

CARLOS LEÓN ROBLES  
JUAN F. REINOSO GORDO  
JESÚS MATAIX SANJUAN

INTRODUCCIÓN A LA TOPOGRAFÍA  
EN LA INGENIERÍA CIVIL

GRANADA  
2016

© LOS AUTORES.

© UNIVERSIDAD DE GRANADA.

INTRODUCCIÓN A LA TOPOGRAFÍA EN LA INGENIERÍA CIVIL

ISBN: 978-84-338-5977-8.

Depósito legal: GR./1257-2016.

Edita: Editorial Universidad de Granada.

Campus Universitario de Cartuja. Granada

Diseño de cubierta: Josemaría Medina Alvea.

Imprime: Gráficas La Madraza, S.L. Albolote. Granada.

Printed in Spain

Impreso en España

*Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley.*

# ÍNDICE

Prólogo .....	9
Capítulo 1. Geodesia.....	13
1.1. La superficie terrestre, el geoide y el elipsoide .....	13
1.2. Geometría del elipsoide.....	21
1.3. El problema geodésico directo e inverso.....	25
1.4. Sistema de Posicionamiento Global. GPS .....	30
Capítulo 2. Cartografía Matemática .....	43
2.1. Transformación de elementos diferenciales del elipsoide al plano .....	45
2.2. Desarrollo cilindrico conforme de Mercator .....	54
2.3. Proyección Universal Transversa de Mercator (UTM).....	66
Capítulo 3. Nivelaciones.....	85
3.1. Nivelación geométrica .....	86
3.2. Corrección ortométrica .....	96
3.3. Nivelación trigonométrica .....	100
Capítulo 4. Métodos Planimétricos.....	113
4.1. Método de la radiación .....	118
4.2. Itinerario planimétrico .....	119
4.3. Intersección directa .....	126
4.4. Intersección inversa.....	133
Capítulo 5. Levantamiento Topográfico y Replanteo.....	139
5.1. Levantamiento topográfico .....	139
5.2. Replanteo .....	147
Capítulo 6. Fotogrametría aérea .....	151
6.1. La fotografía aérea .....	152
6.2. El vuelo fotogramétrico.....	158
6.3. Las ecuaciones de paralaje.....	163
6.4. Restitución fotogramétrica .....	168

---

Capítulo 7. Obras Lineales.....	175
7.1. Planta de una obra lineal.....	176
7.2. Perfil longitudinal .....	177
7.3. Perfiles transversales .....	180
7.4. Cubicación del movimiento de tierras.....	181
Bibliografía básica.....	187

## PRÓLOGO

La topografía constituye uno de los principales cimientos de la ingeniería civil, disciplina que se caracteriza por la clara interacción de sus realizaciones con el terreno natural. En las últimas décadas la topografía ha experimentado una notable evolución, siendo en la actualidad inimaginable el diseño y construcción de infraestructuras sin el conocimiento que del terreno proporciona la misma.

Esta vinculación existente entre la ingeniería civil y la topografía ha tenido como consecuencia que siempre haya estado presente con una alta carga lectiva en los planes de estudios de las Escuelas de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos. Sin embargo, la implantación del Espacio Europeo de Educación Superior y la aparición de los Grados ha tenido como consecuencia una notable reducción del tiempo destinado al estudio de estas materias, quedando reducida en la mayoría de los casos a una asignatura cuatrimestral de primer o segundo curso.

En este trabajo se presenta a los alumnos de Ingeniería Civil los conceptos básicos de una ciencia que sin duda es cada vez más compleja y extensa. Todo el contenido ha sido enfocado a la obtención de la cartografía que sirve de base para proyectar una obra de infraestructura, introduciendo nociones sobre la forma de la Tierra y las superficies que la aproximan, los sistemas de proyección que permiten su representación plana, los métodos topográficos que permiten calcular las coordenadas de puntos situados sobre la superficie terrestre, los levantamientos topográficos y las técnicas fotogramétricas. El libro finaliza con unas nociones básicas de la interacción entre el terreno y las obras lineales, una de las actividades más notables de la ingeniería civil. Cada capítulo se basa en los anteriores, por lo que el lector que se inicie en esta materia requerirá una lectura completa de todo el texto.

Finalmente, agradecer a los autores D. Carlos A. León Robles (Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos), D. Juan F. Reinoso Gordo (Dr. Ingeniero en Geodesia y Cartografía) y D. Jesús Mataix Sanjuán (Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos), profesores del Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica y en la Ingeniería, el esfuerzo realizado en la elaboración de la publicación. La exposición y el tratamiento la han llevado a cabo de manera sencilla y escueta, con objeto de facilitar su comprensión a toda persona que acceda a esta obra como libro de texto o de consulta.

Queda patente el enfoque profesional que posee desde el punto de vista del Ingeniero Civil y del Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Ha sido posible gracias a la amplia y dilatada experiencia profesional de los autores, como Ingenieros de Caminos, en la redacción de proyectos y direcciones de obras de todo tipo: autopistas, autovías, carreteras, enlaces, intersecciones, encauzamientos, puentes, urbanizaciones, polígonos industriales, abastecimientos, saneamientos, etc.

**Miguel Ángel León Casas**

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Director del Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica y en la Ingeniería

# Capítulo 1. Geodesia



## Capítulo 1. Geodesia

La geodesia es la ciencia que estudia la forma y dimensiones de la Tierra, su campo gravitatorio y la posición que ocupa en el espacio.

Desde el punto de vista de la ingeniería civil, uno de los principales objetivos de la geodesia es el cálculo de la latitud, longitud y altitud de puntos de la superficie terrestre, así como las relaciones geométricas existentes entre los mismos. La materialización de estos puntos sobre el terreno mediante los vértices geodésicos y las señales de nivelación constituye el cimiento cartográfico de un país sobre la que se apoyan los proyectos de infraestructuras.

### 1.1. La superficie terrestre, el geoide y el elipsoide

La forma de la Tierra es similar a un esferoide achatado por los Polos con grandes irregularidades en su superficie, lo que tiene como consecuencia que no coincida exactamente con una esfera o un elipsoide. Estas irregularidades han conducido a lo largo de la historia a considerar que la superficie que mejor se aproxima a la Tierra es el geoide (figura 1).

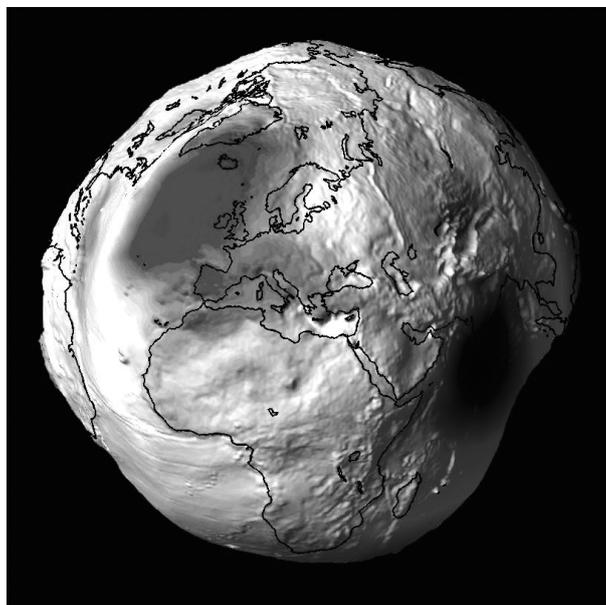


Figura 1. Geoide<sup>1</sup>

La definición del geoide se basa en el campo gravitatorio terrestre, pudiendo definirse como una superficie equipotencial sobre la cual la fuerza de la gravedad en todos sus puntos es normal a la misma (figura 2). Esta superficie se puede asimilar a la superficie media de los mares una vez eliminados los efectos de las mareas, los vientos y las corrientes marinas,

---

<sup>1</sup> European Space Agency. GOCE (Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer) <http://www.esa.int>

presentando variaciones importantes en las zonas continentales. La superficie así definida es una superficie física real que se determina midiendo la fuerza de la gravedad en distintos puntos de la Tierra.

El geoide se aproxima a la superficie terrestre con una precisión adecuada, sin embargo sus numerosas irregularidades no hacen posible una definición matemática sencilla, lo que complica excesivamente su empleo práctico como modelo terrestre. Estas irregularidades han tenido como consecuencia la búsqueda de una superficie matemática que a su vez se aproxime lo mejor posible al geoide, eligiéndose a tal efecto el elipsoide de revolución (figura 3).

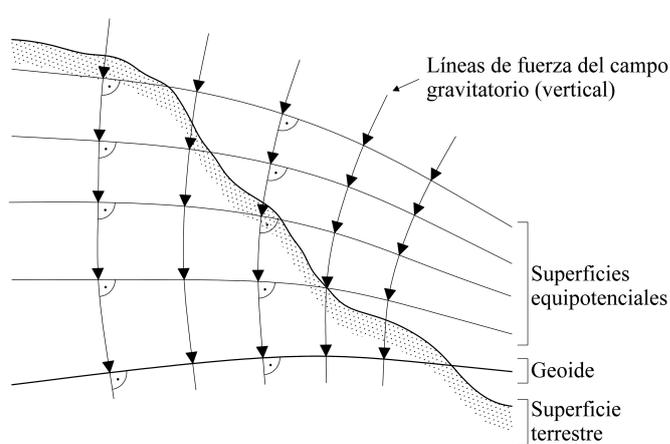


Figura 2

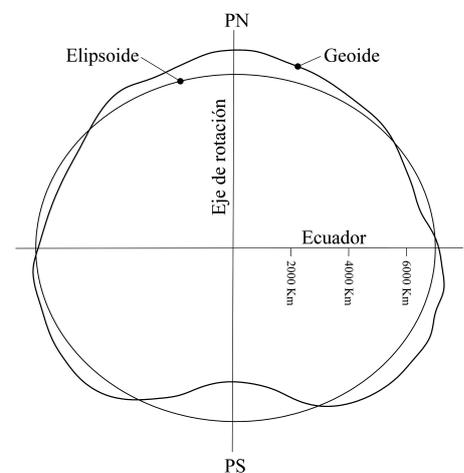


Figura 3

Las principales características de la superficie terrestre, el geoide y el elipsoide se podrían resumir de la siguiente forma:

- Superficie terrestre: es una superficie física real cuya forma se asemeja a un esferoide achatado por los Polos. Dada la complejidad de su forma no es posible su empleo como modelo para calcular la posición de puntos sobre la misma y establecer relaciones entre distintos puntos.
- Geoide: es una superficie física real que se aproxima a la superficie terrestre y queda definida como una superficie equipotencial del campo gravitatorio. Las irregularidades de su forma no hacen viable su empleo como modelo para establecer relaciones geométricas entre sus puntos.
- Elipsoide: es una superficie de aproximación al geoide que no existe en la realidad. Dado el conocimiento matemático de su geometría es un modelo apto para determinar la posición de sus puntos y establecer relaciones geométricas entre los mismos.