

# Encargado de obra civil

## **Replanteo de obra**

Belén Monercillo Delgado

1ª edición: enero 2009

© Belén Monercillo Delgado  
© Fundación Laboral de la Construcción  
© Tornapunta Ediciones, S.L.U.  
ESPAÑA

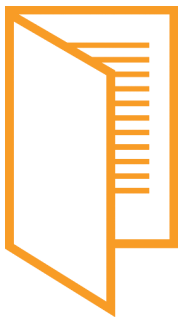
Av. Alberto Alcocer, 46 B Pª 7  
28016 Madrid  
Tél.: 91 398 45 00 Fax: 91 398 45 03  
[www.fundacionlaboral.org](http://www.fundacionlaboral.org)

ISBN: 978-84-92686-40-7  
Depósito Legal: M-4452-2010

### ÍNDICE

|   |   |     |
|---|---|-----|
|  | Introducción  | 5   |
|  | Objetivos generales   | 7   |
| <b>UD1</b>  | Introducción. Topografía y geodesia   | 9   |
| <b>UD2</b>  | Levantamientos. Sistemas de representación y escala                               | 29  |
| <b>UD3</b>  | Instrumentos topográficos: fundamentos, elementos y accesorios                    | 47  |
| <b>UD4</b>  | Aparatos de topografía. El teodolito, el taquímetro, la estación total y el nivel | 63  |
| <b>UD5</b>  | Métodos topográficos  | 95  |
| <b>UD6</b>  | Replanteos. Aplicaciones prácticas: perfiles, replanteo de curvas                 | 113 |
| <b>UD7</b>  | Movimiento de tierras. Explanaciones y cubicaciones                               | 133 |
| <b>UD8</b>  | Utilización del GPS y nuevas tecnologías aplicadas a topografía                   | 151 |
|   | Índice de figuras   | 165 |





### INTRODUCCIÓN

El avance que se ha producido tanto en la electrónica como en la informática en los últimos 50 años ha permitido un progreso extraordinario en los trabajos de Topografía en obra civil.

Estos trabajos siguen teniendo como base, los conocimientos tradicionales de Topografía y, es tarea del encargado saber congeniarlos con las nuevas tecnologías, para coordinar las actividades de replanteo a realizar en la obra.

Aunque los instrumentos actuales son relativamente fáciles de manejar, la falta de bases sólidas de los conceptos básicos sobre Topografía puede llevar a cometer errores de difícil arreglo en los trabajos desarrollados.

Con el avance de los aparatos específicos de Topografía y el perfeccionamiento de las máquinas utilizadas se ha hecho realidad la ejecución de obras que en otro tiempo hubieran sido impensables en plazos realmente impresionantes y con un ahorro de costes considerable.

A lo largo de este libro se realiza una breve introducción a estas técnicas topográficas dando especial importancia a sus ventajas e inconvenientes para que el encargado de obra tenga claro en qué momento son realmente necesarias, su aplicación y sus inconvenientes.





### OBJETIVOS GENERALES

*Al finalizar el curso el alumno será capaz de:*





- Adquirir los conocimientos básicos relativos a los trabajos de Topografía, que se realizan en el proyecto y ejecución de obras civiles.
- Manejar adecuadamente las diferentes magnitudes y unidades de medida usadas en Topografía.
- Interpretar adecuadamente la información gráfica disponible en una obra.
- Comprender los fundamentos básicos del funcionamiento de los aparatos topográficos principales.
- Realizar una labor de supervisión coherente a la hora de encargar y coordinar trabajos de Topografía en la obra.
- Comprender los métodos tanto altimétricos como planimétricos para realizar una interpretación coherente de los resultados presentados por un equipo de Topografía.
- Realizar cálculos sencillos de volúmenes de tierras en obra civil.
- Comprender y aplicar consideraciones generales en las mediciones de un proyecto de obra civil.
- Conocer las nuevas técnicas utilizadas en trabajos de Topografía.





# UD1

## ÍNDICE

|     |  |    |
|-----|--|----|
|     |  Objetivos    | 10 |
| 1.1 |  Introducción | 11 |
| 1.2 | Topografía. Consideraciones generales sobre medidas topográficas                                 | 12 |
| 1.3 | Geodesia. Conceptos generales. Elipsoide de referencia   | 13 |
| 1.4 | Cartografía. Coordenadas geográficas   | 14 |
| 1.5 | Unidades de medida   | 15 |
| 1.6 | Tipos de distancias utilizadas en Topografía   | 22 |
| 1.7 | Errores  | 23 |
|     |  Resumen      | 23 |
|     |  Terminología | 25 |



## **OBJETIVOS**

Al finalizar esta Unidad Didáctica, el alumno será capaz de:

- Adquirir los conocimientos básicos relativos a la Topografía.
- Conocer las coordenadas geográficas.
- Manejar adecuadamente las diferentes magnitudes y unidades de medida usadas en Topografía.
- Conocer y aplicar el concepto de error.



## 1.1 INTRODUCCIÓN

Esta Unidad consiste en una primera toma de contacto con la Topografía fijando una serie de conocimientos básicos previos, como unidades, distancias y errores.

El rápido avance de la tecnología, que en los últimos años ha supuesto una renovación de las técnicas utilizadas por los instrumentos de Topografía, hace necesario revisar estos conceptos y principios que, básicamente, siguen siendo los mismos, pero sirven para comprender procedimientos pasados y, desde luego, cualquier adelanto que se pueda llegar a producir en el futuro.

Aunque los instrumentos actuales son relativamente de fáciles de manejar, la falta de bases sólidas de los conceptos básicos sobre Topografía puede llevar a cometer errores de difícil arreglo en los trabajos desarrollados en una obra civil.

## 1.2 TOPOGRAFÍA. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE MEDIDAS TOPOGRÁFICAS

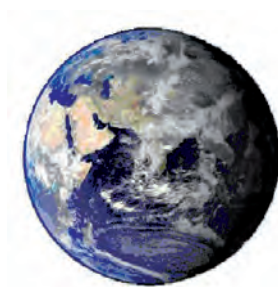
La Topografía es la ciencia que estudia el conjunto de principios y operaciones que tienen por objeto la representación gráfica de la superficie de la Tierra con sus formas y detalles, tanto naturales, montañas, ríos, etc., como artificiales, es decir, todos los debidos a la acción de la mano del hombre.

El resultado de esta representación gráfica suele presentarse a través de los **mapas**, que, en definitiva, constituyen la representación de una parte de la superficie terrestre sobre una superficie de dos dimensiones, generalmente plana pero que también puede ser esférica, como ocurre en los globos terráqueos.

Sobre estos mapas se pueden tomar medidas de distancias, ángulos o superficies y obtener un resultado aproximadamente exacto.



**Figura 1.** Mapa antiguo de España. Fuente: Instituto Geográfico Nacional (<http://www.ign.es>)



**Figura 2.** Globo terrestre. Fuente: WEB Ministerio de Ciencia e Innovación (<http://web.micinn.es>)

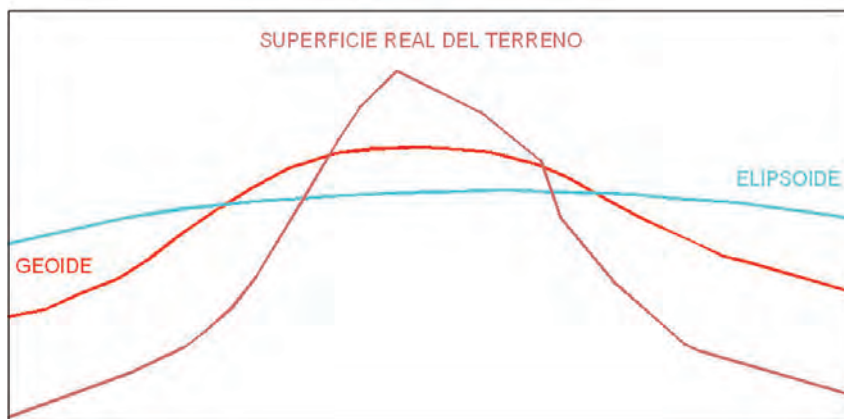
### 1.3 GEODESIA. CONCEPTOS GENERALES. ELIPSOIDE DE REFERENCIA

Según el Diccionario de la Lengua Española de la Real Academia Española, “La Geodesia es la ciencia matemática que tiene por objeto determinar la figura y magnitud del globo terrestre o de gran parte de él, y construir los mapas correspondientes”.

Por lo tanto, la Geodesia como ciencia estudia las dimensiones y la forma del globo terrestre teniendo en cuenta que, aunque se suele considerar la Tierra como una esfera, en realidad esto no es más que una aproximación, puesto que tiene forma de geoide, que es aproximadamente una esfera achatada por los polos. El geoide es aproximadamente la forma que adopta la Tierra cuando las aguas de los océanos están en calma.

Sin embargo, para representar los puntos en Topografía se utiliza un elipsoide como superficie de referencia, que coincide aproximadamente con la superficie real de la Tierra y del geoide. Se trata, por lo tanto, de una aproximación matemática que permite obtener estos puntos de forma más sencilla.

En la siguiente figura se muestran las diferencias entre las superficies del geoide, el elipsoide y real de la Tierra.



**Figura 3.** Diferencias entre las superficies del geoide, el elipsoide y real de la Tierra

La Geodesia la desarrollaron las culturas del Oriente Medio con el objetivo de dividir las propiedades en parcelas. Las fórmulas usadas para calcular áreas eran generalmente empíricas y las usaron griegos y romanos, junto con diversos aparatos de elevada precisión en aquella época.

En 1617 se produjo un adelanto importante cuando el holandés W. Snellius inventó la triangulación para el levantamiento de áreas grandes, como regiones o países.

El desarrollo del **cálculo de probabilidades** (Laplace, 1818) y del **método de los mínimos cuadrados** (C. F. Gauss, 1809) perfeccionó la corrección de los errores en las observaciones y mejoró los resultados obtenidos.

La Geodesia moderna comienza con los trabajos de Helmert, quien modernizó los métodos de medición; en 1909 Hayford aplicó estos métodos en la definición del territorio entero de Estados Unidos.

## 1.4 CARTOGRAFÍA. COORDENADAS GEOGRÁFICAS

La Cartografía es la ciencia que se ocupa de la obtención y el dibujo de los mapas, desde los que se realizaron en la Antigüedad hasta los obtenidos por los métodos más modernos.

Un mapa constituye una representación gráfica de una zona extensa de la superficie terrestre sobre una superficie plana.

En los mapas se puede localizar un punto concreto gracias a sus coordenadas geográficas, denominadas “latitud” y “longitud”, que se obtienen a partir de la posición que ocupa dicho punto en relación con un sistema de referencia formando líneas imaginarias denominadas “paralelos” y “meridianos”; así, la situación de cada punto se puede calcular de forma precisa determinando la intersección de un paralelo y un meridiano.

En la siguiente figura se muestra la distribución de estas líneas respecto al elipsoide de referencia:



**Figura 4.** Mapamundi en el que se muestran los meridianos y paralelos para el cálculo de la latitud y longitud de un mapa topográfico. Fuente: Junta de Andalucía (<http://www.juntadeandalucia.es>)

Un mapa constituye una representación gráfica de una zona extensa de superficie terrestre sobre una superficie plana.

Recuerda ●

Como origen de los meridianos se toma uno denominado “meridiano principal o primer meridiano”, que es para España el que pasa por el Observatorio de Madrid, aunque para otros países se toma como origen el que pasa por el Observatorio de Greenwich, próximo a Londres.

En general se toma como meridiano de referencia el que pasa por el observatorio de Greenwich.

Recuerda ●

De este modo se puede calcular la **longitud de un punto** como la distancia, expresada en grados, que existe entre el meridiano que pasa por dicho punto y otro que se ha tomado como referencia. La longitud puede ser Este u Oeste y varía de 0 a 180°.

Como origen de paralelos se toma el Ecuador; se denomina **latitud de un punto** a la distancia, expresada en grados, que hay desde dicho punto hasta el Ecuador. La latitud puede ser Norte o Sur y varía de 0° a 90°.

## 1.5 UNIDADES DE MEDIDA

Medir una magnitud supone compararla con otra de su misma entidad, que se toma por unidad. Las magnitudes que se utilizan comúnmente en Topografía son las lineales, las superficiales y las angulares.

Es importante mantener la coherencia con las unidades para garantizar que los procesos de medición y replanteo se realizan correctamente. Esto significa que si para medir un elemento determinado de la obra se empieza a medir respecto a una unidad, es conveniente continuar con la misma unidad hasta el final de la medición del elemento.

Si para medir un elemento determinado de la obra se empieza a medir respecto a una unidad, es conveniente continuar con la misma unidad hasta el final de la medición del elemento.

Recuerda ●

### 1.5.1 Unidades de longitud

La unidad de longitud por excelencia en el **Sistema Internacional de Unidades** es el **metro**, que en la actualidad se define como la longitud del trayecto recorrido en el vacío por la luz durante un tiempo de 1/299.792.458 segundos.

El metro tiene su materialización física en una regla metálica, compuesta por platino e iridio, que alcanza una determinada longitud a la temperatura de 0 °C. Dicha regla se denomina *metro de los archivos*.

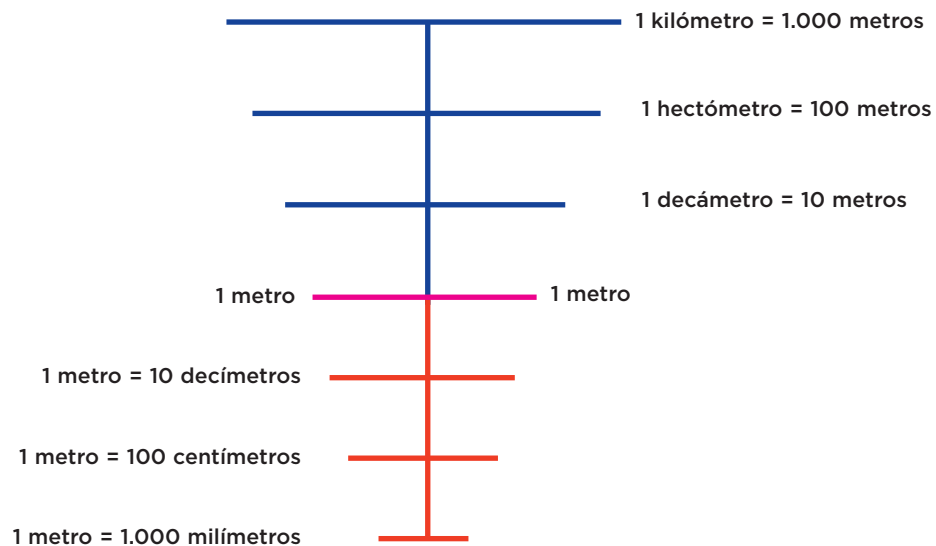
Todos los Estados poseen prototipos que son copias de la citada regla, también de platino e iridio, tal y como se muestra en la figura:



**Figura 5.** Metro patrón antiguo. Fuente: Centro Español de Metrología (<http://www.cem.es>)

El sistema métrico decimal, también llamado “sistema métrico”, es un sistema de unidades basado en el metro como unidad principal en el cual cada unidad se relaciona con las demás por ser un múltiplo de 10.

En la siguiente figura se pueden observar las equivalencias principales en el sistema métrico decimal:



**Figura 6.** Equivalencias principales en el sistema métrico decimal



En obra civil, y dependiendo de los trabajos que se estén realizando, lo más usual es utilizar como medida de referencia el metro. Sin embargo, para determinados trabajos, como el replanteo de secciones de firmes de carreteras, se pueden emplear otras magnitudes del sistema métrico decimal, como el centímetro. El milímetro es más propio de otras ramas de la ingeniería, como la industrial o la de telecomunicaciones.

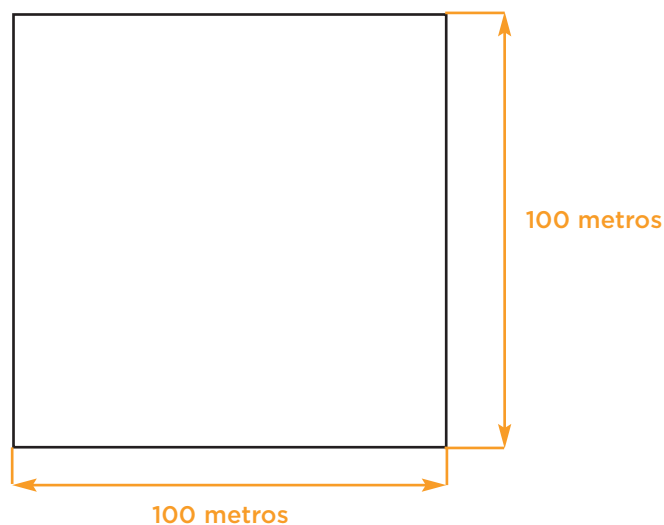
En obra civil, y dependiendo de los trabajos que se estén realizando, lo más usual es utilizar como medida de referencia el metro.

Recuerda



### 1.5.2 Unidades de superficie

La unidad de superficie utilizada con más frecuencia en Topografía es la hectárea (Ha), que se define como la “superficie equivalente a la de un cuadrado de 100 m de lado”, así, una hectárea son 10.000 m<sup>2</sup>, es decir, la superficie de un cuadrado de 100 m de lado (100 x 100 = 10.000).



**Figura 7.** Representación gráfica de una hectárea

Rara vez se emplean unidades múltiplos de una hectárea; no obstante, en alguna ocasión se toma el kilómetro cuadrado (equivalente a 100 hectáreas).

Otra unidad utilizada a menudo es el área, que se define como la superficie de un cuadrado de lado 10 m, es decir, equivale a 100 m<sup>2</sup>.

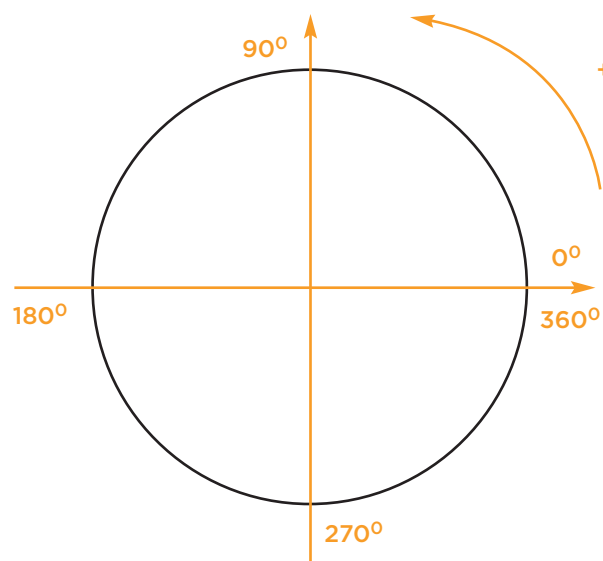
Sin embargo, es usual emplear divisores tales como el metro cuadrado (superficie de cuadrado de 1 m de lado) o el centímetro cuadrado (cuadrado de 1 cm de lado).

### 1.5.3 Unidades angulares

Para la medición de los ángulos en Topografía se utilizan básicamente dos tipos de graduaciones: la sexagesimal y la centesimal.

#### a. Graduación sexagesimal

Un grado sexagesimal es la unidad de medida del ángulo que se obtiene al dividir una circunferencia en 360 partes iguales; es decir, la circunferencia completa tendría  $360^{\circ}$  sexagesimales y cada uno de sus cuatro cuadrantes 90.



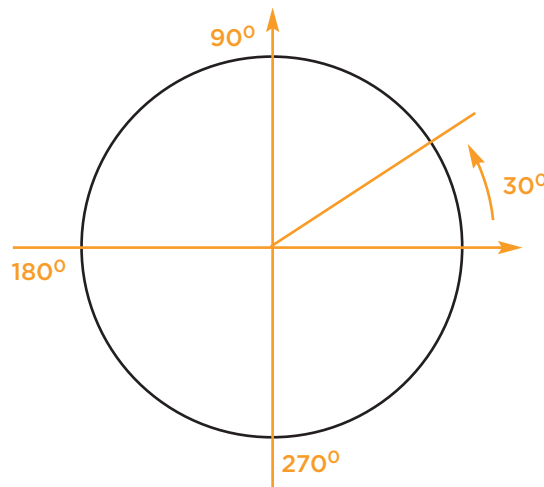
**Figura 8.** Medida de ángulos con graduación sexagesimal en sentido antihorario

Cada grado sexagesimal se divide en 60 min y cada minuto, a su vez, en 60 s.

De este modo, el arco de circunferencia queda medido por el número de grados, minutos y segundos que comprende y que se representan, respectivamente, por un cero, un acento o dos acentos colocados a la derecha y en la parte superior del número correspondiente en la siguiente forma, según la figura adjunta.

**48° 36' 52" 3**

En la siguiente figura se muestra un ejemplo de medida:



**Figura 9.** Ejemplo de medida de un ángulo de  $30^\circ$  en sentido antihorario

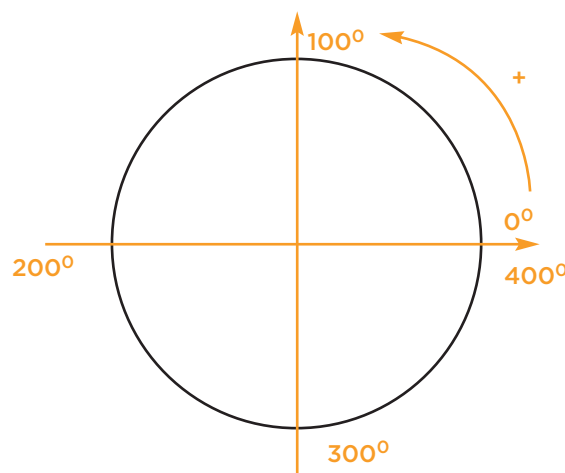
**b. Graduación centesimal**

Un grado centesimal es la unidad de medida del ángulo que se obtiene al dividir una circunferencia en 400 partes iguales, llamadas “gonas” (grados); es decir, la circunferencia completa tendría 400 (gonas) grados centesimales y cada uno de sus cuatro cuadrantes 100 gones.

Asimismo, cada grado comprende 100 min. y cada minuto 100 s.

La nomenclatura utilizada, para distinguirlos de los sexagesimales, consiste en utilizar las letras g, m y s, respectivamente, como se indica en el ejemplo:

**$18^g 25^m 63^s$**



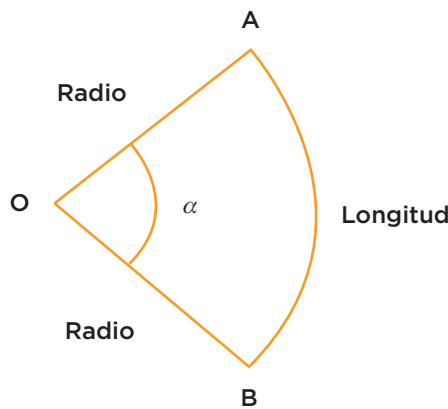
**Figura 10.** Medida de ángulos con graduación centesimal en sentido antihorario

**c. Graduación radial. El radián**

Con este sistema de graduación se supone que una circunferencia se encuentra dividida en  $2\pi$  partes iguales a las que se denomina “radianes”. El radián es el arco de una circunferencia que tiene una longitud igual a su radio.

Por tanto, el ángulo completo  $\alpha$  de una circunferencia de radio  $r$ , medido en radianes, es:

$$\alpha_{circunferencia} = \frac{L_{circunferencia}}{r} = \frac{2\pi r}{r} = 2\pi \text{ radianes}$$



Longitud del arco =  $\alpha \cdot \text{Radio}$

Figura 11. Dibujo explicativo de los radianes

**Recuerda**

Cada elemento de una obra tiene su unidad de medida adecuada; es muy importante decidir cuál será la unidad de medida y definirla antes de comenzar las mediciones.

**1.5.4 Transformaciones angulares**

En la mayoría de los casos hay que realizar unos sencillos cálculos para transformar las medidas angulares, ya que hoy en día se diseñan indistintamente instrumentos topográficos que trabajan en grados sexagesimales y centesimales, por lo que en la mayoría de los casos hay que relacionar trabajos realizados con instrumentos diferentes, incluso por personas distintas, lo que obliga con frecuencia a pasar de una a otra graduación.

Para pasar de **grados centesimales a sexagesimales** y viceversa basta realizar la siguiente regla de tres:

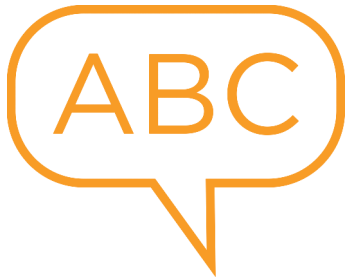
$$\frac{100^g}{90^0} = \frac{a^g}{a^0}$$



## RESUMEN

- Un mapa constituye una representación gráfica de una zona extensa de superficie terrestre sobre una superficie plana.
- En general se toma como meridiano de referencia el que pasa por el observatorio de Greenwich.
- Si para medir un elemento determinado de la obra se empieza a medir respecto a una unidad, es conveniente continuar con la misma unidad hasta el final de la medición del elemento.
- En obra civil, y dependiendo de los trabajos que se estén realizando, lo más usual es utilizar como medida de referencia el metro.
- Cada elemento de una obra tiene su unidad de medida adecuada; es muy importante decidir cuál será la unidad de medida y definirla antes de comenzar las mediciones.
- Es importante conocer y manejar fluidamente las transformaciones angulares tanto para la interpretación de documentos y planos como para la interpretación adecuada de las lecturas obtenidas de los aparatos topográficos.
- Los datos obtenidos en un levantamiento topográfico no son exactos, sino que tienen un grado de error.

- En los trabajos topográficos hay que tener especial cuidado con los errores sistemáticos, ya que en dichos trabajos son comunes las tareas que se suceden de forma concatenada y, al tener estos errores la misma causa, se pueden acumular hasta distorsionar enormemente el resultado final.



## TERMINOLOGÍA

### Cálculo de probabilidades:

Método para calcular o estimar la frecuencia con la que se obtiene un resultado.

### Elipsoide:

Se obtiene al deformar una esfera en la dirección de sus tres diámetros ortogonales.

### Empírico:

Basado en la experiencia.

### Escala:

Relación matemática que existe entre las dimensiones reales y las del dibujo que representa la realidad sobre un plano o un mapa.

### Levantamiento topográfico:

Consiste en llevar “el terreno al gabinete técnico” mediante la medición de puntos, su archivo y su posterior edición en el ordenador.

### Magnitud:

Propiedad que poseen todos los cuerpos que permite que puedan ser medidos.

### Magnitud angular:

Medida de ángulos.

**Magnitud lineal:**

Medida de distancias.

**Mapa:**

Representación gráfica de una porción de superficie del terreno.

**Método de mínimos cuadrados:**

Técnica matemática de análisis numérico utilizada para el cálculo avanzado de errores.

**Sistema Internacional de Unidades:**

Sistema unificado de unidades utilizado en casi todos los países, excepto en los anglosajones, como Estados Unidos y Gran Bretaña.