



ALTIMETRÍA DE OBRAS

1. INTRODUCCIÓN: PLANTA, TRAZA Y RASANTE.....	3
2. PERFILES LONGITUDINALES, RASANTES Y PERFILES TRANSVERSALES.....	4
2.1. PERFILES LONGITUDINALES	4
2.2. RASANTES	5
2.2.1 <i>Cambios de rasante:</i>	6
2.3. PERFILES TRANSVERSALES	6
3. MOVIMIENTOS DE TIERRAS	7
3.1. SECCIÓN TIPO	7
3.2. CÁLCULO DE LOS MOVIMIENTOS DE TIERRAS.....	8
3.2.1 <i>Cubicación por perfiles transversales</i>	9
3.3. CUBICACIÓN POR CURVAS DE NIVEL	10
3.4. CUBICACIÓN POR CUADRÍCULA.....	10
4. MEDICION DE AREAS	11
4.1. MÉTODOS	11
4.1.1 <i>Por compensación de figuras geométricas</i>	11
4.1.2 <i>Mediante papel milimetrado o cuadriculado.</i>	11
4.1.3 <i>Medición de áreas con red de puntos</i>	12
4.1.4 <i>Métodos analíticos</i>	12
4.1.5 <i>Métodos geométricos o gráficos</i>	13
4.1.6 <i>Métodos mecánicos</i>	14
4.1.7 <i>Ejemplo:</i>	15

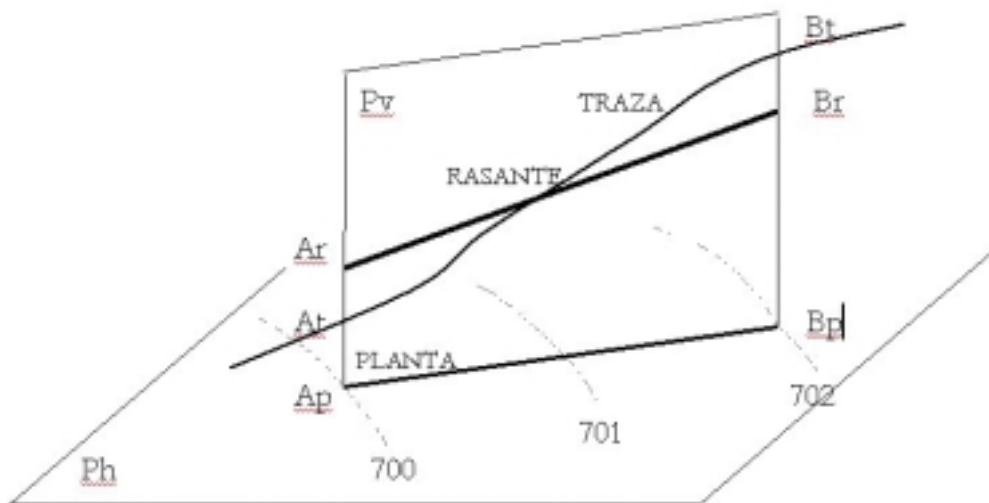
ALTIMETRÍA DE OBRAS

1. Introducción: planta, traza y rasante

Las operaciones a realizar en el replanteo planimétrico son:

- Elaborar el proyecto sobre la cartografía base.
- Calcular las coordenadas de los puntos principales.
- Relacionarlas con las de las bases de replanteo.
- Realizar el replanteo planimétrico.

El proyecto lineal de una carretera, además de tener una posición planimétrica, tiene unas cotas. Así se tiene:



Planta: es la representación del proyecto en un plano horizontal de referencia. Los puntos están definidos por sus tres coordenadas (X, Y, Z) en un sistema de coordenadas general o local.

Traza: es la intersección del terreno con los planos verticales que contienen a la planta del proyecto.

Rasante: es la línea ideal del proyecto en el espacio, la posición del eje de la carretera una vez construida ésta.

Fijándose en un punto A cualquiera se observa:

- Las coordenadas X e Y en la planta y en la traza coinciden.
- Las coordenadas X e Y en la traza coinciden con las de la rasante. La cota de la traza es diferente a la cota de la rasante.

Se denomina **cota roja** de un punto a la diferencia entre la cota que tiene en la rasante y la que tiene en la traza. Es decir, es la cota en el proyecto menos la cota en el terreno.

- Es el dato para llevar a cabo el replanteo altimétrico.
- La cota roja puede ser:
 - Positiva (por ejemplo en A): proyecto a mayor cota que el terreno \Rightarrow **terraplén** de tierras.
 - Negativa (por ejemplo en B): proyecto a menor cota que el terreno \Rightarrow **desmonte** de tierras.

Esquemáticamente los pasos que se siguen para calcular las cotas rojas de los puntos del proyecto son:

- Realizar el proyecto sobre la cartografía base: se proyecta la planta del proyecto.
- Replantear la planta: se obtiene la traza a lo largo del eje del proyecto (el perfil longitudinal del terreno).
- Sobre la traza se proyecta la altimetría de la obra (la rasante). Comparando cotas de rasante y de traza, se calculan las cotas rojas de los puntos secuenciales.
- Se realiza el replanteo altimétrico.

2. Perfiles longitudinales, rasantes y perfiles transversales

2.1. Perfiles longitudinales

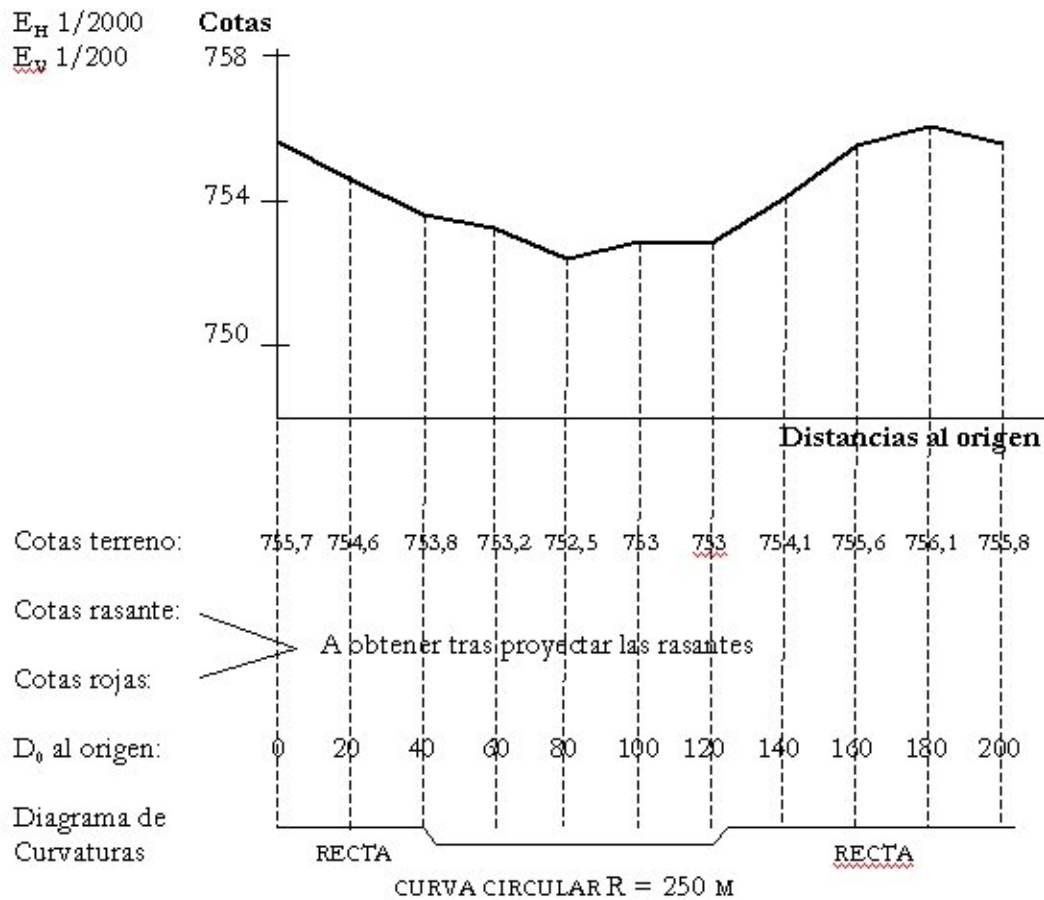
Un perfil longitudinal es un perfil topográfico a lo largo del eje de la planta, y por tanto es la intersección de la superficie topográfica con el plano vertical que contiene al eje de la planta.

El perfil longitudinal se utiliza para proyectar el alzado de la carretera. Se puede obtener a partir de la cartografía base (que tendrá las curvas de nivel), pero lo más preciso es obtenerlo después de realizar el replanteo del eje de la carretera. A la vez que se replantean los puntos secuenciales se toman sus cotas.

El perfil del terreno se representa en unos ejes cartesianos: en el eje X, las distancias reducidas, que son desarrollos desde el origen (punto kilométrico $Pk=0$) y en el eje Y las cotas.

En estos perfiles se utilizan diferentes escalas para el eje X y el eje Y: es muy normal que se exageren las cotas 10 veces, lo que se hace para mejorar la percepción del relieve.

Los datos que deben figurar en el perfil longitudinal son:



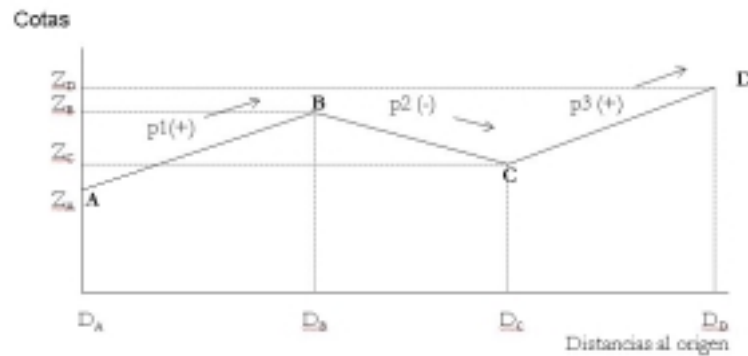
2.2. Rasantes

Se proyectan sobre el perfil longitudinal a lo largo del eje. Al igual que en el proyecto de la planta de la carretera, para el alzado se proyectan alineaciones rectas entre las cuales se encajan curvas de acuerdo vertical.

Las alineaciones rectas del alzado estarán definidas por dos puntos con una distancia al origen y una cota.

La inclinación de estas rectas se expresa en % (es su **pendiente**), siendo positiva cuando la rasante aumenta de cota en el sentido de la marcha y negativa cuando disminuye. Se suelen utilizar el término **rampa** para las pendientes positivas y el de **pendiente** para las negativas.

Ejemplo de proyecto de rasantes:



2.2.1 Cambios de rasante:

Un cambio de rasante es la intersección de dos rasantes con un valor de pendiente diferente. Existen cambios de rasante cóncavos (por ejemplo en C) y convexos (por ejemplo en B).

Para pasar de una rasante con una pendiente determinada a otra con una pendiente diferente se utilizan curvas de acuerdo vertical. La curva utilizada en los proyectos de carreteras es la parábola:



2.3. Perfiles transversales

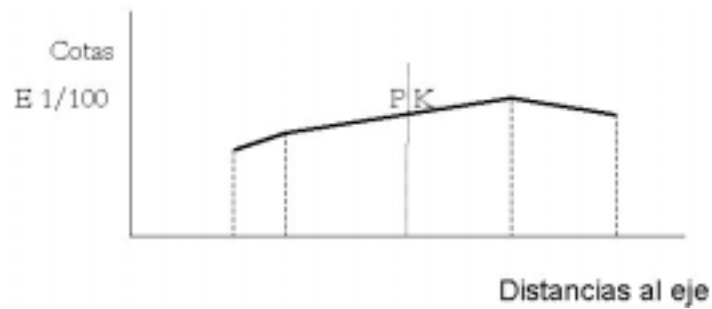
Son perfiles topográficos en direcciones perpendiculares al eje de la carretera por los puntos secuenciales. Se utilizan para calcular los movimientos de tierras y los bordes de la explanación de la carretera.

Los perfiles transversales se pueden obtener de forma aproximada a partir de la cartografía base. Pero lo más preciso es obtenerlos en campo una vez replanteado el eje. Actualmente:

- Levantando los puntos destacados de la dirección transversal donde hay cambios de pendiente y detalles planimétricos importantes, como pueden ser muros o vallas de fincas.
- Utilizando nivel (para determinar desniveles entre los puntos destacados de la dirección transversal y del eje) y estadimetría o cinta (para medir distancias reducidas entre los puntos y el eje).

El perfil transversal se representa en unos ejes cartesianos: en el eje X, las distancias reducidas al punto secuencial y en el eje Y las cotas. Se utilizan escalas iguales para los dos ejes porque la finalidad de estos perfiles es medir sobre ellos superficies.

Los datos que deben figurar en el perfil transversal son los siguientes:



El ancho del perfil transversal depende del ancho de la obra, de la pendiente del terreno y de las pendientes de desmonte y terraplén de la sección tipo.

3. Movimientos de tierras

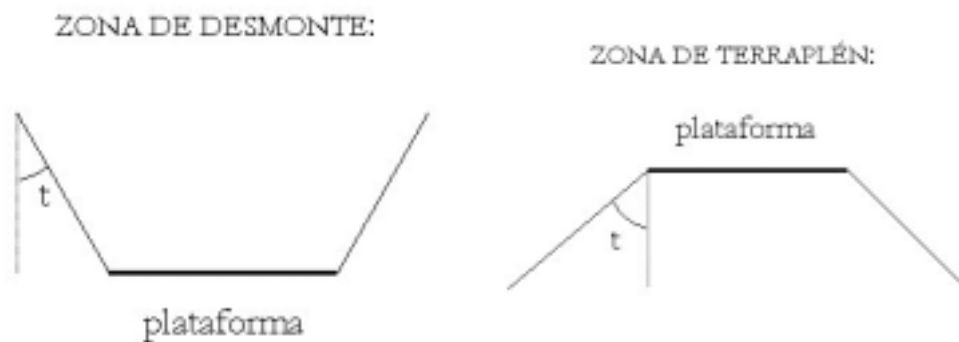
Suponen la determinación de los volúmenes de desmonte y de terraplén.

Se calculan a partir de los perfiles transversales, la sección tipo y las cotas rojas.

3.1. Sección tipo

Es la representación genérica de la sección de la carretera. La sección tipo es diferente en recta (con la pendiente de bombeo) y en curva (peraltada, con un peralte correspondiente al radio de la curva).

Ejemplos del esquema de la sección tipo en desmonte y terraplén en recta:



La plataforma es la calzada (zona destinada a la circulación de vehículos) y el arcén.

De los bordes de la plataforma parten unos planos con una pendiente determinada. La inclinación de esos planos se suele expresar con la tangente del ángulo t , el talud.

El talud depende del tipo de material existente en la zona donde se construye la carretera. Así son taludes comunes:

- En desmonte:

taludes 1/1 en tierras

taludes 1/3 en rocas

- En terraplén:

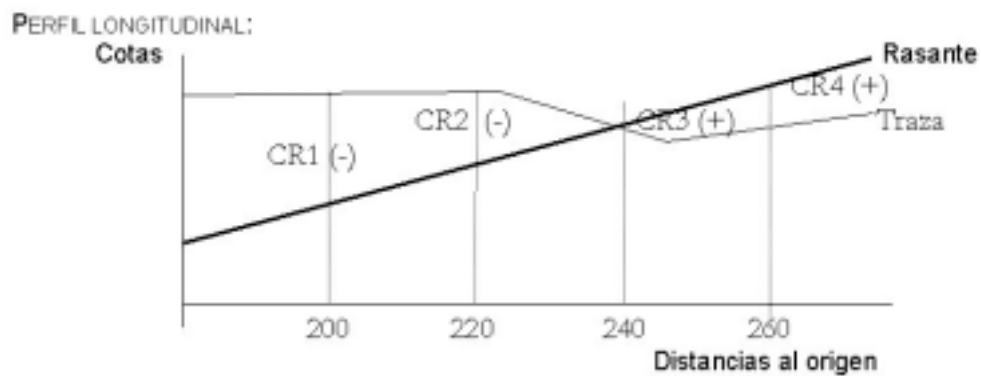
taludes 3/2 (es el talud natural en tierras)

taludes 2/1

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.

Se calculan a partir de los perfiles transversales, cajeando la sección tipo. Por ejemplo:



3.2. Cálculo de los movimientos de tierras

Los métodos utilizados normalmente para cubicar son:

3.2.1 Cubicación por perfiles transversales

Se parte del perfil longitudinal en el cual se aprecia la cota roja y 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 terraplén y d a la distancia reducida entre perfiles transversales. Se pueden presentar los siguientes casos:

<p>Perfil transversal 1 (PK 0 +200):</p>	<p>Volumen de tierras entre dos perfiles de desmonte:</p> $Vd = \frac{D_1 + D_2}{2} \cdot d$
<p>Perfil transversal 2 (PK 0 +220):</p>	<p>Volumen de tierras entre un perfil de desmonte y uno de terraplén:</p> $Vd = \frac{D_2^2}{D_2 + T_3} \cdot \frac{d}{2} ; \quad Vt = \frac{T_3^2}{D_2 + T_3} \cdot \frac{d}{2}$
<p>Perfil transversal 3 (PK 0 +240):</p>	<p>Volumen de tierras entre dos perfiles de terraplén:</p> $Vt = \frac{T_3 + T_4}{2} \cdot d$
<p>Perfil transversal 4 (PK 0 +260):</p>	

En las fórmulas D y T son las superficies que se obtienen en los perfiles tras cajear la sección tipo, y d es la distancia reducida entre perfiles consecutivos (es el desarrollo entre los PK).

El cajeo de la sección tipo sirve, además de para calcular volúmenes, para determinar las cabezas de desmonte y los pies de terraplén. Esos son los primeros puntos que se replantean, y desde ellos las máquinas van formando los planos de desmonte o de terraplén con la pendiente que tengan en la sección tipo del proyecto. Las estacas del eje desaparecerán, y se replantarán de nuevo cuando quede poca diferencia de cota respecto a la rasante.

3.3. *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:

$$\text{Volumen} = [(S + S') \cdot h] / 2$$

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.

3.4. *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 abscisa y letra la ordenada.

La distancia entre puntos replanteados será constante y si es una malla cuadrada, la distancia es la misma en abscisas 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:

$$\text{Volumen} = L^2 \cdot H_m$$

donde

$$H_m = (h_1 + h_2 + h_3 + h_4) / 4$$

4. Medición de áreas

Uno de los principales objetivos de los levantamientos topográficos es la determinación del área de las zonas o parcelas de terreno contenido dentro de ciertos límites o deslindes. La medición de áreas sobre mapas es indispensable en trabajos o proyectos de ingeniería. Dependiendo de la escala del mapa y del método o instrumento utilizado, será también la precisión del resultado obtenido.

Si los límites han sido dibujados en un plano a escala, el cálculo se reduce al uso de fórmulas geométricas. Existen métodos analíticos, gráficos y mecánicos.

4.1. Métodos

4.1.1 Por compensación de figuras geométricas

Consiste en descomponer la zona cuya área se desea calcular, en figuras geométricas regulares como cuadriláteros, triángulos, trapecios, etc. La figura geométrica más empleada es el triángulo.

Según la escala del mapa, se determinan las dimensiones de cada figura, se calcula el área y la suma de todas las áreas de las figuras es el área requerida.

Procedimiento:

- a) *Sobre una hoja de papel transparente se dibuja el perímetro del área que se quiere medir.*
- b) *Se divide el área por secciones adoptándolas a figuras geométricas regulares como triángulos, cuadriláteros y trapecios, etc.*
- c) *Se calcula el área de cada figura aplicando las fórmulas correspondientes.*

$$A1 = (b * h) / 2 \quad A2 = (b * h) / 2 \quad A3 = (b * h) / 2 \quad A4 = (b * h) / 2$$

$$A_t = A1 + A2 + A3 + A4$$

- d) *Según la escala del mapa, se hace la conversión de este resultado a su equivalente en el terreno.*

4.1.2 Mediante papel milimetrado o cuadriculado.

- a) *Sobre una hoja de papel transparente se dibuja el perímetro del área que se desea medir.*
- b) *Este papel transparente con el dibujo del perímetro se coloca sobre una hoja de papel cuadriculado y se cuentan los cuadros de 5 X 5 mm que quedan completamente dentro del perímetro del área a medir.*
- c) *Se cuentan los cuadros que quedan parcialmente sobre el perímetro y los resultantes que quedaron sobre el perímetro.*
- d) *Se calcula el área del terreno que representa un cuadrado de acuerdo con la escala.*
- e) *Se multiplica el valor de un cuadro por el número total de cuadros.*

4.1.3 Medición de áreas con red de puntos.

- a) *En una hoja de papel transparente se elabora una red de puntos con una separación que puede ser 0.5 ó 1 cm entre puntos.*
- b) *Esta red se coloca sobre el mapa y se cuentan los puntos que quedan dentro del perímetro.*
- c) *Se cuentan los puntos que quedaron sobre el perímetro del área y se dividen por 2.*
- d) *Se suman los puntos que quedan dentro del área y los que quedaron sobre el perímetro.*
- e) *De acuerdo a la escala del mapa, se calcula el área del terreno para un punto, de acuerdo a su separación, según sea 0.5 ó 1 cm.*
- f) *Se multiplica el valor de un punto por la suma de los puntos.*

4.1.4 Métodos analíticos

Generalmente estos métodos son usados para determinar superficies limitadas por un contorno poligonal o rectilíneo.

En general se aconseja dividir la superficie total en figuras parciales de superficies conocidas como triángulos, cuadrados, rectángulos, trapecios, etc. y además, es necesario calcular separadamente la superficie de cada una de las figuras.

Algunas fórmulas usadas para el cálculo de superficies:

$$a) \quad S = \frac{1}{2} ch_a = \frac{1}{2} bh_b = \frac{1}{2} ch_c$$

$$b) \quad S = \frac{a^2 \operatorname{sen} \beta \operatorname{sen} \delta}{2 \operatorname{sen} \alpha} = \frac{b^2 \operatorname{sen} \alpha \operatorname{sen} \delta}{2 \operatorname{sen} \beta} = \frac{c^2 \operatorname{sen} \alpha \operatorname{sen} \beta}{2 \operatorname{sen} \delta}$$

$$c) \quad S = 2 \cdot r^2 \operatorname{sen} \alpha \operatorname{sen} \beta \operatorname{sen} \delta$$

- r = radio del círculo inscrito al triángulo.

$$d) \quad S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}$$

- p: semiperímetro.

$$p = \frac{a+b+c}{2}$$

$$e) \quad S = m \cdot h$$

- h = altura de un trapecio
- a, b = lados paralelos de un trapecio

$$m = \frac{a+b}{2}$$

Cabe destacar que si se conocen las coordenadas de los vértices del contorno poligonal que limita una superficie, se puede calcular fácilmente dividiéndola en trapecios y desarrollando la siguiente expresión:

$$S = \frac{1}{2}[(x_2 - x_1)(y_2 - y_1) + (x_3 - x_2)(y_3 - y_2) + (x_4 - x_3)(y_4 - y_3) + (x_1 - x_4)(y_1 - y_4)]$$

4.1.5 Métodos geométricos o gráficos

Este método se emplea para superficies de contorno curvo.

Dividen la superficie total en una superficie de contorno poligonal S1 y en una superficie de corona S2, limitada hacia adentro por el contorno poligonal y hacia afuera por el contorno curvo. La superficie poligonal S1 se puede calcular mediante el método analítico, sin embargo, la superficie S2 corresponde a una superficie entre una línea recta y una curva. Para calcular S2 se divide esta superficie por líneas rectas perpendiculares a la base plana a una misma distancia. Para resolver el cálculo cada nueva superficie se asume como una figura geométrica. La más usada es la asimilación trapezoidal.

4.1.5.1 Asimilación trapezoidal

Los sucesivos valores de las superficies elementales son:

$$\Delta S_1 = \frac{1}{2}h(y_0 + y_1)$$

$$\Delta S_2 = \frac{1}{2}h(y_1 + y_2)$$

$$\Delta S_{n-1} = \frac{1}{2}h(y_{n-2} + y_{n-1})$$

$$\Delta S_n = \frac{1}{2}h(y_{n-1} + y_n)$$

$$S = \frac{1}{2}h(y_0 + 2y_1 + 2y_2 + \dots + 2y_{n-1} + y_n)$$

4.1.6 Métodos mecánicos

El planímetro es un instrumento que permite determinar las superficies dibujadas a escala, siguiendo su contorno con un índice unido al instrumento.

Este instrumento se compone de las siguientes partes:

- a) Una punta de acero llamada "**polo**", que se encuentra al término de uno de sus brazos que se clava sobre el plano del dibujo para inmovilizar el extremo del brazo.
- b) Un brazo trazador ajustable (**brazo polar**) que está en relación con la escala del mapa, y constituido por una barra metálica de longitud determinada por diseño.
- c) Un **brazo trazador**, de la misma naturaleza que el brazo polar. Un extremo del brazo se halla unido al brazo polar y el otro extremo posee una mirilla o un punzón trazador con el que se recorre el perímetro del área que se ha de medir, en el sentido de las agujas del reloj
- d) Una articulación simple que une ambos brazos en un punto común de ambos.
- e) Un **carro** que contiene la rueda o tambor que se apoya sobre el plano del dibujo y que, por rozamiento con este, gira al moverse el instrumento.

El planímetro funciona colocándolo sobre el papel en que está dibujado el plano con los contornos de la superficie por determinar. El polo se elige en forma adecuada y el punzón se ubica sobre un punto del contorno exterior de la superficie por determinar, en esta posición se cala en cero el dispositivo contador girando la rueda con la mano hasta lograrlo o se anota la lectura correspondiente a esa posición y se procede luego a recorrer todo el contorno en un determinado sentido hasta volver al punto de partida. Se observa luego la rueda y el contador y se lee el número de vueltas dado por la rueda. La superficie es ese número multiplicado por un coeficiente expresado en unidades de superficie.

Cuando se emplea la tabla de constantes que trae el planimetro, se gradúa el brazo trazador colocándolo en la posición correspondiente a la escala del mapa, se recorre el perímetro del área con la mirilla y se lee el valor de la superficie del terreno en el disco graduado del instrumento.

El área se calcula según la ecuación $A = K * L$

- A = área
- K = constante del planimetro según escala del mapa.
- L = lecturas del promedio con el planimetro, de la figura cuya área se desea conocer (adimensional).

4.1.7 Ejemplo:

Cuando no se usa la tabla y se desea calcular el área de un terreno sobre un mapa (por ej. a 1:1.000), se procede de la siguiente forma:

- a) Se coloca el brazo trazador en cualquier posición. Ejemplo 1:15*
- b) Se colocan el disco y el nonio del instrumento en cero y se recorre el perímetro de un área conocida, que puede ser un cuadrado de 1x1 cm y cuya superficie en el terreno, en escala 1:10.000 corresponde a un cuadrado de 100X100m y área de 10.000 m², la lectura para este cuadrado en el planimetro es de 0.1*

La constante será: $A = K \cdot L$ $K = A / L$

$$K = 10.000 \text{ m}^2 / 0.1 = 100.000 \text{ m}^2 = 10\text{Ha}$$

- c) Se colocan el disco y el nonio nuevamente en cero y se recorre el perímetro del área que se requiere medir, de la cual se harán 3 lecturas, que luego se promedian (ejemplo 0.65).*
- d) Finalmente el área se calcula a partir de la ecuación ya mencionada.*

$$A = K * L$$

Ejemplo: $A = 10 \text{ Ha} * (0.65) = 6.5 \text{ Ha}$.