 118. Cálculo del área por planímetro rodante 180
Figura 119. Malla de puntos 181
Figura 120. Área por malla de puntos 182
Figura 121. Conteo de puntos en el área 182
Figura 122. Diferentes ubicaciones de la malla sobre el área 183
Figura 123. Área con papel milimetrado 183
Figura 124. Posiciones diferentes para el conteo de puntos 184
Figura 125. Cota o altura 186
Figura 126. Teodolito 188
Figura 127. Nivel 188
Figura 128. Mira 189

Figura 129. Nivel Locke 189
Figura 130. Nivel Abney 189
Figura 131. Altímetro 190
Figura 132. Nivelación geométrica simple 195
Figura 133. Cartera de campo: nivelación geométrica simple 196
Figura 134. Nivelación geométrica compuesta 198
Figura 135. Ejercicio: circuito de nivelación por diferentes cambios 199
Figura 136. Ejercicio: circuito de nivelación por diferentes cambios 200
Figura 137. Ejercicio propuesto: circuito de nivelación por diferentes cambios 203
Figura 138. Ejercicio: circuito de nivelación por los mismos cambios 204
Figura 139. Ejercicio: circuito de nivelación por los mismos cambios 205
Figura 140. Ejercicio: circuito de nivelación por los mismos cambios 207
Figura 141. Diagrama general de la nivelación trigonométrica 210
Figura 142. Ángulo cenital mayor a 90 grados 212
Figura 143. Cartera de campo 213
Figura 144. Cartera de campo 214
Figura 145. Cartera de campo 219
Figura 146. Cartera de campo 220
Figura 147. Cartera de campo 221
Figura 148. Cartera de campo 222
Figura 149. Ejercicio propuesto: cartera de campo 225
Figura 150. Ejercicio propuesto: cartera de campo 226
Figura 151. Perfil topográfico 227
Figura 152. Tipo de perfiles 228
Figura 153. Materialización del eje por distancias fijas 229
Figura 154. Materialización del eje por puntos de quiebre 229
Figura 155. Problemas en el método de distancias fijas 230
Figura 156. Materialización del eje por método mixto 230
Figura 157. Cartera de campo: nivelación perfil 1 231
Figura 158. Cartera de campo: nivelación perfil 2 232
Figura 159. Dibujo perfil escala 1:1 234
Figura 160. Perfil escala a décupla 234
Figura 161. Escuadra óptica 235
Figura 162. Escuadra de agrimensor 235
Figura 163. Trazo de perpendiculares en línea recta 236
Figura 164. Trazo de perpendiculares en las curvas 236
Figura 165. Nivelación de secciones transversales 237

Figura 166. Nivelación de secciones transversales con cambios 237
Figura 167. Cartera de campo de nivelación de secciones 238
Figura 168. Sección transversal 240
Figura 169. Nivelación de un perfil 241
Figura 170. Nivelación secciones transversales 242
Figura 171. Modelo digital del terreno 243
Figura 172. Curvas de nivel de un modelo digital del terreno 244
Figura 173. Curvas de nivel de un modelo digital del terreno 245
Figura 174. Curvas de nivel sobre un vía sin aplicar breaklines 246
Figura 175. Líneas de triangulación o interpolación sin breaklines 247
Figura 176. Líneas de triangulación o interpolación con breaklines 247
Figura 177. Curvas de nivel sobre un vía aplicando breaklines 248
Figura 178. Curvas de nivel en corrientes de agua y en filos de montaña 248
Figura 179. Mapa de pendientes 249
Figura 180. Mapa de elevaciones 250
Figura 181. Mapa de direcciones de pendiente 250
Figura 182. Mapa de cuencas 251
Figura 183. Radiación. Ubicación de las visuales 254
Figura 184. Materialización de puntos de quiebre 254
Figura 185. Medición de ángulos y distancias 255
Figura 186. Cartera de la radiación 256
Figura 187. Cartera de la nivelación 258
Figura 188. Interpolación entre los puntos 21 - 22 260
Figura 189. Ubicación de las cotas cerradas 262
Figura 190. Plano topográfico 263
Figura 191. Terreno a nivelar 264
Figura 192. Coordenadas de la cuadrícula 264
Figura 193. Cuadrícula y equipo para nivelación 265
Figura 194. Dimensiones de una cuadrícula 268
Figura 195. Líneas y diagonales de la cuadrícula 269
Figura 196. Ubicación de puntos para curvas de nivel en la cuadrícula 270
Figura 197. Trazado de las curvas de nivel 271
Figura 198. Cartera de campo 272
Figura 199. Cartera de campo 273
Figura 200. Cartera de campo 274
Figura 201. Cartera de nivelación 275
Figura 202. Ubicación de los puntos por coordenadas y generación de los triángulos 280

Figura 203. Creación de la superficie en Civil 3D 281
Figura 204. Creación de los puntos en la plataforma Civil 3D 281
Figura 205. Definición de la superficie por puntos en la plataforma Civil 3D 282
Figura 206. Puntos en la plataforma Civil 3D 282
Figura 207. Modelo Digital de Terreno - MDT en la plataforma Civil 3D 283
Figura 208. Nivelación de un terreno por radiación 284
Figura 209. Nivelación de un terreno por radiación 285
Figura 210. Nivelación de terrenos por puntos de quiebre 287
Figura 211. Nivelación de terrenos por puntos de quiebre 288
Figura 212. Perfil y diseño 290
Figura 213. Sección transversal típica 291
Figura 214. Trazo de la rasante en la sección transversal 291
Figura 215. Área del diseño en la sección transversal 292
Figura 216. Puntos de la sección transversal 293
Figura 217. Área por método de cartera de chaflanes 293
Figura 218. Multiplicaciones de la regla de cruces 294
Figura 219. Puntos sección transversal mixta 294
Figura 220. Área por método de cartera de chaflanes. Sección mixta 295
Figura 221. Multiplicaciones de la regla de cruces 296
Figura 222. Origen cartesiano 296
Figura 223. Multiplicaciones de coordenadas 297
Figura 224. Área en CAD 298
Figura 225. Sólido entre secciones transversales 298
Figura 226. Prismoide en corte 299
Figura 227. Prismoide en relleno 299
Figura 228. Piramoide 300
Figura 229. Tronco de piramoide 300
Figura 230. Sección especial 301
Figura 231. Volumen en secciones: ejemplo 301
Figura 232. Área entre curvas de nivel 303
Figura 233. Perfil de la zona de proyecto 303
Figura 234. Zonas de corte y relleno 304
Figura 235. Formato pliego (medidas en milímetros) 308
Figura 236. Formato medio pliego (medidas en milímetros) 308
Figura 237. Formato A1 (medidas en milímetros) 309
Figura 238. Formato A2 (medidas en milímetros) 309
Figura 239. Grilla de coordenadas 311
Figura 240. Cuadrícula perfil longitudinal 311

Figura 241. Cuadrícula secciones transversales 312
Figura 242. Norte dibujada en la planta de un plano topográfico 312
Figura 243. Escalas gráficas 313
Figura 244. Convenciones topográficas 313
Figura 245. Convenciones topográficas 314
Figura 246. Segmentos del sistema GPS 316
Figura 247. GPS de alta precisión 318
Figura 248. GPS de Mano 319
Figura 249. Constelación GPS 320
Figura 250. Constelación GLONASS 321
Figura 251. Constelación GALILEO 322
Figura 252. Tiempos de Rastreo 327
Figura 253. Geoportal con tiempos de Rastreo 327
Figura 254. Creación de trabajo y definición de especificaciones 328
Figura 255. Definición de Datum 329
Figura 256. Definición de parámetros de cálculo 329
Figura 257. Cargar datos crudos 330
Figura 258. Acceso ftp Rinex IGAC 330
Figura 259. Cargar RINEX de las bases 331
Figura 260. Visualización de las bases y los puntos 331
Figura 261. Visualización tiempos de ocupación 332
Figura 262. Análisis de ruidos en satélites 332
Figura 263. Datos de soluciones semanales 333
Figura 264. Efemérides precisas 333
Figura 265. Proceso de cálculo 334
Figura 266. Coordenadas calculada 334
Figura 267. Coordenadas Elipsoidales 335
Figura 268. Cálculo de velocidades 335
Figura 269. Cálculo de Ondulación Geoidal 336
Figura 270. Cálculo de Altura Elipsoidal 337
Figura 271. Cálculo de cambio de época 337

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ángulos del polígono 25
Tabla 2. Ángulos corregidos 25
Tabla 3. Promedio de las distancias horizontales 26
Tabla 4. Cálculo del área por figuras geométricas 26
Tabla 5. Cálculo de ángulos 36
Tabla 6. Corrección de ángulos 37
Tabla 7. Valores de referencia del CTM-12 47
Tabla 8. Determinación del valor del Azimut 51
Tabla 9. Determinación de los azimuts y proyecciones de los detalles 59
Tabla 10. Ángulos internos de los triángulos y distancia desde D_2 a los detalles 68
Tabla 11. Azimuts proyecciones y coordenadas del levantamiento 69
Tabla 12. Ejercicio planteado de radiación simple 70
Tabla 13. Ejercicio planteado de radiación doble 71
Tabla 14. Coordenadas base 88
Tabla 15. Cálculo de azimut de la poligonal 88
Tabla 16. Cálculo de proyecciones de la poligonal 89
Tabla 17. Cálculo de coordenadas de la poligonal 89
Tabla 18. Cálculo de coordenadas de los detalles 90
Tabla 19. Coordenadas base 93

Tabla 20. Cálculo de azimut de la poligonal 93
Tabla 21. Cálculo de proyecciones de la poligonal 93
Tabla 22. Cálculo de coordenadas de la poligonal 94
Tabla 23. Cálculo de coordenadas de los detalles 95
Tabla 24. Ángulos observados 101
Tabla 25. Ajuste de ángulos 102
Tabla 26. Azimut inicial 102
Tabla 27. Cálculos de azimut de los lados de la poligonal 102
Tabla 28. Cálculos de proyecciones 103
Tabla 29. Correcciones de proyecciones acumuladas 103
Tabla 30. Cálculo de proyecciones para cada lado 104
Tabla 31. Ajuste de las proyecciones 104
Tabla 32. Cálculo de coordenadas 105
Tabla 33. Cálculo de proyecciones 105
Tabla 34. Correcciones de proyecciones 106
Tabla 35. Proyecciones corregidas 106
Tabla 36. Coordenadas corregidas 107
Tabla 37. Cálculo de azimuts 107
Tabla 38. Cálculo de proyecciones 107
Tabla 39. Cálculo de variables 108
Tabla 40. Suma algebraica de las tres variables 108
Tabla 41. Correcciones para cada lado 109
Tabla 42. Proyecciones corregidas 110
Tabla 43. Coordenadas corregidas 110
Tabla 44. Cálculo de azimuts 110
Tabla 45. Cálculo de proyecciones 111
Tabla 46. Cálculo de coordenadas 111
Tabla 47. Corrección de coordenadas 112
Tabla 48. Coordenadas corregidas 112
Tabla 49. Cálculos de azimut 113
Tabla 50. Cálculo de proyecciones 113
Tabla 51. Cálculo de coordenadas 113
Tabla 52. Cálculo de correcciones 114
Tabla 53. Cálculo de correcciones corregidas 114
Tabla 54. Cálculo de azimut 114
Tabla 55. Cálculo de proyecciones 115
Tabla 56. Cálculo de coordenadas 115
Tabla 57. Cálculo de senos y cosemos de los azimut de cada línea 115

Tabla 58. Matriz de cálculo 116
Tabla 59. Matriz A 116
Tabla 60. Recalculo de la poligonal 118
Tabla 61. Nuevo cálculo de la poligonal 118
Tabla 62. Cálculo de detalles 118
Tabla 63. Coordenadas de los puntos de amarre inicial 128
Tabla 64. Coordenadas de los puntos de amarre final 128
Tabla 65. Ángulos del polígono cerrado 129
Tabla 66. Ángulos corregidos 130
Tabla 67. Azimuts de la poligonal 130
Tabla 68. Proyecciones de la poligonal 131
Tabla 69. Proyecciones corregidas 132
Tabla 70. Coordenadas de la poligonal 132
Tabla 71. Azimut de los detalles 133
Tabla 72. Proyecciones de los detalles 133
Tabla 73. Cálculo de coordenadas de detalles 134
Tabla 74. Coordenadas de los puntos de amarre inicial 137
Tabla 75. Coordenadas de los puntos de amarre final 137
Tabla 76. Ángulos del polígono cerrado 137
Tabla 77. Azimuts corregidos 138
Tabla 78. Proyecciones de la poligonal 138
Tabla 79. Proyecciones corregidas 140
Tabla 80. Coordenadas de la poligonal 140
Tabla 81. Azimut de los detalles 141
Tabla 82. Proyecciones de los detalles 141
Tabla 83. Cálculo de coordenadas detalles 142
Tabla 84. Corrección de ángulos 147
Tabla 85. Cálculo de azimuts 147
Tabla 86. Cálculo de proyecciones 148
Tabla 87. Corrección de proyecciones 149
Tabla 88. Coordenadas de la poligonal 150
Tabla 89. Precisiones de cada lado 151
Tabla 90. Coordenadas de los detalles 151
Tabla 91. Deltas materializados en campo 157
Tabla 92. Coordenadas de los ejes de construcción 157
Tabla 93. Distancias y azimuts calculados 158
Tabla 94. Coordenadas punto de amarre 159
Tabla 95. Coordenadas del eje y los chaflanes del tramo 159

Tabla 96. Datos replanteo desde GPS-1 160
Tabla 97. Datos replanteo desde D2 161
Tabla 98. Control vertical 162
Tabla 99. Cálculo del área por figuras geométricas 165
Tabla 100. División en figuras geométricas 167
Tabla 101. División en figuras geométricas 170
Tabla 102. Coordenadas de los puntos 171
Tabla 103. Cálculos discriminados del primer método 172
Tabla 104. Cálculos discriminados del segundo método 173
Tabla 105. Cálculo del área por planímetro rodante 180
Tabla 106. Cálculo del área por malla de puntos 181
Tabla 107. Número de cuadros 184
Tabla 108. Tipos de nivelación 187
Tabla 109. Constante por clase de nivelación 191
Tabla 110. Errores permitidos por clase de nivelación 191
Tabla 111. Cálculos nivelación geométrica simple 197
Tabla 112. Nivelación de cambios del circuito de nivelación 200
Tabla 113. Cálculos de distancias 201
Tabla 114. Ajuste del circuito 201
Tabla 115. Cotas de los detalles 202
Tabla 116. Chequeo y ajuste del circuito 206
Tabla 117. Cálculo de las cotas de los detalles 206
Tabla 118. Datos de campo cálculo nivelación simple 215
Tabla 119. Cálculo de desniveles y cotas de los puntos 216
Tabla 120. Cálculo de coordenadas - Radiación simple 217
Tabla 121. Ajuste de la poligonal cerrada 223
Tabla 122. Cálculo de desniveles y cotas de los deltas 224
Tabla 123. Lecturas a los cambios 233
Tabla 124. Chequeo y ajuste de traslado de cotas 233
Tabla 125. Cálculo cotas del eje 233
Tabla 126. Cotas de eje longitudinal 239
Tabla 127. Cartera de cálculo de cotas de la sección transversal 239
Tabla 128. Equidistancia sugerida según la escala del plano 245
Tabla 129. Áreas para tipo de terreno 249
Tabla 130. Cálculo de coordenadas 257
Tabla 131. Cálculo de la nivelación 259
Tabla 132. Interpolación de las línea de visual – IV = 0.5 m 261
Tabla 133. Cálculo de la nivelación 265

Tabla 134. Interpolación de un cuadro de la cuadrícula 270
Tabla 135. Ajuste de la poligonal: cálculo de coordenadas 276
Tabla 136. Coordenadas de los detalles y nube de puntos 276
Tabla 137. Coordenadas y cotas – tablas 120 y 121 278
Tabla 138. Coordenadas y cotas – tablas 120 y 121 278
Tabla 139. Coordenadas y cotas – tablas 120 y 121 278
Tabla 140. Nivelación trigonométrica 278
Tabla 141. Nivelación de un terreno por cuadrícula 285
Tabla 142. Cotas del diseño 290
Tabla 143. Datos para el área por método de cartera de chaflanes 293
Tabla 144. Cálculo del área por método de cartera de chaflanes 294
Tabla 145. Datos para el área por método de cartera de chaflanes. Sección mixta 295
Tabla 146. Coordenadas de los puntos de la sección 297
Tabla 147. Cálculo del área por método de coordenadas 297
Tabla 148. Áreas de las secciones: ejemplo 302
Tabla 149. Cálculo del volumen: ejemplo 302
Tabla 150. Áreas entre las curvas de nivel 304
Tabla 151. Cálculo de las diferencias de altura: relleno 305
Tabla 152. Cálculo de las diferencias de altura: corte 305
Tabla 153. Cálculo volumen de relleno 305
Tabla 154. Cálculo volumen de corte 305
Tabla 155. Derivaciones de un pliego 308
Tabla 156. Formatos DIN 309
Tabla 157. Equivalencias de las escalas topográficas 310
Tabla 158. Características métodos de posicionamiento 326
Tabla 159. Coordenadas del punto 1 334

Sistema de Información en Línea



Al final del libro encontrará el código para ingresar al **Sistema de información en Línea** - SIL - donde podrá acceder a una cartilla de ejercicios prácticos de cada uno de los temas desarrollados en el texto.

CAPÍTULO 1

CONCEPTOS BÁSICOS

1.1 Topografía

Tradicionalmente, la topografía se ha definido como una ciencia aplicada, encargada de determinar la posición relativa de puntos sobre la Tierra y la representación en un plano de una porción de la superficie terrestre.

En un sentido más general, se puede definir como la disciplina que abarca todos los métodos para reunir información de partes físicas de la Tierra, tales como el relieve, los litorales, los cauces de corrientes hídricas, entre otros, usando para ello los métodos clásicos de medición en terreno, la fotogrametría y los sensores remotos.

Si se analiza la palabra *topografía*, desglosándola del griego *topo-topos* (lugar/región/sitio) y grafía-*graphe* (descripción), significaría el arte o la técnica que se encarga de la descripción detallada de la superficie de un terreno en una determinada región o lugar.

Una definición muy acertada es que es la ciencia por medio de la cual se establecen las posiciones de puntos situados sobre la superficie terrestre, encima y debajo de ella; para lo cual se realizan mediciones de distancias, ángulos y elevaciones.

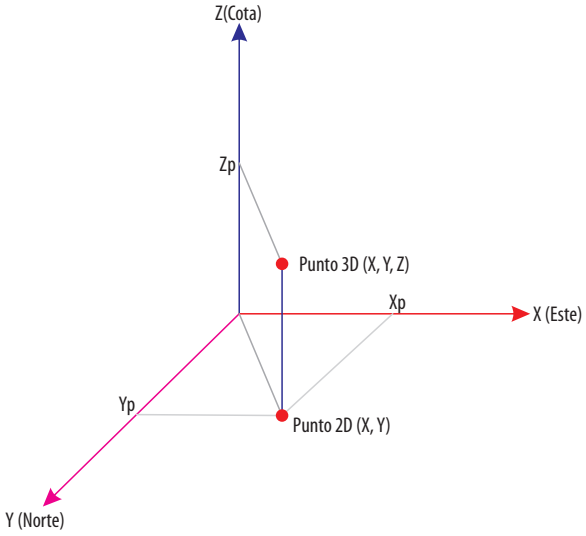
1.1.1 Representación de puntos en topografía

Un punto en el espacio puede representarse en 3D o en 2D, a través de los sistemas cartesianos tridimensionales y bidimensionales respectivamente.

En 3D o sistema cartesiano tridimensional:

- XP: Proyección Este de P.
- YP: Proyección Norte de P.
- ZP: Cota o altitud de P.

Figura 1. Representación de puntos



Fuente: elaboración propia.

1.2 Operaciones topográficas

En los métodos topográficos de medición en terreno no se considera la verdadera forma de la Tierra, solo se utilizan modelos aproximados a la realidad. Entre las prescindencias esta se considera plana, la dirección de la plomada entre dos puntos sería paralela y los trabajos se desarrollan en extensiones relativamente pequeñas. Las actividades topográficas se pueden clasificar en el levantamiento topográfico, el replanteo y el control.

1.2.1 Levantamiento topográfico

Conjunto de operaciones que tienen por objeto determinar la posición de puntos en el espacio y su representación en un plano, el conjunto de operaciones incluye:

- Selección del método de levantamiento.
- Elección del equipo a utilizar.
- Identificar y ubicar posibles vértices de apoyo.
- Realización de mediciones en terreno.
- Cálculo y procesamiento de datos.
- Elaboración de planos.

1.2.2 Replanteo

Una vez realizado el levantamiento y teniendo como resultado un plano topográfico, los ingenieros de diseño o planificadores realizan proyectos sobre ellos que hay que materializar en el terreno, por lo tanto, la operación de replanteo consiste en volver a terreno y ubicar cada uno de los elementos geométricos previamente definidos en el proyecto. Esta operación contempla un replanteo en tres dimensiones: Norte, Este y Cota.

1.2.3 Control

Conjunto de operaciones cuya finalidad es constatar o fiscalizar en el terreno la materialización de las obras de ingeniería.

1.3 Tipos de levantamientos

Dentro de los levantamientos topográficos se encuentran:

- **Levantamiento de terrenos en general:** tiene por objeto marcar linderos o localizarlos; medir y dividir superficies; ubicar terrenos en planos generales, ligando con levantamientos anteriores, o proyectar obras y construcciones.
- **Topografía para vías de comunicación:** sirve para estudiar y construir caminos, ferrocarriles, canales, líneas de transmisión, acueductos, etc.
- **Topografía de minas:** tiene por objeto fijar y controlar la posición de trabajos subterráneos y relacionarlos con las obras superficiales.
- **Levantamientos catastrales:** normalmente se trata de levantamientos urbanos o rurales, con el propósito de localizar los linderos de las propiedades (agrícolas, mineras, acuicultura, derechos de agua, etc.) y las construcciones que contienen, para conocer sus detalles, su extensión, su valor, los derechos de propiedad y transmisión para que el estado pueda recaudar los impuestos respectivos.
- **Levantamientos hidrográficos:** levantamientos relacionados con la definición de deslindes de playas de mar, ríos, lagos, embalses y otros cuerpos de agua, así como con la configuración e irregularidades de sus profundidades (batimetría), utilizando instrumental topográfico clásico en la determinación planimetría y sofisticados instrumentos electrónicos para determinar sus profundidades. Las finalidades pueden ir desde la delimitación de sus playas para uso público, pasando por la navegación, hasta el estudio de sedimentos y el dragado de sus fondos.
- **Levantamientos de ingeniería:** incluye los trabajos topográficos requeridos antes, durante y después del término o cierre de los proyectos de ingeniería. Un plano topográfico resultante de un levantamiento que entregue la configuración del terreno más la incipiente concepción mental de algún proyecto de ingeniería son las materias primas más elementales y suficientes para que un ingeniero comience a plasmar en el plano su proyecto. Posteriormente, necesitará materializar cada uno de sus elementos en el terreno (operación de replanteo) y alguna institución de fiscalización tendrá la facultad para verificar si lo materializado efectivamente corresponde a lo proyectado (control topográfico), de ahí la importancia que tiene la topografía para los estudiantes de ingeniería en el desarrollo u orientación de sus potencialidades ingenieriles.
- **Levantamientos aéreos:** se hacen por medio de la fotografía, generalmente desde aviones y/o drones, y se usan como auxiliares muy valiosos de todas las otras clases de levantamientos. La fotogrametría se dedica especialmente al estudio de estos trabajos.

1.4 Mediciones en topografía

La medición es la técnica mediante la cual asignamos un número a una propiedad física, como resultado de comparar dicha propiedad con otra similar tomada como patrón, la cual se adopta como unidad. La medida de una superficie da lugar a dos cantidades diferentes si se emplean distintas unidades de medida. Así surgió la necesidad de establecer una

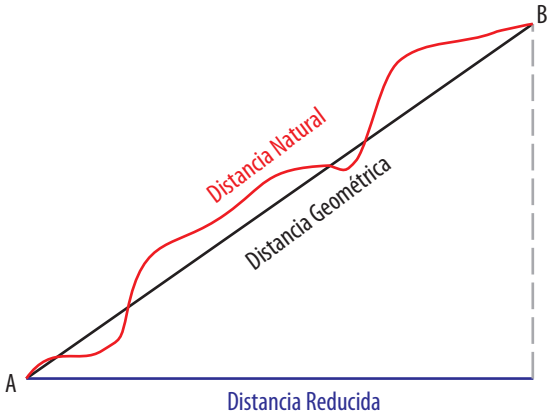
unidad de medida única para cada magnitud, de modo que la información fuese fácilmente comprendida por todos.

Los levantamientos topográficos se basan en la medición de distancias y ángulos. Las distancias pueden ser horizontales, que son las medidas principales en planimetría; verticales, que se utilizan para establecer las diferencias de nivel, e inclinadas, mediciones sobre la superficie terrestre.

En topografía, cuando se hacen mediciones lineales, es importante tener claridad en los siguientes conceptos:

- **Distancia Natural:** distancia entre dos puntos, siguiendo el relieve del terreno.
- **Distancia Geométrica:** longitud del segmento de recta que une los dos puntos, también se denomina distancia inclinada.
- **Distancia Reducida:** distancia medida sobre el plano horizontal, también denominada distancia horizontal.

Figura 2. Distancias en topografía



Fuente: elaboración propia.

Los ángulos que se miden en topografía son horizontales y verticales, siendo los primeros, los que permiten determinar la ubicación de los detalles en coordenadas X y Y, y los segundos se utilizan para determinar diferencias de cota o altura.

1.4.1 Unidades de medición angular

Los círculos horizontales y verticales en los equipos vienen generalmente graduados en los sistemas angulares sexagesimales o centesimales, sin embargo, algunos equipos para el uso militar pueden también venir graduados en el sistema de milésimas.

1.4.1.1 Sistema sexagesimal (MODE DEG)

1 Círculo horizontal o vertical graduado = 360° grados sexagesimales.

1° = 60′ (minutos sexagesimales).

1′ = 60″ (segundos sexagesimales).

Las cantidades expresadas en este sistema deben sumarse o restarse por separado, los grados, los minutos y segundos. Es importante que los usuarios de calculadoras aprendan a usarlas, seleccionando apropiadamente el sistema de medición de ángulos, en este caso, Mode DEG, así como también conocer el proceso de conversión de mediciones angulares,

expresadas en formato de fracciones de grados sexagesimales, a formatos de grados, minutos, segundos sexagesimales.

1.4.1.2 Sistema centesimal (MODE GRA)

- 1 Círculo horizontal o vertical = 400 g.
- 1 g = 100 c (minutos centesimales).
- 1 c = 100 cc (segundos centesimales).

Las operaciones aritméticas se efectúan exactamente igual que el común de las operaciones usadas en el sistema decimal.

1.4.1.3 Sistema en radianes (MODE RAD)

En este sistema de unidades angulares trabajan los computadores, luego, al usar algún lenguaje de programación debe conocerse la equivalencia entre los sistemas:

- 2 π radianes = 360° (Sistema sexagesimal).
- 2 π radianes = 400 g (Sistema centesimal).

1.4.1.4 Sistema en milésimas

En este sistema de graduación se han fabricado algunas brújulas geológicas e instrumentales de artillería.

- 1 Círculo horizontal = 6.400- (milésimas).
- 1/4 Círculo horizontal = 1.600- (milésimas).
- 1/64 Círculo horizontal = 100- (milésimas).

1.4.2 Unidades de medida de longitud

Una unidad de longitud es una cantidad estandarizada, por convención, de distancia. La longitud es una magnitud fundamental creada para medir la distancia entre dos puntos. Existen diversos sistemas de unidades para esta magnitud física; los más comúnmente usados son el Sistema Internacional de Unidades y el Sistema Anglosajón de Unidades.

1.4.2.1 Sistema Internacional de Unidades

En el Sistema Internacional de Unidades (SI), la unidad fundamental de longitud es el metro, definido como la distancia que recorre la luz en el vacío durante un intervalo de 1/299.792.458 de segundo. El símbolo del metro es «m».

Múltiplos y submúltiplos del metro

Utilizando los prefijos del Sistema Internacional, es posible definir unidades de longitud que son múltiplos o submúltiplos del metro. A continuación, se enlistan los múltiplos y submúltiplos del metro aceptados dentro del SI, junto con su símbolo y su equivalencia en metros, en notación científica y decimal.

- Múltiplos del metro:
  - » Yottametro (Ym): 1024 metros = 1 000 000 000 000 000 000 000 000 metros
  - » Zettametro (Zm): 1021 metros = 1 000 000 000 000 000 000 000 metros
  - » Exámetro (Em): 1018 metros = 1 000 000 000 000 000 000 metros
  - » Petámetro (Pm): 1015 metros = 1 000 000 000 000 000 metros
  - » Terámetro (Tm): 1012 metros = 1 000 000 000 000 metros

  - » Gigámetro (Gm): 109 metros = 1 000 000 000 metros
  - » Megámetro (Mm): 106 metros = 1 000 000 metros
  - » Kilómetro (km): 103 metros = 1 000 metros
  - » Hectómetro (hm): 102 metros = 100 metros
  - » Decámetro (dam): 101 metros = 10 metros
- Submúltiplos del metro:
  - » Decímetro (dm): 10-1 metros = 0,1 metros
  - » Centímetro (cm): 10-2 metros = 0,01 metros
  - » Milímetro (mm): 10-3 metros = 0,001 metros
  - » Micrómetro (μm): 10-6 metros = 0,000 001 metros
  - » Nanómetro (nm): 10-9 metros = 0,000 000 001 metros
  - » Picómetro (pm): 10-12 metros = 0,000 000 000 001 metros
  - » Femtómetro (fm): 10-15 metros = 0,000 000 000 000 001 metros
  - » Attómetro (am): 10-18 metros = 0,000 000 000 000 000 001 metros
  - » Zeptómetro (zm): 10-21 metros = 0,000 000 000 000 000 000 001 metros
  - » Yoctómetro (ym): 10-24 metros = 0,000 000 000 000 000 000 000 001 metros

1.4.2.2 Sistema anglosajón de unidades

El sistema para medir longitudes en los Estados Unidos se basa en la pulgada, el pie, la yarda y la milla. Cada una de estas unidades tiene dos definiciones ligeramente distintas, lo que ocasiona que existan dos diferentes sistemas de medición.

Una pulgada de medida internacional mide exactamente 25,4 mm (por definición), mientras que una pulgada de agrimensor de Estados Unidos se define para que 39,37 pulgadas sean exactamente un metro. Para la mayoría de las aplicaciones, la diferencia es insignificante (aproximadamente 3 mm por cada milla). La medida internacional se utiliza en la mayoría de las aplicaciones para topografía.

Las medidas de topografía emplean una definición más antigua, que se usó antes de que los Estados Unidos adoptaran la medida internacional:

- 1 mil = 25,4 μm (micrómetros)
- 1 pulgada (in) = 1 000 miles = 2,54 cm
- 1 pie (ft) = 12 in = 30,48 cm
- 1 yarda (yd) = 3 ft = 36 in = 91,44 cm
- 1 rod (rd) = 5,5 yd = 16,5 ft = 198 in = 5,0292 m
- 1 cadena (ch) = 4 rd = 22 yd = 66 ft = 792 in = 20,1168 m
- 1 furlong (fur) = 10 ch = 40 rd = 220 yd = 660 ft = 7.920 in = 201,168 m
- 1 milla (mi) = 8 fur = 80 ch = 320 rd = 1.760 yd = 5.280 ft = 63.360 in = 1.609,344 m = 1,609347 km (agricultura)
- 1 legua = 3 mi = 24 fur = 240 ch = 960 rd = 5.280 yd = 15.840 ft = 190.080 in = 4.828,032 m = 4,828032 km

A veces, con fines de topografía, se utilizan las unidades conocidas como las medidas de cadena de Gunther (o medidas de cadena del agrimensor). Estas unidades se definen a continuación:

- 1 link (li) = 7,92 in = 0,001 fur = 201, ena (unidad de longitud)

Para medir profundidades del mar, se utilizan los fathoms (braza):

- 1 braza = 6 ft = 2 yd = 72 in = 1,8288 m

1.4.3 Unidades de medida de superficie

Las unidades de superficie son medidas utilizadas para medir superficies con una determinada área, se utiliza el metro cuadrado (m^2) en el Sistema Internacional de Unidades. Igualmente, se puede utilizar el sistema anglosajón de unidades.

1.4.3.1 Sistema Internacional de Unidades

Unidad básica:

Metro cuadrado.

Múltiplos:

- Decámetro cuadrado o Área.
- Hectómetro cuadrado o Hectárea.
- Kilómetro cuadrado.

Submúltiplos:

- Decímetro cuadrado.
- Centímetro cuadrado.
- Milímetro cuadrado.

1.4.3.2 Sistema anglosajón de unidades

Las unidades de superficie en EE. UU. se basan en la yarda cuadrada (sq, yd o yd^2).

- 1 pulgada cuadrada (sq in o in^2) = 6,4516 cm^2
- 1 pie cuadrado (sq ft o ft^2) = 144 in^2 = 929,0304 cm^2
- 1 yarda cuadrada (sq yd o yd^2) = 9 ft^2 = 1.296 in^2 = 0,83612736 m^2
- 1 rod cuadrado (sq rd o ‘’rd^2)
- 1 rood = 40 rd^2 = 1.210 yd^2 = 10.890 ft^2 = 1.568.160 in^2 = 1.011,7141056 m^2
- 1 acre (ac) = 4 roods = 160 rd^2 = 4.840 yd^2 = 43.560 ft^2 = 6.272.640 in^2 = 4.046,8564224 m^2
- 1 homestead = 160 ac = 640 roods = 25.600 rd^2 = 774.400 yd^2 = 6.969.600 ft^2 = 1.003.622.400 in^2 = 647.497,027584 m^2
- 1 milla cuadrada (sq mi o mi^2) = 4 homesteads = 640 ac = 2.560 roods = 102.400 rd^2 = 3.097.600 yd^2 = 27.878.400 ft^2 = 4.014.489.600 in^2 = 2,589988110336 km^2
- 1 legua cuadrada = 9 mi^2 = 36 homesteads = 5.760 ac = 23.040 roods = 921.600 rd^2 = 27.878.400 yd^2 = 250.905.600 ft^2 = 36.130.406.400 in^2 = 23,309892993024 km^2

1.4.4 Unidades de medida de volumen

Existen multitud de unidades de volumen que se utilizan, dependiendo del contexto o de la finalidad de la medición. En los ámbitos académicos o técnicos se suelen emplear el metro y sus derivados. Para expresar el volumen de sustancias líquidas o gaseosas, e, incluso, para mercancías a granel, se suele recurrir a la capacidad del recipiente que lo contiene, medida en litros y sus derivados. En ocasiones, cuando la densidad del material es constante y conocida, se pueden expresar las cantidades por su equivalente en peso en lugar de volumen.

1.4.4.1 Sistema Internacional de Unidades

En el Sistema Internacional de Unidades, la unidad de volumen es el metro cúbico (m^3). Algunos de los múltiplos y submúltiplos usuales del metro cúbico son los siguientes:

Múltiplos:

- Kilómetro cúbico = 10^9 m^3.
- Hectómetro cúbico = 10^6 m^3.
- Decámetro cúbico = 10^3 m^3·

Submúltiplos:

- Decímetro cúbico = 10^{-3} m^3·
- Centímetro cúbico = 10^{-6} m^3·
- Milímetro cúbico = 10^{-9} m^3·

La unidad más utilizada para medir el volumen de líquidos o recipientes es el litro, que está admitido en el SI, aunque estrictamente no forma parte de él.

1.4.4.2 Sistema anglosajón de unidades

Las unidades de volumen en el sistema anglosajón de unidades se derivan de las respectivas unidades de longitud, como la pulgada cúbica, el pie cúbico, la yarda cúbica, el acre-pie o la milla cúbica. Para medir el volumen de líquidos, las unidades de capacidad más extendidas son el barril, el galón y la pinta, y, en menor medida, la onza líquida, el cuarto, el gill, el mínimo o el escrúpulo líquido.

1.5 Redondeo de números

Consiste en suprimir, de una respuesta numérica, uno o más dígitos para que tenga solamente los que sean significativos o necesarios en los cálculos subsecuentes.

Existen tres normas básicas para el redondeo de números:

1. Cuando el número por eliminar sea menor que 5, se escribe el número sin este dígito: 65,89436 redondeado a tres decimales será 65,894. Este procedimiento se conoce como truncar número.
2. Cuando el número a eliminar es igual a 5, se redondea al número par siguiente, ejemplo, 54,6675 será 54,668; así 54,6685.
3. Cuando el digito es mayor que 5, se redondea al siguiente número. Así, 29,5789 será 29,579. Esto se conoce como aproximar número.

Como una medida práctica, cuando se haga una secuencia de operaciones aritméticas, se recomienda no redondear números en los cálculos intermedios, sólo al momento de entregar la respuesta, debido a que en el redondeo se pueden llegar a perder décimas significativas.

1.6 Exactitud y precisión

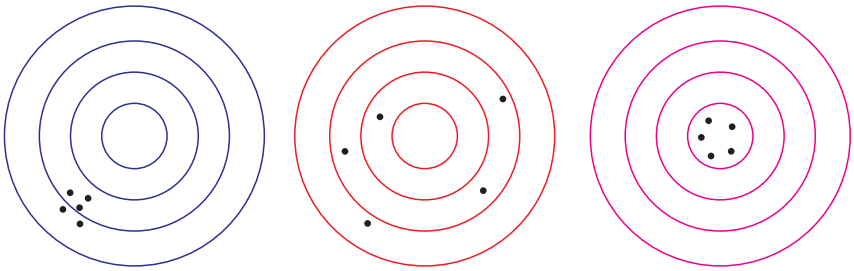
Exactitud es el grado de proximidad que se tiene en una medición al verdadero valor de su magnitud. En términos estadísticos, la exactitud está relacionada con el sesgo de una estimación: cuanto menor es el sesgo más exacta es una estimación.

Precisión es lo contrario a dispersión de las observaciones. Explica qué tanto difiere una serie de mediciones de otra que se toman bajo las mismas condiciones.

En una serie de mediciones de una misma magnitud, si los valores obtenidos son muy cercanos, se puede concluir que la precisión de la medición es alta. En topografía se puede hablar de precisión más no de exactitud, ya que por las leyes de la probabilidad nunca se conoce el verdadero valor de una medida.

En la Figura 3 se presentan algunos ejemplos de estos dos términos, en (a) los resultados son precisos pero no exactos, en (b) los resultados no son precisos ni exactos y en (c) los resultados son tanto precisos como exactos.

Figura 3. Precisión



Fuente: elaboración propia.

1.7 Equipos utilizados en Topografía

1.7.1 Estación total

Se denomina estación total a un equipo electro-óptico, cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica. Consiste en la incorporación de un distanciómetro y un microprocesador a un teodolito electrónico.