

## TEMA 13: VOLUMETRÍA

### INTRODUCCIÓN

En este apartado nos centraremos en el cálculo de los volúmenes en movimiento de suelos para obras de ingeniería, que en cierta medida se centran en cálculo de volúmenes de desmonte y volúmenes de terraplén.

Dado que la superficie real en topografía se modela matemáticamente, se logra obtener un elemento geométrico, el cual puede ser desconocido o no. El volumen del sólido podrá deducirse a partir de su relación geométrica con otros sólidos conocidos.

El cálculo de volumetría es de utilidad en varios aspectos, por ejemplo, extracción de materiales de cantera, cálculo de materiales de aporte para nivelaciones de terrenos, cálculo de movimiento de suelos para extracción y aporte de material para suavización de curvas longitudinales en proyectos viales.

A continuación, se definen algunos conceptos:

**Cubicación:** Cálculos necesarios para conocer el volumen correspondiente al movimiento de tierra requerido para realizar la explanación de un terreno.

**Desmonte:** Movimiento de tierra que tiene como objetivo rebajar el nivel del terreno mediante la excavación (extracción de material).

**Terraplén:** Movimiento de tierra que tiene como objetivo el aporte de tierras para elevar el nivel del terreno (acopio de material).

Existen algunas variables intrínsecas al error de cubicación, por ejemplo; Errores asociados al levantamiento de la información (error de relevamiento, densidad del relevamiento, error de cálculo, error instrumental, error gráfico, etc.) Es importante que se analice previamente el trabajo a realizar, de modo de lograr definir el instrumental a utilizar, la metodología y densidad de puntos a relevar.

En explanaciones a realizar a media ladera se comete mayor error en la cuantificación de tierra que en explanaciones de desmonte o terraplén puras. Para minimizarlo, se debe aumentar el número de perfiles transversales.

La morfología del terreno influye en el error de cubicación, siendo este mayor cuanto en función del aumento de la rugosidad del terreno.

Existen varios métodos de cálculo de volúmenes, hoy en día, dado que se tiene a utilizar software de cálculo han quedado un poco en desuso, pero sirven para tener en cuenta la metodología de relevamiento a realizar.

### SECCIONES HORIZONTALES Ó CURVAS DE NIVEL

Este método se utiliza cuando el terreno del cual debemos calcular su volumen tiene forma de montículo o cubeta. Se utiliza a menudo para canteras, controlando una superficie inicial respecto de la superficie final.

Es un método de aplicación limitada debido a la forma característica que debe de tener el terreno, y la precisión obtenida vendrá en función de la equidistancia de las secciones, la densidad de los puntos relevados y en el cálculo del área de la curva de nivel.

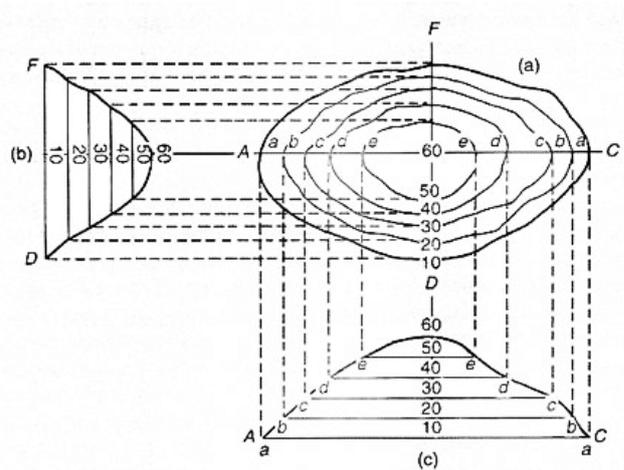
Fórmulas de cálculo:

Entre dos curvas de nivel consecutivos:

$$V = D \frac{(A_x + A_y)}{2}$$

Siendo:

- A x= Área de la curva de nivel "x"
- A y= Área de la curva de nivel "y"
- D = Equidistancia entre curvas de nivel



En general

$$V = \frac{D}{2} (A_1 + 2 \sum_{i=1}^{n-1} A_i + A_n)$$

Utilizando la fórmula del prismoide:

$$V = \frac{D}{6} (A_1 + 4M + A_2)$$

Siendo:

- A<sub>1</sub> = Área inicial
- A<sub>2</sub> = Área final
- D = Equidistancia entre sección inicial y final
- M = Área de la sección a media distancia entre sección inicial y final (no es el promedio de las áreas)

CUADRÍCULA

Este método se utiliza cuando el terreno del cual debemos calcular su volumen no tiene pendientes muy marcadas, sino que, por el contrario, se caracteriza por tener una forma suave, careciendo de grandes accidentes topográficos.

Se aplica a superficies relativamente pequeñas, debido a la laboriosidad que implica el procedimiento de relevamiento (demarcación de la cuadrícula, denominación inequívoca de los puntos relevados, etc.).

A mayor suavidad del terreno, mayor puede ser el lado de la cuadrícula. En contraposición, a mayores accidentes topográficos, menor será el lado de la cuadrícula utilizada.

Mediante una nivelación y refiriendo los valores a un punto de cota conocida o considerando un valor de referencia arbitrario, se definen las cotas de cada uno de los vértices de la cuadrícula.

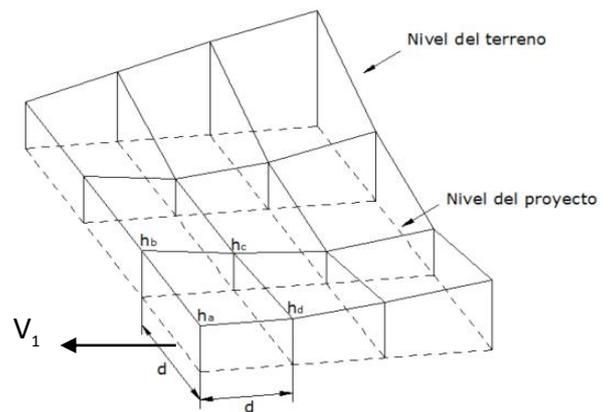
Comparándolas con las cotas del proyecto, se podrán calcular los volúmenes de tierra a Desmontar o Terraplenar.

Fórmulas de cálculo:

$$V_1 = d^2 \frac{(h_a + h_b + h_c + h_d)}{4}$$

Siendo:

- $h_i$  = altura de cada uno de los vértices de la unidad cuadrícula
- $d$  = lado de la cuadrícula
- $V_1$  = volumen del prisma correspondiente a la unidad cuadrícula.



$$V_{\text{Total}} = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

Siendo:

- $V_i$  = volumen del prisma correspondiente a cada unidad cuadrícula
- $V_{\text{TOTAL}}$  = volumen total calculado

$$V_{\text{Total}} = \frac{d^2}{4} (\sum h_1 + 2\sum h_2 + 3\sum h_3 + 4\sum h_4)$$

Siendo:

- $h_1$  = alturas que se utilizan una sola vez
- $h_2$  = alturas que se utilizan dos veces
- $h_3$  = alturas que se utilizan tres veces
- $h_4$  = alturas que se utilizan cuatro veces
- $d$  = lado de la cuadrícula
- $V_{\text{TOTAL}}$  = volumen total calculado

## PERFILES O SECCIONES TRANSVERSALES

Este método se utiliza comúnmente en obras lineales como vías de comunicación, excavaciones para tuberías, vías férreas, canales, etc.

Replanteado el eje de la obra, se levantan puntos de terreno correspondientes a los perfiles transversales (equidistantes entre sí) y al perfil longitudinal.

Comparando cada perfil relevado con el perfil del proyecto correspondiente a cada sección, obtenemos las áreas correspondientes al cálculo de volúmenes a desmontar o terraplenar.

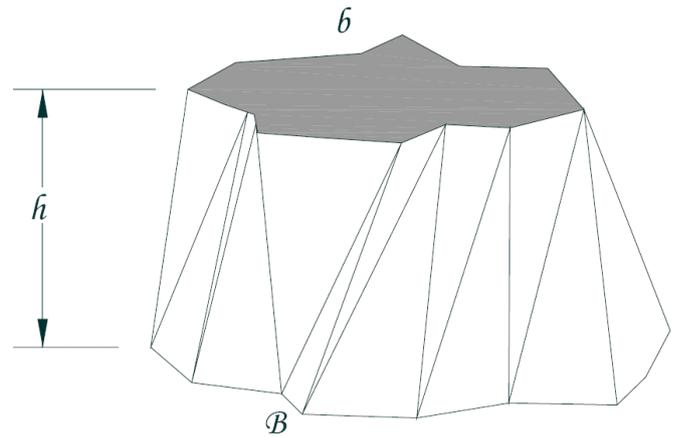
Este método de cálculo se basa en el cálculo de volúmenes del prismoide.

Un prismoide es un sólido limitado por dos caras planas y paralelas de forma cualquiera, llamadas bases, y por la superficie reglada engendrada por una recta que se apoya en ambas bases.

$$V_P = \frac{1}{2} h \cdot (S_B + S_b)$$

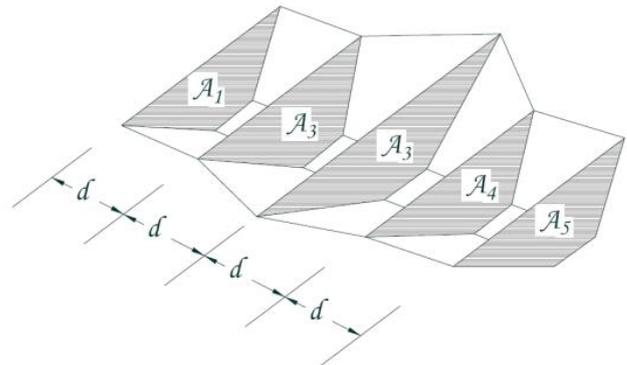
Siendo:

- $S_B$ = superficie de la base B
- $S_b$ = superficie de la base b
- $h$  = distancia entre las bases
- $V_P$ = volumen del prismoide



Fórmulas de cálculo:

Para el cálculo del volumen total del movimiento de tierra (VT), se calculan en principio el volumen de los prismoides que se forman entre cada par de perfiles transversales consecutivos ( $V_i$ ), como se muestra en la figura.



Volumen entre dos perfiles consecutivos

$$V_i = \frac{1}{2} d \cdot (A_i + A_{i+1})$$

Volumen Total (todo a desmontar o todo a terraplenar)

$$V_T = \frac{1}{2} d (A_1 + 2A_2 + 2A_3 + \dots + 2A_{n-1} + A_n)$$

Siendo:

- $A_i$ = superficie del perfil "i"
- $A_{i+1}$  = superficie del perfil "i+1"
- $d$  = distancia entre perfiles
- $V_i$ = volumen del prismoide definido entre perfiles consecutivos
- $V_T$ =volumen total correspondiente al movimiento de tierra

Este método de cálculo es válido cuando el volumen a calcular es todo a terraplenar o a desmontar. Cuando nos encontramos frente a una situación en donde el movimiento de volumen a realizar es mixto, el cálculo difiere.

Entonces:

- 1) Cuando ambos perfiles contienen terreno a desmontar (D – D):

$$V = \frac{(D_1 + D_2)}{2} * d$$

2) Cuando ambos perfiles contienen terreno a terraplenar (T – T):

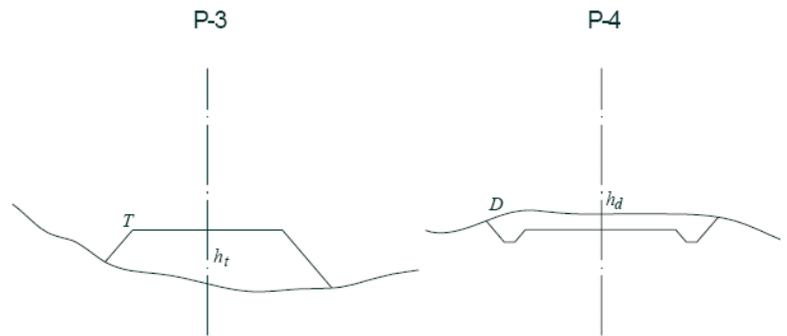
$$V = \frac{(T_1 + T_2)}{2} * d$$

3) Cuando uno de los perfiles es terreno a desmontar y el otro terraplenar (D – T):

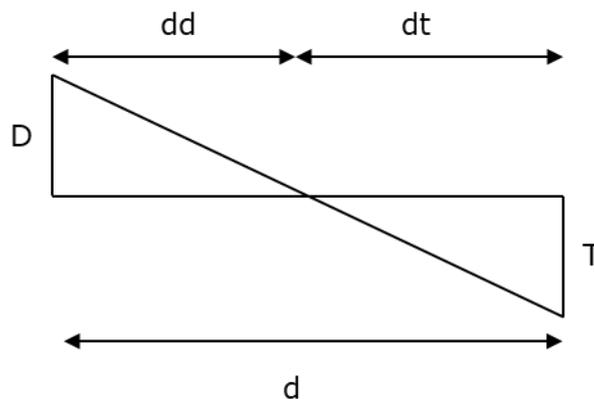
$$V_{Des} = \frac{D^2}{D+T} * \frac{d}{2} \quad V_{Terr} = \frac{T^2}{D+T} * \frac{d}{2}$$

Siendo:

- D<sub>i</sub>= superficie del perfil a desmontar
- T<sub>i</sub> = superficie del perfil a terraplenar
- d = distancia entre perfiles consecutivos
- V<sub>D</sub>= volumen total a desmontar
- V<sub>T</sub>= volumen total a terraplenar



Desarrollando:



Consideramos un perfil de área “D” el cual es necesario desmontar y un perfil de área “T” el cual es necesario terraplenar. Estos perfiles continuos se encuentran a una distancia “d” por lo que en algún punto el terreno natural coincide con el terreno proyecto. En la imagen, coinciden a una distancia “dd”. Por semejanza de triángulos tenemos que:

$$\frac{D}{dd} = \frac{D+T}{d} \Rightarrow dd = \frac{D}{D+T} \times d \quad y \quad \frac{T}{dt} = \frac{D+T}{d} \Rightarrow dt = \frac{T}{D+T} \times d$$

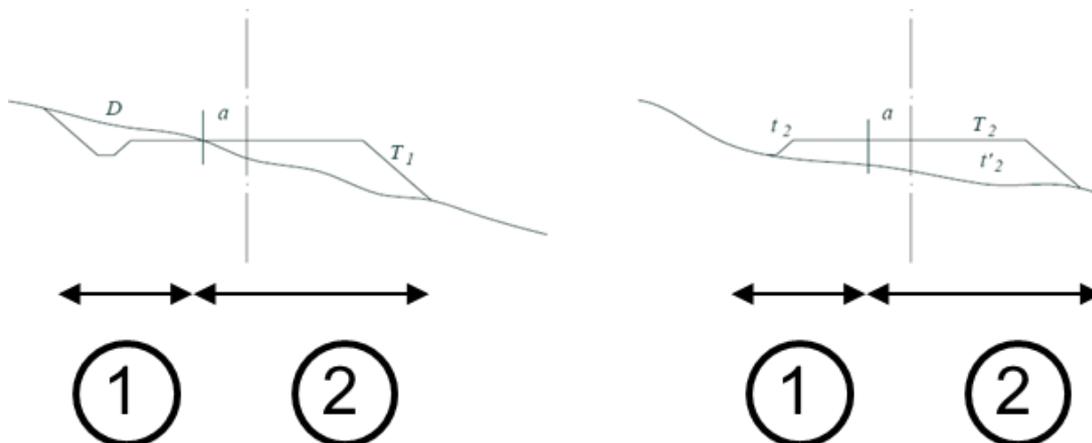
Entonces:

$$V_{Des} = \frac{D \times dd}{2} = \frac{D^2}{D+T} \times \frac{d}{2}$$

$$V_{Terr} = \frac{T \times dt}{2} = \frac{T^2}{D+T} \times \frac{d}{2}$$

- 4) Perfiles mixtos, son aquellos que contienen un área de desmonte y un área de terraplén en su sección.

Estas secciones se dan en situaciones de laderas, es necesario separar cada sección de manera tal que sea únicamente de un tipo, Desmonte o terraplén. Por lo que va a existir un punto en el cual el terreno natural coincide con el proyecto.



En el ejemplo de la imagen tenemos un perfil mixto, el cual se debe separar en una parte correspondiente a un cálculo de volumen de desmonte y terraplén (1) y una parte que corresponde a 2 secciones a terraplenar.

$$\begin{array}{l}
 \textcircled{1} \left\{ \begin{array}{l}
 V_{\text{TotD}} = \frac{D^2}{D+t_2} * \frac{d}{2} \\
 V_T = \frac{t_2^2}{D+t_2} * \frac{d}{2}
 \end{array} \right. \\
 \textcircled{2} \left\{ \begin{array}{l}
 V = \frac{(T_1+t'_2)}{2} * d \\
 V_{\text{TotT}} = \frac{t_2^2}{D+t_2} * \frac{d}{2} + (T_1+t'_2) * \frac{d}{2}
 \end{array} \right.
 \end{array}$$

Siendo:

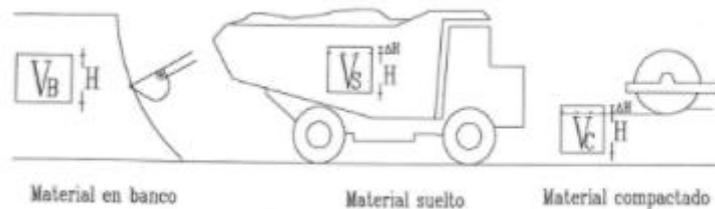
- a = distancia desde el eje hasta el punto de intersección del perfil del terreno con el plano de la rasante
- $T_2 = t_2 + t'_2$
- $D_i$  = superficie del perfil a desmontar
- $T_i$  = superficie del perfil a terraplenar
- d = distancia entre perfiles consecutivos
- $V_{\text{TotD}}$  = volumen total a desmontar
- $V_{\text{TotT}}$  = volumen total a terraplenar

## METODOLOGÍA PARA EL RELEVAMIENTO Y CÁLCULO DE VOLUMENES PARA MOVIMIENTOS DE TIERRA

- 1) Relevamiento inicial de terreno existente: Este relevamiento es la base para los cálculos que se realizarán, por lo que es necesario contar con un relevamiento ajustado al objetivo. Se debe tener en cuenta las precisiones requeridas, el periodo de tiempo que se realizarán tareas de movimiento de suelo en el lugar, tener claro el sistema de referencia planialtimétrico, etc.
- 2) Estudio de suelos mediante cateos (trabajo interdisciplinario): Dependiendo del tipo de trabajo que se realizará variará esta tarea, pero es necesario saber qué tipo de material se está extrayendo para calcular posteriormente el espacio real que estaba ocupando el material extraído. En los casos que se deposite material, puede suceder que se compacte un poco por el peso del material a depositar.
- 3) Descarte de capa vegetal: La capa vegetal es un material que no sirve para la estabilidad del suelo, esta puede variar de acuerdo a la época del año, por lo que es necesario descartar. Puede ser utilizada para revestimiento de un talud en una obra civil. En general se realiza un primer relevamiento, se descarta la capa vegetal y se vuelve a hacer un relevamiento "inicial" o incluso se hace el primer relevamiento luego de descartar la capa vegetal.
- 4) Implantación de proyecto civil/arquitectónico: Durante la implantación del proyecto se realizarán distintos relevamientos a modo de controlar los volúmenes extraídos o depositados en el proceso.
- 5) Cálculo **geométrico** de movimiento de suelos: Es necesario dejar claro el tipo de cálculo que se realiza, los cálculos presentados en los apartados anteriores corresponden al cálculo geométrico.
- 6) Aplicación de coeficientes de esponjamiento y compactación. Los materiales en el suelo sufren una compactación natural por el paso del tiempo que generan la falta de aire entre los poros; al realizar la extracción del material, este se airea aumentando su volumen (esponjamiento), para posteriormente, cuando se deposita en sitio se vuelve a compactar, quitándole el aire, y por lo tanto disminuyendo el volumen. Los cambios de volumen por esponjamiento y compactación dependen del tipo de material. Es por esto la importancia del estudio de suelos, a modo de poder calcular el coeficiente de esponjamiento y de compactación.
- 7) Relevamiento durante la obra: Estos relevamientos son importantes a modo de la realización de los pagos.
- 8) Relevamiento final

**Coefficientes de esponjamiento y contracción de diferentes materiales**

MATERIAL	ESPONJAMIENTO 1 + e (m <sup>3</sup> S)	CONTRACCIÓN 1 - e (m <sup>3</sup> C)
Arena y grava limpia seca	1,07 a 1,15	0,93 a 0,87
Tierra y grava limpia mojada	1,09 a 1,18	0,92 a 0,85
Capa vegetal	1,11 a 1,20	0,90 a 0,84
Tierra común	1,20	0,84
Marga arenosa	1,18	0,83
Marga arcillosa	1,25	0,80
Tierra margosa	1,20	0,84
Lodo	1,24 a 1,35	0,81 a 0,74
Arcilla con arena y grava	1,30 a 1,45	0,77 a 0,69
Arcilla blanda y friable densa	1,35 a 1,55	0,74 a 0,75
Arcilla dura y tenaz	1,42 a 1,50	0,70 a 0,67
Arcilla dura con piedras y raíces	1,62	0,62
Roca friable blanda	1,50 a 0,75	0,67 a 0,68
Roca dura muy partida	1,58	0,65
Roca dura partida con grandes trozos	1,98	0,50
Caliche	1,20	0,924



VOLUMENES APARENTES				
	EXCAVACION	CARGA	TRANSPORTE	COMPACTACION
EXCAVACION EN TIERRAS	 1,0 VOLUMEN APARENTE	CARGADA 	 1,20 a 1,30	VERTIDA    PISADA  1,10    1,0 RELLENOS    1,10    0,95 1,20    1,0
	EN BANCO 1,0 VOLADA 2,0 		 1,25 a 1,50	MACHAQUEO PRIMARIO TRITURACION  1,30 a 1,40 1,20 a 1,30

## BIBLIOGRAFIA

- Chueca Pazos, Manuel; Herráez Boquera José y Berné Valero José Luis: tratado de topografía 1- redes topográficas y locales. microgeodesia. editorial parainfo s.a. o dossat sa. Madrid.
- Chueca Pazos, Manuel; Herráez Boquera José y Berné Valero José Luis: tratado de topografía 2- métodos topográficos. editorial parainfo s.a. o dossat sa. Madrid.
- Jordan, W.: tratado general de topografía (ed. gilli). Dominguez Garcia Tejero, Francisco. topografía general y aplicada. (ed. dossat. Buenos Aires. 1984)