

## ÍNDICE

### **TEMA 1.- INTRODUCCIÓN A LA GEODESIA**

1.- Definición de Geodesia .....	015
2.- Ramas de la Geodesia .....	017
3.- Reseña histórica de la Geodesia .....	018
3.1.- Primeras medidas .....	018
3.2.- Representaciones cartográficas y geodesia .....	020
3.3.- La controversia Cassini-Newton .....	020
3.4.- Los dos últimos siglos .....	022
Notas, Ejercicios y Bibliografía .....	024

### **TEMA 2.- GEOMETRÍA DEL ELIPSOIDE DE REVOLUCIÓN**

1.- Introducción .....	025
2.- Definición de elipse. Su ecuación .....	025
3.- Elipsoide de revolución .....	027
4.- Elipsoides de referencia .....	028
5.- Determinación de un punto sobre el elipsoide .....	030
6.- La Gran Normal o Normal principal .....	032
7.- Secciones sobre el elipsoide de revolución. Curvaturas .....	033
8.- Radio de curvatura de la elipse meridiana .....	034
9.- Radio de curvatura del vertical primario: Gran Normal .....	035
10.- Radio de curvatura de una sección normal en un acimut cualquiera .....	036
11.- Radio de curvatura medio .....	041
12.- Secciones normales recíprocas. La línea geodésica .....	042
13.- Longitud del arco de paralelo .....	044
14.- Longitud de un arco de meridiano .....	044
15.- Acimut Geodésico y Convergencia de Meridianos .....	048
16.- Ecuación de la Línea Geodésica. Fórmula de Clairaut .....	049
Notas y Bibliografía .....	052
Ejercicios .....	054

### **TEMA 3.- POTENCIAL DE LA GRAVEDAD. GEOIDE**

1.- Introducción .....	055
2.- Función vectorial y campo vectorial .....	055
3.- Función escalar y campo escalar .....	056
4.- Gradiente de un campo escalar .....	056
5.- Rotacional de un campo vectorial .....	057
6.- Campo escalar potencial .....	057
7.- Atracción gravitatoria de Newton. Potencial gravitatorio .....	058
8.- Fuerza centrífuga. Potencial centrífugo .....	058
9.- Gravedad. Potencial de la Gravedad .....	059
Unidades de gravedad .....	060
10.- Potencial y Gravedad normal .....	061
11.- El Geoide .....	062
12.- Ondulación del geoide .....	066
Proyección de Pizzetti .....	066
Proyección de Helmert .....	066

13.- Figura de la Tierra .....	067
13.1.- Método de los arcos .....	067
13.2.- Método de las áreas .....	068
13.3.- Método gravimétrico .....	068
Notas y Bibliografía .....	069
Ejercicios .....	070

**TEMA 4.- SISTEMAS DE COORDENADAS EN GEODESIA**

1.- Introducción .....	071
2.- Sistemas de coordenadas astronómicas o naturales .....	072
2.1.- Sistema geocéntrico astronómico .....	072
2.2.- Sistema topocéntrico astronómico .....	073
3.- Sistema de coordenadas geodésicas .....	074
3.1.- Sistema geocéntrico geodésico .....	074
3.2.- Sistema topocéntrico geodésico .....	075
4.- Sistema Cartesiano Geocéntrico .....	075
5.- Sistemas de referencia General Geodésico y Local Cartesiano .....	078
6.- Triedro Local de las Direcciones Principales .....	078
7.- Desviación de la vertical .....	082
8.- Ecuación de Laplace. Puntos Laplace .....	085
Notas y Bibliografía .....	089
Ejercicios .....	090

**TEMA 5.- PROBLEMAS GEODÉSICOS PRINCIPALES**

1.- Introducción .....	091
2.- Exceso esférico .....	092
3.- Teorema de Legendre .....	092
4.- Teorema de Gauss .....	093
5.- Esfera de Jacobi .....	093
6.- Desarrollos de Weingarten-Puiseux .....	095
7.- Problemas geodésicos principales .....	097
7.1.- Problema Directo .....	097
7.2.- Problema Inverso .....	097
8.- Método Algebraico .....	098
8.1.- Problema Directo .....	098
8.2.- Problema Inverso .....	102
9.- Método de las Esferas Auxiliares .....	105
9.1.- Problema Directo .....	105
9.2.- Problema Inverso .....	114
Notas .....	119
Ejercicios y Bibliografía .....	120

**TEMA 6.- TRASLADO DE POSICIONES GEOGRÁFICAS**

1.- Introducción .....	123
2.- Traslado de posiciones geográficas .....	124
Traslado de posiciones geográficas por métodos geodésicos .....	124
Traslado de posiciones geográficas por métodos topográficos .....	125
3.- Traslado de posiciones geográficas por métodos geodésicos .....	126
3.1.- Poligonal .....	126
3.2.- Radiación .....	128
3.3.- Triangulación .....	129
3.4.- Trilateración .....	133

4.- Definición de Topografía .....	135
5.- Límite de la extensión de los levantamientos topográficos .....	135
5.1.- Graficismo, Escala y Centímetro Gráfico .....	136
5.2.- Error lineal .....	137
5.3.- Error periférico .....	138
5.4.- Error angular .....	139
5.5.- Conclusiones .....	140
6.- Traslado de posiciones geográficas por métodos topográficos .....	140
6.1.- Radiación .....	142
6.2.- Itinerario .....	143
6.3.- Intersección .....	144
Intersección Directa .....	144
Trisección Directa .....	146
Intersección Inversa .....	147
Intersección Mixta .....	150
6.4.- Trilateración .....	150
6.5.- Taquimetría .....	152
7.- La representación U.T.M. ....	155
7.1.- La Orientación .....	157
7.2.- Convergencia de Meridiano .....	157
7.3.- El módulo de deformación reducido .....	158
8.- La referencia topográfica y la proyección UTM .....	159
Notas y Bibliografía .....	161
Ejercicios .....	163

### **TEMA 7.- REDES GEODÉSICAS**

1.- Introducción .....	167
2.- La red geodésica clásica .....	168
3.- Construcción de la red o triangulación .....	170
3.1.- Proyecto de la triangulación .....	170
3.2.- El reconocimiento del terreno .....	172
3.3.- La señalización .....	173
3.4.- La observación y control de resultados .....	174
3.5.- La compensación .....	175
4.- La red geodésica clásica española .....	176
5.- Las redes geodésicas tridimensionales .....	178
6.- Origen y evolución de la red geodésica española .....	180
6.1.- El Servicio de Internacional de Rotación (IERS) .....	181
6.2.- El Servicio Internacional GPS para geodinámica .....	182
6.3.- El marco ETRF89. La campaña EUREF 89 .....	183
6.4.- Las campañas IBERIA 95 y BALEAR 98 .....	183
6.5.- La red REGENTE .....	184
Notas y Bibliografía .....	186

### **TEMA 8.- REDUCCIÓN DE OBSERVACIONES AL ELIPSOIDE**

1.- Introducción .....	187
2.- Reducción de distancias .....	188
2.1.- Corrección meteorológica .....	189
2.2.- Cálculo del desnivel .....	190
2.2.1.- Reducción al horizonte. La distancia horizontal .....	190
2.2.2.- Corrección por esfericidad .....	191
2.2.3.- Corrección por refracción. Cálculo del coeficiente de refracción .....	193
2.2.4.- Corrección conjunta por esfericidad y refracción .....	195
2.3.- Reducción del terreno a la cuerda .....	196

2.4.- Reducción de la cuerda al arco .....	198
3.- Reducción de ángulos .....	199
3.1.- Corrección angular para paso de la sección normal a la línea geodésica .....	199
3.2.- Corrección angular debida a la desviación de la vertical .....	200
3.3.- Corrección angular debida a la altura del vértice de estación .....	201
3.4.- Corrección angular debida a la altura del vértice observado .....	201
Notas y Bibliografía .....	203
Ejercicios .....	204

### **TEMA 9.- MEDIDA DE DISTANCIAS**

1.- Introducción .....	205
2.- Medida directa de distancias .....	206
2.1.- La regla bimetálica .....	206
2.2.- El hilo invar .....	208
2.3.- La cadena de agrimensor .....	209
2.4.- La cinta métrica .....	209
2.5.- El flexómetro .....	210
2.6.- El reglón .....	211
3.- Medida indirecta de distancias .....	211
3.1.- El método estadimétrico .....	211
Estadímetros de primera categoría .....	212
Estadímetros de segunda categoría .....	212
Estadímetros de tercera categoría .....	212
Retículos estadimétricos .....	213
Visuales inclinadas .....	214
Error por falta de verticalidad de la mira .....	215
3.2.- La Estadia invar .....	217
3.3.- Medida electrónica de distancias .....	218
Ecuación fundamental de los distanciómetros .....	219
Cálculo de la ambigüedad $n$ .....	220
Medida de la precisión en los distanciómetros .....	221
Retardos en el aparato y reflector .....	221
3.4.- Clasificación de los distanciómetros electrónicos .....	221
Electromagnéticos o de microondas .....	222
Electroópticos-láser .....	222
Electroópticos-infrarrojos .....	222
4.- Redes de ampliación de base .....	222
Notas y Bibliografía .....	224

### **TEMA 10.- MEDIDA DE ÁNGULOS**

1.- Introducción .....	225
2.- Definiciones .....	225
3.- El teodolito .....	226
4.- Movimientos del teodolito .....	228
5.- Clasificación de errores .....	229
6.- Errores en la medida de ángulos horizontales .....	230
6.1.- Errores instrumentales .....	230
6.2.- Errores de observación .....	231
7.- Errores en la medida de ángulos verticales .....	233
7.1.- Errores instrumentales .....	233
7.2.- Errores de observación .....	233
8.- Regla de Bessel .....	234
9.- Método de repetición .....	235
10.- Método de reiteración .....	236

11.- Comparación de los métodos de repetición y reiteración .....	237
12.- Método de vueltas al horizonte .....	237
13.- Medida de ángulos verticales .....	241
14.- Estaciones excéntricas .....	242
Notas y Bibliografía .....	245

**TEMA 11.- ALTIMETRÍA**

1.- Introducción .....	247
2.- Cota, altitud y desnivel .....	248
3.- Métodos altimétricos .....	248
4.- Nivelación geométrica .....	249
4.1.- Método del punto medio .....	249
4.2.- Método del punto extremo .....	252
4.3.- Método de estaciones recíprocas .....	253
4.4.- Método de estaciones equidistantes .....	253
4.5.- Nivelación geométrica compuesta .....	254
4.6.- Nivelación de la regla de mareas .....	257
5.- Nivelación trigonométrica .....	259
5.1.- Visuales aisladas .....	259
5.2.- Visuales simultáneas recíprocas .....	260
5.3.- Reducción al centro de estación .....	262
6.- Nivelación barométrica .....	263
7.- Falta de paralelismo de las superficies de nivel .....	264
8.- Cota geopotencial .....	266
9.- Altura ortométrica .....	266
10.- Altura científica. El cuasigeoide .....	268
11.- Altura dinámica .....	268
12.- Redes de Nivelación .....	269
12.1.- Red de Nivelación de Precisión, NP .....	269
12.2.- Red de Nivelación de Alta Precisión, NAP .....	269
12.3.- Redes de Nivelación Europeas .....	270
13.- Perfiles de Playa .....	271
13.1.- Control horizontal .....	272
13.2.- Control vertical .....	274
13.3.- Líneas de pleamar y bajamar .....	276
Bibliografía .....	276
Notas .....	277

**TEMA 12.- CAMBIO DE DATUM**

1.- Introducción .....	279
2.- Transformación de Helmert .....	280
3.- Método de afinidad o de 7 parámetros .....	281
4.- Establecimiento de un sistema local .....	284
5.- Establecimiento de un sistema global .....	283
6.- Planteamiento del problema .....	283
7.- Modelo de 7 parámetros de Bursa-Wolf .....	284
8.- Modelos Estándar y Abreviado de Molodensky .....	284
8.1.- Fórmula Estándar de Molodensky .....	285
8.2.- Fórmula Abreviada de Molodensky .....	285
9.- Modelo de 3 parámetros .....	287
10.- Modelos Abreviados y Estándar de Molodensky .....	287
11.- Obtención de las coordenadas cartesianas .....	289
12.- Desarrollo del método de los 7 parámetros de Molodensky .....	290
Notas y Bibliografía .....	293
Ejercicios .....	294

**TEMA 13.- EL GPS, SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL**

1.- Introducción .....	295
2.- Características generales del sistema <i>GPS</i> .....	296
3.- Descripción general del sistema .....	296
3.1.- El segmento espacial .....	297
3.2.- El segmento de control .....	297
3.3.- El segmento de usuario .....	297
4.- Características básicas del sistema .....	298
4.1.- Servicios ofrecidos por el sistema .....	298
4.2.- Posicionamiento y capacidad de navegación .....	298
5.- Aplicaciones para usuarios .....	298
5.1.- Aplicaciones militares .....	299
5.2.- Aplicaciones civiles .....	299
6.- Conceptos básicos de operación .....	300
6.1.- Símil del navegante .....	301
6.2.- Las secuencias PRN .....	303
6.3.- La correlación en el receptor .....	304
6.4.- La pseudodistancia .....	305
7.- Proceso de cálculo de la posición y hora .....	306
8.- Correcciones a la pseudodistancia .....	308
8.1.- Error orbital .....	309
8.2.- El reloj del satélite .....	309
8.3.- Corrección relativista .....	309
8.4.- Retardos instrumentales en el satélite y el receptor .....	310
8.5.- Retardo troposférico .....	310
8.6.- Retardo ionosférico .....	311
8.7.- Multipath .....	311
9.- Factores de precisión en las medidas de posición y tiempo .....	312
9.1.- El error equivalente en distancia para el usuario <i>UERE</i> .....	312
9.2.- Dilución de la precisión <i>DOP</i> .....	313
10.- Errores en las medidas de posición y tiempo .....	314
11.- Enlaces y segmentos del GPS .....	316
12.- El enlace espacio-usuario .....	317
12.1.- La secuencia de códigos de distancia <i>PRN</i> .....	317
12.2.- Modulación de la portadora .....	318
12.3.- El mensaje de navegación .....	320
12.4.- Estructura de la señal <i>SIS</i> .....	322
12.5.- Características especiales del enlace espacio – usuario <i>SIS</i> .....	322
12.5.1.- La disponibilidad selectiva <i>SA</i> .....	322
12.5.2.- La antidecepción <i>A-S</i> .....	323
12.5.3.- El efecto de la <i>SA</i> y la <i>A-S</i> en el enlace <i>SIS</i> .....	323
13.- El segmento espacial .....	324
14.- El segmento de control .....	327
El proceso de actualización .....	328
15.- El segmento de usuario .....	330
15.1.- La antena .....	331
15.2.- El receptor .....	332
15.2.1.- El convertidor .....	333
15.2.2.- El reloj de cuarzo sintetizador de frecuencia .....	333
15.2.3.- Los canales de seguimiento .....	333
15.2.4.- Interacción entre canales .....	336
15.2.5.- Procesador de datos. Filtro Kalman .....	336
16.- El enlace control – usuario .....	338
17.- Secuencia cronológica de posicionamiento .....	339
Notas y Bibliografía .....	341

**TEMA 14.- EMPLEO DEL GPS EN GEODESIA Y TOPOGRAFÍA**

1.- Introducción .....	343
2.- Observables .....	344
2.1.- La pseudodistancia .....	344
2.2.- La variación doppler de frecuencia .....	345
2.3.- La fase de la portadora .....	346
3.- Combinaciones de fase de la portadora .....	350
3.1.- Simple diferencia .....	350
3.2.- Dobles diferencias .....	352
3.3.- Triples diferencias .....	352
4.- Pérdida de ciclos .....	353
5.- Combinación de medidas de código y fase en un único receptor bifrecuencia .....	353
6.- Aspectos del posicionamiento GPS .....	357
6.1.- El posicionamiento absoluto frente al relativo .....	357
6.2.- El posicionamiento estático frente al cinemático .....	358
6.3.- El posicionamiento en tiempo real frente al post-procesado .....	358
7.- Tipos de posicionamiento GPS .....	358
7.1.- Absoluto estático en tiempo real .....	358
7.2.- Absoluto estático con post-proceso .....	359
7.3.- Absoluto cinemático en tiempo real .....	360
7.4.- Absoluto cinemático con post-proceso .....	360
7.5.- Relativo estático en tiempo real .....	361
7.6.- Relativo estático con post-proceso .....	361
7.6.1.- Estático convencional .....	361
7.6.2.- Estático rápido .....	362
7.7.- Relativo cinemático en tiempo real .....	363
7.8.- Relativo cinemático con post-proceso .....	363
7.8.1.- Stop and Go o Semicinemático .....	364
7.8.2.- Pseudocinemático .....	364
8.- El posicionamiento diferencial .....	365
9.- Grabación de datos .....	367
10.- Nivelación con GPS .....	368
11.- Máscara de elevación y máscara PDOP .....	370
12.- Centro de fase de la antena .....	371
Bibliografía .....	372
Notas .....	373
Índice Alfabético .....	375
Nomenclatura .....	383
Formulario .....	387
Bibliografía general .....	393