

ASOCIACIÓN DE INGENIERÍA Y DISEÑO ASISTIDO

FUNDAMENTOS DE TOPOGRAFÍA



Miguel
Belda

Manuel
Domínguez

AIDA – I⁴

PUBLICACIONES

Título original:
Fundamentos de topografía

Autores:
© Miguel Belda y Manuel Domínguez

Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta obra
sin la autorización expresa de los autores

© Asociación de Ingeniería y Diseño Asistido
Apartado de correos 36.180. 28080 Madrid
publicaciones@sedeAIDA.org
<http://www.sedeAIDA.org>

Depósito legal: M-42905-2007
ISBN: 978-84-611-4394-8

1ª edición, 2ª impresión: septiembre de 2007
Impreso en España

PRÓLOGO

La obra que se presenta trata de abordar, desde un punto de vista actual y con fines eminentemente didácticos, una materia tan antigua como es la topografía. El planteamiento básico trata de ligar esta materia, *la topografía*, a la situación actual en la que el técnico se apoya en todo momento en una amplia serie de herramientas modernas, basadas en sistemas informáticos, agrupadas en el abanico de lo que denominamos sistemas de información y representación geográfica.

Elaborar un material didáctico es una tarea compleja es sí misma. Si, además, este material ha de servir de base de estudio de una materia basada en la metodología a distancia, de forma que el lector pueda seguirlo de una forma amena y a su vez formativa, no cabe duda que el problema adquiere mayores dimensiones. En la formación a distancia, la formación del presente con mayores perspectivas de futuro, la elaboración de material didáctico es a la vez una obligación y un reto.

El planteamiento general de la obra es abordar en primer lugar los conceptos fundamentales de la topografía, entrando en los instrumentos topográficos y siguiendo con los métodos topográficos, para presentar a continuación una serie de datos relativos a la utilización práctica de todo lo anterior. La última sección de la obra aborda lo que anteriormente hemos denominado como el abanico de posibilidades de los sistemas de información y representación geográfica, que no se ciñen a un sistema de bases de datos tradicionales, sino que integran los contenidos de esa base de datos en un sistema gráfico susceptible de, por ejemplo, ser publicado en Internet, y con ello ser accesible de forma rápida al gran público.

La obra está apoyada firmemente en la representación gráfica, recogida en el gran número de figuras y dibujos incluidos, se complementa con imágenes, que pueden sustituir la posibilidad de manejar aparatos y componentes reales, y todo ello se aúna con un compendio de tablas, muy útiles en la resolución de problemas en entornos docentes, siendo una primera aproximación a los problemas reales a los que en su momento deberá enfrentarse el técnico en el ejercicio de su profesión.

Por último, es importante recordar que todo técnico debe ir, poco a poco, configurando su propia y personal biblioteca de trabajo. Debe seleccionar libros que le pueden servir para el estudio de las materias en las fases de formación, pero también debe seleccionar libros que le puedan ser de utilidad en su futuro profesional, más cercano de lo que parece, y que le permitirán desenvolverse con soltura en ese ejercicio profesional. En esta línea, en el epígrafe de bibliografía se referencia otra serie de materiales que consideramos de interés, pero la decisión y la responsabilidad final es del técnico y desde aquí sólo nos queda recomendar una detenida lectura en bibliotecas, o incluso en la propia librería técnica, antes de adquirir una obra que deberá resolver nuestras dudas técnicas durante bastante tiempo.

CONTENIDO

PRÓLOGO.....	7
SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS.....	9
SECCIÓN I. INTRODUCCIÓN.....	23
CAPÍTULO I. CONCEPTOS FUNDAMENTALES.....	25
1. INTRODUCCIÓN.....	27
2. TOPOGRAFÍA.....	28
3. GEODESIA.....	29
3.1 Dimensiones de la Tierra.....	29
3.2 Representaciones de la Tierra.....	31
3.3 Coordenadas geográficas.....	32
4. CARTOGRAFÍA: MAPAS, PLANOS Y CARTAS.....	36
4.1 Escalas.....	37
4.1.1 Límite de percepción visual.....	38
4.2 Topografía y construcción.....	39
5. UNIDADES DE MEDIDA.....	40
5.1 Unidades lineales y superficiales.....	41
5.2 Magnitudes angulares.....	41
CAPÍTULO II. SISTEMAS DE REPRESENTACIÓN.....	43
1. INTRODUCCIÓN.....	45
2. SISTEMA DE PLANOS ACOTADOS.....	49
2.1 Sistema de planos acotados aplicado a la representación del relieve.....	50
2.2 Formas características del relieve.....	51
2.2.1 Cuestas y laderas.....	52
2.2.2 Divisorias: salientes y entrantes.....	53
2.2.3 Elevaciones y depresiones.....	54
2.3 Utilización de las curvas de nivel.....	56
3. PROYECCIONES CARTOGRÁFICAS.....	58
3.1 Proyecciones acimutales.....	59
3.1.1 Proyección ortogonal.....	59
3.1.2 Proyecciones estereográficas.....	60
3.1.3 Proyecciones gnomónicas.....	61
3.2 Proyecciones sobre superficie cónica.....	61
3.3 Proyecciones sobre superficie cilíndrica.....	62

3.3.1 Proyección UTM.....	63
CAPÍTULO III. ÁNGULOS Y COORDENADAS EMPLEADOS EN TOPOGRAFÍA.....	67
1. CLASIFICACIÓN DE LOS ÁNGULOS	69
1.1 <i>Ángulos en el plano horizontal</i>	69
1.2 <i>Ángulos en el plano vertical</i>	70
2. COORDENADAS.....	71
2.1 <i>Coordenadas polares</i>	71
2.2 <i>Coordenadas cartesianas</i>	71
2.3 <i>Conversión de coordenadas polares en cartesianas y de cartesianas en polares</i>	72
3. DETERMINACIÓN DEL ACIMUT DE UNA DIRECCIÓN	73
3.1 <i>Distancia entre dos puntos a partir de sus coordenadas</i>	74
3.2 <i>Acimut de la dirección formada por dos puntos a partir de sus coordenadas</i>	74
3.3 <i>Relación entre el acimut de una dirección y su contraria</i>	75
3.4 <i>Transporte de coordenadas. Corrida de acimut</i>	76
CAPÍTULO IV. TEORÍA DE ERRORES APLICADA A LA TOPOGRAFÍA.....	81
1. ERROR EN LA MEDICIÓN TOPOGRÁFICA. CONCEPTO	83
1.1 <i>Causas de errores</i>	83
1.2 <i>Tipos de errores</i>	83
1.3 <i>Valor más probable de una medida</i>	84
1.4 <i>Estimación del intervalo en el que se encuentra una medida</i>	85
1.4.1 <i>Error medio cuadrático de una muestra de observaciones</i>	86
1.4.2 <i>Error probable</i>	86
1.4.3 <i>Error máximo admitido (tolerancia)</i>	86
1.4.4 <i>Error cuadrático e intervalo de confianza</i>	87
2. MÉTODOS DE CORRECCIÓN DE ERRORES	88
2.1 <i>Regla de Bessel</i>	89
3. ERRORES ACCIDENTALES EN LA MEDIDA DE ÁNGULOS	90
3.1 <i>Error de verticalidad</i>	90
3.2 <i>Error de dirección</i>	90
3.3 <i>Error de puntería</i>	91
3.4 <i>Error de lectura</i>	92
3.5 <i>Error total</i>	92
3.5.1 <i>Ejemplo de aplicación para el cálculo de errores</i>	93
3.6 <i>Error angular</i>	93
4. ERRORES ACCIDENTALES EN LA MEDIDA DE DISTANCIAS	93
4.1 <i>Error en la lectura de los hilos</i>	94
4.2 <i>Error debido a la inclinación de la mira</i>	94
4.3 <i>Error total longitudinal</i>	94
5. ERRORES DERIVADOS DE LA ESFERICIDAD TERRESTRE Y DE LA REFRACCIÓN.....	95
5.1 <i>Error de esfericidad</i>	95

5.2 Error por refracción.....	96
SECCIÓN II. INSTRUMENTOS TOPOGRÁFICOS	97
CAPÍTULO V. INSTRUMENTOS TOPOGRÁFICOS AUXILIARES	99
1. INTRODUCCIÓN.....	101
2. ELEMENTOS DE SEÑALIZACIÓN.....	104
3. ELEMENTOS DE SUSTENTACIÓN Y ESTACIONAMIENTO	105
3.1 Trípodes	105
3.2 Plomadas.....	107
4. ELEMENTOS DE HORIZONTALIZACIÓN.....	108
4.1 Nivel esférico.....	108
4.2 Nivel tubular.....	109
4.3 Tornillos nivelantes	109
5. ELEMENTOS DE PUNTERÍA Y COLIMACIÓN.....	111
5.1 Anteojo	111
5.2 Tornillos de presión y de coincidencia.....	113
6. ELEMENTOS DE MEDICIÓN ANGULAR	114
6.1 Limbo.....	114
6.2 Nonio.....	115
6.3 Micrómetro y microscopio.....	116
6.3.1 Microscopio de trazo.....	116
6.3.2 Micrómetro de escala.....	117
6.3.3 Prismas separadores.....	117
7. ELEMENTOS DE MEDICIÓN DE DISTANCIAS	119
7.1 Miras o estadías	119
8. MEDIDA INDIRECTA DE DISTANCIAS. PRINCIPIO DE ESTADIMETRÍA	119
CAPÍTULO VI. INSTRUMENTOS ÓPTICO-MECÁNICOS	123
1. INTRODUCCIÓN.....	125
2. TEODOLITOS Y TAQUÍMETROS.....	125
2.1 Componentes de un teodolito	126
2.2 Puesta en estación de un teodolito	128
2.3 Orientación del teodolito	131
2.4 Medida de ángulos horizontales o acimutales.....	131
2.5 Medida de ángulos verticales o cenitales.....	132
2.6 El taquímetro	132
3. NIVELES	133
3.1 Componentes de un nivel.....	134
3.2 Puesta en estación de un nivel.....	134
3.3 Medida de desniveles	135
3.4 Clasificación de los niveles	136
CAPÍTULO VII. INSTRUMENTOS ELECTRÓNICOS.....	137
1. INTRODUCCIÓN.....	139
2. FUNDAMENTO DE LA MEDIDA ELECTRÓNICA DE DISTANCIAS	139

3. CLASIFICACIÓN DE LOS DISTANCIÓMETROS	142
4. DEVOLUCIÓN DE LA SEÑAL. REFLECTORES	143
5. FUNDAMENTOS DE LA MEDIDA ELECTRÓNICA DE ÁNGULOS	145
5.1 Clasificación de los limbos codificadores	146
6. TEODOLITOS Y TAQUÍMETROS ELECTRÓNICOS.....	147
7. ESTACIONES TOTALES	148
7.1 Características técnicas.....	149
7.1.1 Medida de distancias	149
7.1.2 Medida de ángulos	150
7.1.3 Anteojo	150
7.1.4 Sistemas de centrado y nivelación.....	150
7.1.5 Alimentación eléctrica.....	151
7.1.6 Dimensiones y pesos.....	151
7.2 Forma de medir con una estación total.....	151
7.2.1 Almacenamiento de datos en la memoria interna	151
7.2.2 Almacenamiento en una libreta electrónica.....	152
8. OTROS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN TOPOGRÁFICA.....	152
8.1 Taquímetros robotizados	153
8.2 Instrumentos de medida sin necesidad de prisma	153
8.3 Niveles digitales.....	154
SECCIÓN III. MÉTODOS TOPOGRÁFICOS	157
CAPÍTULO VIII. MÉTODOS PLANIMÉTRICOS	159
1. INTRODUCCIÓN.....	161
1.1 Redes geodésicas y topográficas	162
2. MÉTODO DE RADIACIÓN	164
2.1 Procedimiento de trabajo.....	166
2.1.1 Trabajos de campo	167
2.1.2 Trabajos de gabinete.....	169
2.1.3 Realización del plano.....	170
2.1.4 Caso práctico.....	171
2.2 Errores y tolerancias en la radiación.....	173
2.2.1 Error transversal o angular	175
2.2.2 Error longitudinal	175
2.2.3 Tolerancia.....	176
2.2.4 Limitación de los radios	176
2.2.5 Caso práctico.....	176
3. MÉTODO DE ITINERARIOS	178
3.1 Clasificación de los itinerarios.....	179
3.2 Procedimiento de trabajo.....	181
3.2.1 Trabajo de campo.....	181
3.2.2 Trabajos de gabinete.....	183
3.2.3 Realización del plano.....	186
3.2.4 Caso práctico.....	186
3.3 Errores y tolerancia en los itinerarios.....	189
3.3.1 Error angular	189
3.3.2 Error lineal	191
3.3.3 Tolerancia.....	191
3.3.4 Ejemplo del cálculo de errores.....	191
3.3.5 Error angular de cierre acimutal de un itinerario. Compensación	192

3.3.6 Error de cierre de coordenadas. Compensación	193
4. MÉTODO DE INTERSECCIÓN.....	196
4.1 Procedimiento de intersección directa.....	196
4.1.1 Caso práctico.....	198
4.1.2 Errores y tolerancia.....	200
4.2 Otros procedimientos de intersección	202
4.2.1 Intersección directa múltiple.....	202
4.2.2 Intersección inversa	203
4.2.3 Resolución analítica de la trisección inversa. Método de Pothenet..	203
4.2.4 Intersección inversa múltiple	204
5. MÉTODO DE TRIANGULACIÓN	205
5.1 Procedimiento de trabajo	206
5.1.1 Trabajos de campo	206
5.1.2 Trabajos de gabinete	207
5.2 Errores en triangulación.....	207
5.3 Procedimiento de trilateración.....	208
5.3.1 Cálculo de una trilateración.....	208
CAPÍTULO IX. MÉTODOS ALTIMÉTRICOS.....	209
1. INTRODUCCIÓN	211
1.1 Redes de nivelación.....	212
2. NIVELACIÓN GEOMÉTRICA	214
2.1 Método del punto medio	215
2.2 Método del punto extremo	216
2.3 Método de estaciones recíprocas	217
2.4 Método de las estaciones equidistantes.....	217
2.5 Nivelación compuesta. Itinerarios altimétricos.....	218
2.5.1 Errores y tolerancia.....	219
2.5.2 Compensación de un itinerario.....	220
2.5.3 Caso práctico.....	220
3. NIVELACIÓN TRIGONOMÉTRICA	223
CAPÍTULO X. TAQUIMETRÍA.....	227
1. INTRODUCCIÓN	229
2. FÓRMULAS TAQUIMÉTRICAS	230
3. TRABAJOS DE CAMPO	231
4. ENLACE ENTRE ESTACIONES	232
4.1 Enlace directo o de Moinot.....	233
4.1.1 Caso práctico.....	234
4.2 Enlace indirecto o de Porro.....	237
4.2.1 Caso práctico.....	239
4.3 Enlace mixto o de Villani.....	241
SECCIÓN IV. APLICACIONES.....	245
CAPÍTULO XI. MEDIDA DE SUPERFICIES Y SEGREGACIONES.....	247
1. DIVISIÓN DE TERRENOS. SEGREGACIÓN.....	249
1.1 División de una parcela poligonal en partes equivalentes entre sí a partir de un punto.....	249

1.2 División de una finca en parcelas equivalentes por medio de rectas paralelas a una dirección dada	251
1.3 Transformación de deslindes.....	253
2. MEDIDA DE SUPERFICIES	254
2.1 Métodos analíticos.....	255
2.1.1 Fórmula de Herón.....	255
2.1.2 Análisis cuando se conocen dos lados y el ángulo comprendido	256
2.1.3 Análisis cuando se conocen las coordenadas de los vértices	256
2.1.4 Otros métodos	257
2.2 Métodos gráficos	259
2.3 Métodos informáticos.....	259
CAPÍTULO XII. PERFILES LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES.	
MOVIMIENTO DE TIERRAS.....	261
1. PERFILES LONGITUDINALES	263
1.1 Perfil longitudinal. Concepto	263
1.2 Perfiles transversales	264
1.3 Trabajos de campo en el levantamiento de perfiles	265
1.4 Trabajos de gabinete.....	266
2. MOVIMIENTO DE TIERRAS	266
2.1 Análisis cuando ambos puntos del perfil están en terraplén o en desmonte.....	267
2.2 Análisis cuando un perfil está en desmonte y el otro en terraplén.....	267
2.3 Análisis cuando un perfil está en desmonte o terraplén y el otro a media ladera	268
2.4 Análisis cuando los dos perfiles están en ladera.....	268
CAPÍTULO XIII. REPLANTEO.....	271
1. REPLANTEO TOPOGRÁFICO. CONCEPTO	273
2. REPLANTEO DE PUNTOS	273
2.1 Replanteo de un punto por coordenadas rectangulares.....	273
2.2 Replanteo de un punto por coordenadas polares.....	274
2.3 Replanteo de un punto por intersección de ángulos	275
2.4 Replanteo de un punto por intersección de distancias	275
3. REPLANTEO DE UNA ALINEACIÓN RECTA	275
3.1 Replanteo de una alineación recta entre dos puntos visibles entre sí	276
3.2 Replanteo de una recta paralela a otra dada	277
4. REPLANTEO DE CURVAS	277
4.1 Conceptos previos sobre el replanteo de curvas circulares.....	278
4.2 Métodos de replanteo de curvas circulares.....	279
4.2.1 Replanteo por coordenadas cartesianas sobre la tangente.....	280
4.2.2 Replanteo por intersección angular.....	281
5. REPLANTEO DE OBRAS.....	285
5.1 Accesorios e instrumentos utilizados en el replanteo de obras	285
5.1.1 Estacas y clavos.....	285
5.1.2 Camillas de replanteo	286
5.1.3 Instrumentos de medida de distancias y de ángulos.....	287

5.2 Replanteo de un edificio	287
5.2.1 Determinación de puntos básicos	288
5.2.2 Colocación de las camillas de replanteo	289
5.3 Replanteo de obra civil	289
5.3.1 Replanteo de una zanja	290
CAPÍTULO XIV. OTRAS APLICACIONES: INGENIERÍA CIVIL, TOPOGRAFÍA SUBTERRÁNEA Y CARTOGRAFÍA	293
1. PROYECTOS DE INGENIERÍA CIVIL	295
1.1 Documentos contenidos en un proyecto	295
2. TOPOGRAFÍA SUBTERRÁNEA	297
2.1 Referencias y apoyo de superficie	297
2.2 Traslado de coordenadas y acimutes al interior de un pozo	298
2.3 Topografía subterránea	300
2.3.1 Alineamientos verticales	301
2.3.2 Alineamiento de túneles	302
3. CARTOGRAFÍA	302
3.1 La cartografía catastral y la topografía	303
SECCIÓN V. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	309
CAPÍTULO XV. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. FUNDAMENTOS	311
1. INTRODUCCIÓN	313
1.1 Definiciones	315
2. ANTECEDENTES	316
3. FUNCIONALIDADES	318
3.1 Funciones de entrada de datos	320
3.2 Funciones de gestión y manipulación de la información espacial	320
3.3 Funciones de análisis	321
3.4 Funciones de salida y representación gráfica de la información	322
4. TIPOS DE SIG	322
4.1 Modelo de datos ráster	322
4.2 Modelo vectorial de datos	323
4.3 Modelo orientado a capas	325
4.4 Modelo orientado a objetos	325
4.5 Modelo digital del terreno	325
4.6 Comparación del modelo ráster y el modelo vectorial	327
4.6.1 Ventajas e inconvenientes del modelo vectorial	328
4.6.2 Ventajas e inconvenientes del modelo ráster	328
5. BASES DE DATOS	329
5.1 Bases de datos relacionales	329
5.2 Bases de datos de información ráster	331
6. INTRODUCCIÓN DE DATOS	332
6.1 Introducción de datos analógicos	333
6.2 Introducción de datos digitales	333
6.3 Fotogrametría y teledetección	334

6.4 Sistema de geoposicionamiento por satélite (GPS)	335
7. FUNCIONES DE ANÁLISIS ESPACIAL.....	336
7.1 Topología y relaciones espaciales	336
7.2 Técnicas relativas a la función de análisis espacial	339
7.2.1 Recuperación o búsqueda temática y espacial	339
7.2.2 Superposición de capas.....	339
7.2.3 Medición de distancias entre objetos	340
7.2.4 Áreas de influencia	341
7.2.5 Análisis de redes	341
7.2.6 Análisis de caminos mínimos.....	341
7.2.7 Análisis de las áreas de influencia de los centros de servicio.....	342
8. APLICACIONES	342
8.1 El medio ambiente y los recursos naturales.....	342
8.2 Catastro.....	343
8.3 Gestión de redes de infraestructuras básicas	344
8.4 Sector inmobiliario.....	344
8.5 Estudios de mercado.....	345
CAPÍTULO XVI. LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	
EN EL MERCADO	347
1. INTRODUCCIÓN.....	349
2. ALTERNATIVAS DEL MERCADO	349
3. SOLUCIONES COMERCIALES.....	352
3.1 Autodesk Map	352
3.1.1 Descripción del producto	352
3.1.2 Especificaciones.....	353
3.1.3 Características del producto	354
3.2 ArcGIS.....	355
3.2.1 Servidores y dispositivos móviles	357
3.2.2 ArcGIS Engine.....	357
3.3 ERDAS.....	359
3.3.1 IMAGINE Professional.....	360
3.4 FRAMME.....	361
3.5 MGE.....	361
3.6 GeoMedia.....	361
3.6.1 GeoMedia Professional	363
3.6.2 GeoMedia WebMap.....	364
3.6.3 GeoMedia WebMap Professional	364
3.6.4 GeoMedia WebMap Publisher	365
3.7 MapInfo	365
3.8 SiCAD	366
3.9 ILWIS	367
3.10 Tactician.....	368
3.11 GenaMap.....	368
3.12 VisualMap.....	368
4. SOLUCIONES DE DOMINIO PÚBLICO	369
4.1 gvSIG	369
4.2 GRASS.....	370
4.3 SAGA	370

4.4	SEXTANTE.....	371
4.5	Kosmo	371
4.6	GeoLivre Linux.....	372
4.7	GMT, Generic Mapping Tools.....	372
4.8	Herramientas de MDT.....	373
4.8.1	LandSerf	373
4.8.2	TopoCal.....	373
4.8.3	SRTMFill.....	374
4.9	Herramientas de teledetección.....	374
4.9.1	HyperCube	374
4.9.2	Ossim	374
4.9.3	MultiSpec.....	374
5.	SOLUCIONES DE PROPÓSITO EDUCACIONAL	375
5.1	IDRISI.....	375
5.1.1	IDRISI Kilimanjaro.....	376
5.1.2	Centro de recursos IDRISI en España	376
6.	CONCLUSIONES	377
	ANEXOS.....	379
1.	GLOSARIO	381
2.	ÍNDICE DE TABLAS	397
3.	ÍNDICE ANALÍTICO	399
4.	PÁGINAS EN INTERNET	405
5.	BIBLIOGRAFÍA.....	408