

## ***z*TEMA 3. EL PLANTEAMIENTO DE LOS TRABAJOS TOPOGRÁFICOS.**

### **3.1. PARAMETROS REPRESENTABLES Y OBSERVABLES.**

Los parámetros observables en topografía siempre son de dos tipos:

**Angulares:** Con un goniómetro se miden los ángulos horizontales, que normalmente se denominan H, y los ángulos verticales que se suelen anotar por V.

**Distancias:** se pueden medir tanto directa como indirectamente. En los trabajos de campo más habituales se miden indirectamente mediante distanciametría electrónica. De todas las distancias que se pueden calcular, la que se utiliza para el cálculo de las coordenadas es la distancia proyectada en el plano horizontal, que se denomina distancia reducida.

Los aparatos capaces de hacer todas estas mediciones se llaman taquímetros o estaciones totales y la gama varía según las necesidades del trabajo, la precisión, el precio...

Los parámetros representables son las coordenadas (X, Y, Z), por ello es fundamental obtenerlas en el sistema deseado a partir de lo que se observa en campo.

El sistema normalmente utilizado es el cartesiano, y las fórmulas para calcular las coordenadas están basadas en la trigonometría. Estas fórmulas dependerán del cuadrante cartesiano en que se encuentre el punto a calcular.

### **3.2. INFLUENCIA DE LA ESFERICIDAD TERRESTRE.**

Debido a la curvatura de la tierra se producen unos errores en las mediciones que son necesarios cuantificar y corregir.

#### **3.2.1. PLANIMETRÍA.**

Supuestos dos puntos (A, B) sobre la esfera local, al unirlos por su arco de círculo máximo y estableciendo como plano de comparación el tangente en el centro del mismo, la representación en planos acotados de A y B debería ser (a', b'). Sin embargo, al realizar el levantamiento, la plomada seguirá la dirección AO o bien la BO, por lo que se obtendrá realmente la representación de A y B en a y b. El error será pues aa' y bb'.

Si  $\alpha = 5'$ , supuesto el radio de la tierra  $R = 6.375$  kms., la cuerda tiene una longitud de aproximadamente 10 kms. y en este caso la diferencia entre el arco y la cuerda es inferior a 1 milímetro.

La longitud de 10 kms. coincide con la longitud media de la triangulación geodésica de tercer orden, que se resuelve como plano, y la discrepancia de 1 milímetro es suficiente para satisfacer cualquier exigencia de precisión.

Por otra parte, el alcance máximo de los instrumentos topográficos usuales es muy inferior al referido, y por tanto, cabe afirmar que no existe posibilidad de error en ninguna medida radial, a partir de un punto P cualquiera de la Tierra.

#### **3.2.2. ALTIMETRÍA.**

Sea A el punto de estación y B el punto donde se posiciona la mira, y se pretende calcular el desnivel entre A

y B. Sea O el centro de la Tierra, Ab la superficie de nivel que pasa por A, y la BbO la vertical de B, AO es la vertical en A. Si la Tierra fuese plana una visual horizontal desde A a B, cortaría a este en b'.

El desnivel si la Tierra fuese plana sería Bb', el desnivel real (Tierra esférica) valdrá Bb. Debido a esto, el error de esfericidad valdrá  $Ee = b'b = Bb - Bb'$ .

El ángulo cuando es pequeño se puede aproximar  $b'b$  a  $b'$ . En Topografía, se admite que en visuales inferiores en longitud al arco de 5' (lado 10 kms.) se puede realizar dicha aproximación.

En el triángulo rectángulo definido por OAb', se deduce:

$$(R+Ee)^2 = R^2 + D^2 \quad R + Ee + 2REe = R + D$$

El valor de Ee es tan pequeño que se puede despreciar, de forma que el error por esfericidad es:

$$Ee = D^2 / 2R$$

La corrección es siempre positiva, y sumada al desnivel calculado daría el desnivel buscado o verdadero, si no fuera por el efecto que produce la refracción, que es de signo contrario.

Esta corrección debe de tenerse en cuenta, ya que a partir de los 400 metros este error sobrepasa el centímetro y crece con la distancia, de modo que en distancias de 1 km. llega aproximadamente a los 8 centímetros.

### **3.3. ESCALAS.**

La escala es la razón de semejanza entre la representación y la realidad.

Las distancias que se representan a escala en el mapa no son las geométricas sino las reducidas; los ángulos que se reproducen, son los del plano horizontal, no los formados por los puntos en el espacio.

#### **3.3.1. ESCALA NUMÉRICA.**

Se escriben como el cociente entre la distancia entre dos puntos en el mapa, dividida por la distancia reducida entre los puntos correspondientes de la superficie terrestre.

El número que expresa el cociente, suele tener como numerador la unidad y el denominador ser múltiplo de 10, 100, 1000. Por ejemplo un mapa a escala 1/1000, quiere decir que 1 milímetro en el mapa equivale a 1 metro en el terreno.

#### **3.3.2. ESCALA GRÁFICA.**

De modo frecuente se suele acompañar el mapa con una escala gráfica que expresa la distancia en el terreno que corresponde a 1 mm, 1 cm, 1 metro..., del mapa.

Sobre una recta se marcan las longitudes, que representen las distancias reales designadas por las cifras que aparecen.

De este modo aunque no se disponga de un escañómetro se puede calcular directamente las distancias correspondientes en el terreno; otra ventaja es que al hacer reducciones o ampliaciones la escala también las sufre, de modo que la escala gráfica siempre representa la relación correcta entre el dibujo y el terreno.

### **3.4. LÍMITE DE PERCEPCIÓN VISUAL.**

Se admite que la vista humana normal puede alcanzar a percibir sobre un papel magnitudes de hasta 1/4 de milímetro con un error en la percepción no superior a 1/5 de milímetro.

De este hecho se deriva una conclusión de gran importancia en la práctica, y es la necesidad de no olvidar nunca en los trabajos de campo la escala a la que se trabaja, circunstancia sobre la que se llama la atención debido a que es un defecto en el que con frecuencia se incurre.

Así, si se trabajase a una escala de 1/25.000, los 0,2 milímetros de inevitable error vendrían representados en el terreno por 5 metros, de forma que todo aquello menor a 5 metros no sería necesario tomarlo.

Por ejemplo, una curva en la cual su flecha sea inferior a los 5 metros se puede considerar como recta a escala 1/25000. Si en cambio la escala fuese 1/2.000, la misma magnitud del plano correspondería a 40 centímetros en el terreno, y volviendo a analizar el ejemplo de la curva, ahora la flecha debería ser menor a 40 centímetros para considerarla recta.

Conclusión, el producto de 0,2 milímetros por el denominador de la escala nos da en todos los casos, la distancia en el terreno que resulta despreciable.

### **3.5. TOLERANCIAS.**

La tolerancia es la cantidad máxima de error que se puede cometer en la realización de un trabajo topográfico. El punto más desfavorable del trabajo no debe ser peor que el valor de la tolerancia.

La tolerancia está directamente relacionada con el límite de percepción visual, ya que suelen igualarse. La tolerancia va a ser la que nos plantee el trabajo, según la cual se decidirá el instrumental a utilizar, el método de observación, la hora de la toma de datos y los métodos de cálculo de gabinete.

Supongamos que nos encargan la realización de un mapa a escala 1/25.000, en el que la tolerancia es de 5 metros (límite de percepción visual). Cualquier detalle inferior a esta distancia no tendrá representación en el plano y por tanto no tendrá que tomarse. El instrumental topográfico no es necesario en este caso, que tenga una alta precisión y la compensación de los errores tampoco es necesario que disponga de un gran desarrollo matemático.

Sin embargo si nos encargan realizar un plano a escala 1/500, cuya tolerancia sea 10 cms., ya hay que tomar todos los detalles mayores de 10 cms., y para ello utilizar un método de observación en el que se anulen o minimicen los errores para que sean inferiores a esa cantidad, y utilizar un aparato que asegure una precisión mejor.

### **3.6. LA OBRA DESDE EL PUNTO DE VISTA TOPOGRÁFICO.**

Las obras pueden ser consecuencia de planificaciones de tipo muy diverso, desde la compleja tarea de la Ordenación de un Territorio, que lógicamente dependerá de autoridades políticas, hasta la simple iniciativa privada de construir un chalet. Desde el punto de vista geométrico las obras se dividen en ortogonales, curvilíneas o mixtas.

Desde el punto de vista funcional las obras se clasifican en:

Servicios: edificación en general.

Urbanismo: urbanizaciones, calles, saneamiento, abastecimiento de aguas.

Transportes de suministros: energía eléctrica, gasoductos, oleoductos.

Comunicaciones: infraestructuras y superestructuras de ferrocarriles, carreteras, puertos, teléfonos, puentes, túneles.

Aprovechamientos: canales, presas.

Agrícolas y forestales: regadíos, abancalamientos, reparcelaciones, desecaciones.

Mineros: extracción, prospección, canteras.

Industriales: fábricas.

Energéticos: centrales térmicas, nucleares, hidroeléctricas, petrolíferas.

Investigación: estudios geofísicos, geológicos....

### **3.7. RED BÁSICA DE REFERENCIACIÓN.**

En el levantamiento topográfico se precisan una serie de puntos de referencia que normalmente son los vértices de una poligonal o triangulación, de forma que durante la realización de las obras se utilizan reiteradamente como bases de replanteo o como referencias. Estos puntos deben reunir una serie de condiciones:

Estabilidad dimensional: que no varía de forma y tamaño.

Estabilidad del material: estar realizado con materiales resistentes a los agentes externos, tanto atmosféricos, como personas, animales o máquinas.

Estabilidad espacial: no variar de situación o posición absoluta en el espacio.

Con visibilidad, sobre la zona donde se encuentren los puntos a replantear y el resto de bases de replanteo.

Fácilmente localizable: de forma que pueda ser encontrado con rapidez.

Materializar de forma adecuada, fina, precisa e inequívoca.

Fácilmente estacionable.

Fácilmente observable.

### **3.8. DENSIFICACIÓN Y CONSERVACIÓN DE LA RED.**

Una vez observada y calculada la red básica, se puede densificar la red creando otras bases de replanteo y a partir de ellas, por radiación señalar todos los puntos que sean necesarios para que quede perfectamente definida la obra.

#### **3.8.1. SEÑALIZACIÓN.**

En función de las características del trabajo y de la importancia del punto su señalización varía.

Para los puntos radiados, que sirven para la visualización de la maquinaria y sobre los que no se estaciona, se suelen utilizar para su señalización estacas de madera debido a su bajo coste y simplicidad de implantación en el terreno. Si éstas se emplean para estacionar el instrumento sobre ellas, se señala la estación en medio de

ellas con un clavo.

Si el terreno es demasiado duro para meter una estaca, se recurre al empleo de clavos de acero.

Para los puntos que pertenecen a la red de observación y que tienen que tener una alta estabilidad suelen utilizarse los hitos, que están constituidos por bloques prismáticos de hormigón contruidos con encofrado in situ, o hitos prefabricados y colocados posteriormente en el terreno. En la cabeza de los hitos se pone un clavo o marca de perforación para referencia de punterías.

Para ciertos trabajos de gran precisión, en redes de apoyo para replanteo y control de deformaciones, es necesario implantar en el terreno señales con cabezas a base de distintos tipos de estacionamiento, como placas perforadas o placas de centrado forzoso, que van a eliminar el posible error de estacionamiento.

### **3.8.2. CONSERVACIÓN DE BASES PARA EL REPLANTEO.**

Toda nuestra labor de señalización puede resultar prácticamente inútil si no se tiene en cuenta dos aspectos muy importantes:

La materia constitutiva de la señal debe garantizar su durabilidad ante los agentes externos; sería absurdo colocar un clavo de hierro para una nivelación de alta precisión en el muelle de un puerto, pues al poco tiempo la humedad y el salitre marino atacarían el clavo por corrosión, perdiendo estabilidad dimensional.

La acción destructora de las personas, animales o vehículos, que pueden dañar de forma irreparable las señales: no se debe poner un punto de la red en un lugar de tránsito de vehiculos, que pueden pisar o machacar la señal.

### **3.9. LA TOMA DE DATOS: INSTRUMENTAL, MÉTODO Y TOLERANCIA.**

Como se apuntó al hablar de la tolerancia, ésta es la que va a marcar las pautas a seguir en la realización del trabajo, por ello la toma de datos está muy influenciada por la precisión.

Si se quiere hacer un estudio previo a la realización del proyecto, para tener un conocimiento somero de la zona, y no importa cometer un error grande para la escala en la que se pretende realizar el proyecto, es evidente que la toma de datos se simplificará mucho; en primer lugar porque el rigor de la observación no tiene que ser extremo y en segundo lugar porque muchos detalles se pueden suprimir. Sin embargo si en este estudio se quieren poner las bases de replanteo que posteriormente se usarán para replantear el proyecto, está claro que habrá que realizar una observación cuidadosa, incluso reiterada, con un instrumental adecuado y unos métodos apropiados de compensación.

### **3.10. COMPENSACIÓN DE LA RED BÁSICA.**

La compensación de la red se realiza una vez observada en campo dicha red, de forma que las coordenadas en gabinete deben cumplir una serie de condiciones geométricas; si no las cumplen se deben corregir.

Al realizar el cálculo de la red se comprueba la diferencia entre los valores observados y los reales y se verifica si cumplen las condiciones geométricas. En caso de haber errores, la compensación de los mismos se puede hacer de muchos modos; aquí se destacan los dos métodos más utilizados:

**a) Reparto proporcional:** se calcula el error y se divide por el número de segmentos o ángulos que acumulan ese error; con ello a cada uno se le corrige en su parte proporcional. Por ejemplo, si la distancia medida es mayor y difiera de la que debe de ser en 8 cm., hay que repartir el error en 4 ejes iguales. A cada eje se le ha de restar al valor medido 2 cms.

**b) Algoritmo de mínimos cuadrados:** se utiliza un algoritmo matemático en el que se consideran las mediciones realizadas como valores aproximados. Tras la compensación por este método se obtienen los valores compensados, que son los más probables.

### **3.11. PRECAUCIONES Y COMPROBACIONES DE LA RED.**

Ante la evidencia de que la bondad de un replanteo en su aspecto dimensional, depende de la red de apoyo desde donde se efectúa, es necesario conocer las características de la misma.

Cuando un técnico es encargado de efectuar un replanteo en campo, y para ello recibe una documentación de proyecto con los datos correspondientes a partir de una cierta red de apoyo, en teoría lo primero que tendría que hacer sería comprobar esa red de apoyo. La finalidad es evitar los posibles problemas que una inadecuada observación y cálculo de la misma, le pueda acarrear en un futuro. Por ejemplo, si nos suministran una red ya realizada (una poligonal), conviene revisar las distancias entre las bases y los ángulos que la conforman, para posteriormente calcular las coordenadas y comprobarlas con las suministradas; si están dentro de tolerancia (las calculadas por nosotros y las suministradas) se puede aceptar el conjunto de coordenadas del trabajo anterior

Otra forma de comprobar las coordenadas de un trabajo previo, es obtener las coordenadas de algún punto característico del plano a fin de comprobar la planimetría y altimetría del mismo.

Este chequeo no siempre es posible, ya sea por imperativos organizativos de obra o por falta de medios o tiempo. Por ello también se puede efectuar el chequeo por medios indirectos a partir de una comprobación interna entre puntos ya replanteados, o reiterando el replanteo desde varias bases de replanteo.

### **3.12. EL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO.**

Dependiendo de la superficie a levantar se utilizan varios sistemas; normalmente si el terreno es accidentado y amplio se realiza un levantamiento fotogramétrico, donde posteriormente se encaja el trazado de la obra a ejecutar.

El replanteo de la obra se realiza a través de las bases de poligonal y/o triangulación.

#### **3.12.1. PLANTA.**

La planta de un proyecto es la representación del mismo en un plano de referencia horizontal, donde el sistema de representación suele ser planos acotados.

La planta está definida por unas coordenadas planimétricas y unas altimétricas, referidas a cualquier sistema de coordenadas (estatales, municipales, locales o arbitrarias).

Sin embargo, normalmente se utilizan coordenadas U.T.M. y el plano de comparación altimétrico suele ser el nivel medio del mar en Alicante.

#### **3.12.2. ALZADO.**

Es la representación en el plano vertical del proyecto, en la cual se distinguen una serie de partes fundamentales:

La **traza** de un proyecto es el resultado de la intersección del terreno con los planos verticales determinados por su planta; las coordenadas planimétricas son las mismas que en la planta y las altimétricas también porque la traza está sobre el terreno.

La **rasante** es la línea ideal de un proyecto en el espacio; es la posición que un determinado eje de la obra ha de tener en el espacio una vez construida. La rasante se encuentra en el mismo plano vertical que contiene a la traza y la planta, por tanto las coordenadas planimétricas son las mismas pero la coordenada altimétrica varía.

La **cota roja** es la diferencia de altitud, cota u ordenada, entre la rasante y la traza; este valor puede ser positivo o negativo y en el primer caso es necesario un terraplén y en el segundo un desmonte.

El **ángulo de pendiente** es el ángulo de inclinación de la rasante con respecto a la horizontal.

### **3.12.3. PERFILES.**

Existen dos tipos de perfiles:

**Perfil longitudinal.** Es la representación gráfica del corte del terreno por el plano vertical determinado por la planta. Su finalidad es relacionar altiméricamente el terreno donde se ha replanteado la planta con la rasante proyectada.

Además del dibujo se suelen añadir unas acotaciones en la que se anotan las distancias parciales entre los puntos que determinan el perfil longitudinal, la cota roja, etc.; a ese conjunto de datos se les denomina guitarra.

Generalmente el dibujo se realiza utilizando dos escalas: en abscisas se ponen las distancias al origen y se mantiene la escala de la planta; y en ordenadas se ponen las cotas o altitudes y se suele realizar la escala de planta un cierto número de veces, normalmente 10, afin de poder conseguir una buena representación visual de la altimetría. Por tanto, la escala vertical es 10 veces la escala horizontal.

**Perfil transversal.** Para poder determinar las aristas de explanación de una obra y el movimiento de tierras resultante de su ejecución, se habrá de obtener perfiles del terreno normales al eje de la planta del proyecto.

Deberán ser trazados por cada uno de los puntos de la longitudinal de ese eje al cual están referidos.

Se obtienen los perfiles en la dirección normal al eje del proyecto, tomando todos los datos necesarios a cada lado del eje; su longitud será variable, rebasando siempre con un amplio margen de seguridad la anchura de la franja de terreno ocupada por la obra. Esta anchura está en función de la pendiente del terreno a ambos lados del eje y del tipo de taludes que las características del terreno exija. Por ejemplo, la anchura oscila de una longitud prácticamente nula en el caso de una zanja para una tubería de agua, hasta los 100 metros o más de una autopista.

Cuando la obra no es lineal, sino que es una superficie poligonal, como una factoría industrial, el proyecto se estudia por medio de diferentes perfiles longitudinales, a los cuales se trazan transversales convenientemente distribuidas a fin de cubrir toda la zona de acción de la obra.

La escala horizontal a la que suele dibujarse los perfiles transversales es la misma que la escala vertical, y normalmente se tiene el convenio de hacer coincidir la escala vertical del perfil longitudinal con la escala de los perfiles transversales. Escalas comúnmente empleadas en los perfiles transversales son: 1/500, 1/200, 1/100, incluso 1/50.

### **3.13. CUBICACIONES.**

La cubicación comprende aquellos cálculos necesarios para conocer el volumen en los movimientos de tierras. Generalmente las cubicaciones se calculan en metros cúbicos.

Los movimientos de tierras al realizar una excavación se denominan desmontes y a las tierras que se echan en el terreno se llama terraplén.

Los métodos utilizados normalmente para cubicar son:

### **3.13.1. CUBICACIÓN POR CURVAS DE NIVEL.**

Cuando se dispone de un plano topográfico con curvas de nivel de la zona donde y se quiere calcular el volumen de movimiento de tierras, se puede emplear este sistema. Se obtendrán unos valores aproximados dependiendo de la bondad del plano y de la equidistancia de las curvas de nivel.

La fórmula empleada es la siguiente: **Volumen =  $[(S + S') \cdot h] / 2$** , donde S y S' son las superficies delimitadas por curvas de nivel contiguas y h es la equidistancia entre las mismas.

Este método es poco exacto y se debe emplear sólo cuando se quieren calcular de forma aproximada y rápida grandes volúmenes, como en el caso de un embalse.

\* En desmontes los valores obtenidos son menores que en la realidad, puesto que entre curvas de nivel considera el terreno con pendiente uniforme, cuando en realidad no es así.

### **3.13.2. CUBICACIÓN POR PERFILES TRANSVERSALES.**

Se parte del perfil longitudinal en el cual se aprecia la cota roja (cota rasante menos cota terreno) y posteriormente se proyecta la caja del perfil transversal (carriles, arcenes y taludes).

Como norma general se denomina D a la superficie de desmonte, T a la superficie de terraplen y d a la distancia entre perfiles transversales. Se pueden presentar los siguientes casos:

**1. C. Entre 2 perfiles en terraplen: Volumen =  $[(T + T') \cdot d] / 2$ .**

**2. C. Entre 2 perfiles en desmonte: Volumen =  $[(D + D') \cdot d] / 2$ .**

**3. C. Entre 2 perfiles, uno en terraplen y el otro en desmonte: Volumen =  $[(T \cdot d1) + (D \cdot d2)] / 2$ .**

### **3.13.3. CUBICACIÓN POR CUADRÍCULA.**

En la zona donde se va a realizar la cubicación, se replantea previo al cálculo una cuadrícula materializándola mediante clavos o estacas; cada punto replanteado tendrá una nomenclatura: número la abcisa y letra la ordenada.

La distancia entre puntos replanteados será constante y si es una malla cuadrada, la distancia es la misma en abcisas y ordenadas.

Por tanto, se conoce la cota de cada punto de la malla replanteada y se sabe la cota de la rasante junto con la pendiente de los taludes.

Se puede aplicar la fórmula de altura media a cada uno de los troncos de prisma de base rectangular:

**Volumen =  $L^2 \cdot H_m$** , donde  **$H_m = (h_1 + h_2 + h_3 + h_4) / 4$**