

1. CUBICACIONES

La cubicación del terreno es una de las mediciones fundamentales a obtener para presupuestar el coste de un proyecto, tanto si tenemos que desmontar parte del terreno como si tenemos que aportarlo.

Todos los programas informáticos para diseño en ingeniería disponen de herramientas para obtener estos cálculos de forma rápida y precisa. La rapidez se consigue con un modelo del terreno en formato digital y para la precisión sería indispensable la buena definición de nuestro MDE.

Con la utilización de ordenadores y los programas adecuados ganamos en rapidez pero los fundamentos para el cálculo de volúmenes son los ya empleados con anterioridad. Para el cálculo de movimientos de tierras intentaremos descomponer el volumen total a calcular en figuras geométricas más sencillas. Dependiendo de esta descomposición podemos hablar de los siguientes métodos:

- Curvas de Nivel o secciones horizontales.
- Cuadrículas o retículas.
- Perfiles transversales.

1.2):CURVAS DE NIVEL O SECCIONES HORIZONTALES

Si disponemos de un Modelo Digital de Elevaciones una de las formas de representar el relieve es con curvas de nivel. Este método se utiliza para calcular volúmenes aproximados teniendo en cuenta que el volumen que encierran dos curvas de nivel consecutivas se puede asemejar a troncos de cono, por supuesto irregulares.

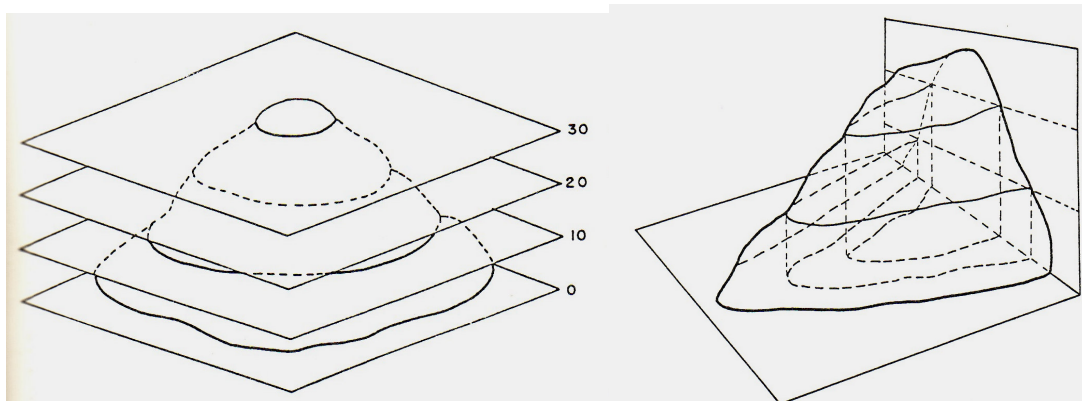


Fig. 1: curvas de nivel

Se opta por utilizar la fórmula de la sección media, en la cual las dos superficies ocupadas por cada curva de nivel, se multiplican la semisuma de estas por la altura del prisma, es decir, la equidistancia de las curvas de nivel.

Este método se utilizaba antes cuando no disponíamos de modelos digitales, pues resultaba sencillo calcular las superficies aproximadas de las curvas de nivel. Por supuesto, hay algunos programas que tienen la opción de calcular por éste método, ya que al tener la cartografía digital es ahora más sencillo calcular estas superficies. De cualquier modo, resulta absurdo utilizar una información extraída del MDE, como son las curvas de nivel, si podemos calcular igual de rápido sobre el propio MDE, como más adelante veremos.

1.2): CUADRÍCULAS O RETÍCULAS

Este método, utilizado tradicionalmente para calcular movimientos de tierra en abancalamientos del terreno, es el fundamento utilizado por los programas informáticos actuales para el cálculo de volúmenes por métodos directos.

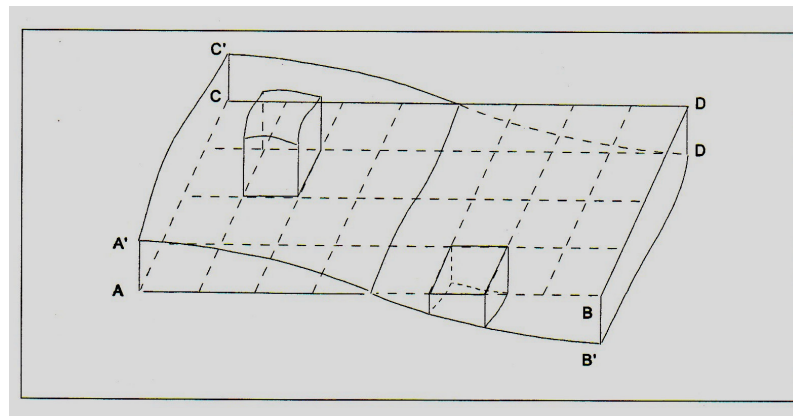


Fig. 2: vista en perspectiva de cuadrícula

Recordemos que partiendo de un plano de curvas de nivel el método consiste en establecer una retícula, normalmente cuadrada, simplificando así el cálculo de volumen total, el cual sería la suma del volumen de cada uno de los prismas generados por cada cuadrícula, tomando como altura de éste la media de las cuatro aristas que lo forman. Estas cotas se pueden obtener interpolando de las curvas de nivel.

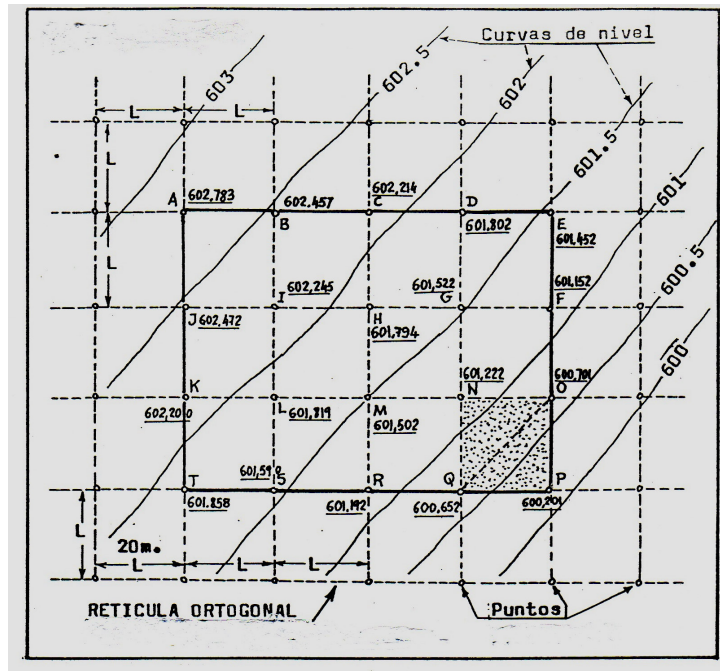


Fig . 3: Interpolación de cuadrícula

Tomando como ejemplo la cuadrícula sombreada de la imagen anterior, se obtienen las cotas de los cuatro vértices, interpolando en las curvas de nivel:

- N 601.222
- O 600.701
- P 600.201
- Q 600.652

En este ejemplo vamos a suponer que la rasante a obtener es un plano horizontal a la cota de 595 metros. Podemos ver en la siguiente perspectiva, que se nos tendremos tantos prismas como cuadrículas de 20 metros de lado hemos formado.

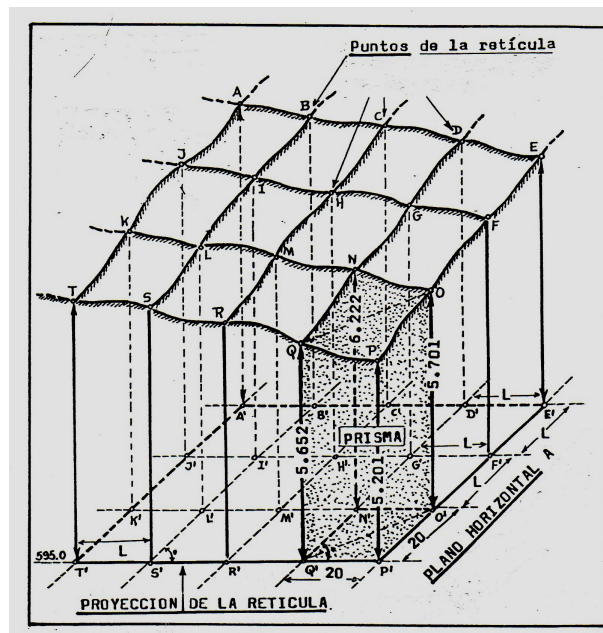


Fig. 4: Vista de prismas unitarios

Calcularíamos la Cota roja (diferencia de cota de la rasante con la del terreno),
obteniendo en este ejemplo:

- NN' 6.222
- OO' 5.701
- PP' 5.201
- QQ' 5.652

Así el volumen de este prisma sería:

$$V = 20 * 20 \frac{(NN' + OO' + PP' + QQ')}{4} = 2277.6 \text{ m}^3$$

1.3): PERFILES TRANSVERSALES

Es quizás el método más conocido y utilizado para calcular volúmenes, sobre todo para obras lineales, lo cual no quiere decir que no se pueda utilizar en obras puntuales. Partiremos en todo caso de un perfil longitudinal del terreno, obtenido de un plano de curvas de nivel y sobre él definiremos la rasante en que debe quedar éste después de la actuación proyectada. Sobre este perfil se obtienen perfiles transversales, perpendiculares al longitudinal , cajeadando en estos la superficie encerrada entre terreno y sección tipo.

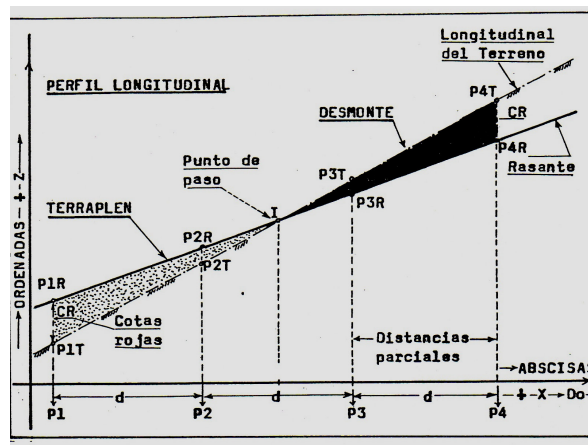


Fig. 5: Perfil longitudinal

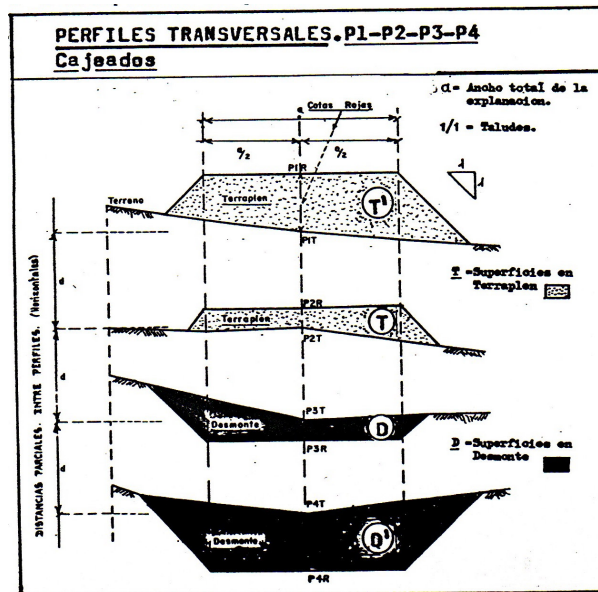


Fig. 6: Perfiles transversales

Así, calcularemos el volumen sin más que aplicar la fórmula de sección media entre sucesivos perfiles, los cuales descompondremos en superficies de terraplén y desmorte. En la imagen anterior tenemos un ejemplo de 4 perfiles tomados con una separación de 20 metros. El primer paso será obtener la superficie de cada perfil:

Superficie P1 = 25.3 m ²	de terraplén T'
Superficie P2 = 16.2 m ²	de terraplén T
Superficie P2 = 17.8 m ²	de desmorte D
Superficie P2 = 24.2 m ²	de desmorte D'

Cálculo de volumen entre P1 y P2:

Se forma un prisma con dos terraplenes luego $V = \frac{(T' + T) \cdot d}{2}$

$V = (25.3 + 16.2) / 2 \cdot 20 = 415 \text{ m}^3 \text{ de terraplén}$

Cálculo de volumen entre P2 y P3:

Se forma un prisma con desmorte y terraplen luego:

$$V_t = \frac{d}{2} \frac{T^2}{D+T}$$

$$V_d = \frac{d}{2} \frac{D^2}{D+T}$$

$V_t = 10 \cdot (16.2^2 / (16.2 + 17.8)) = 77.18 \text{ m}^3 \text{ de terraplén}$

$V_d = 10 \cdot (17.8^2 / (16.2 + 17.8)) = 93.18 \text{ m}^3 \text{ de desmorte}$

Cálculo de volumen entre P3 y P4:

Se forma un prisma con dos desmontes luego: $V = \frac{(D' + D) * d}{2}$

$V = (17.8 + 24.2) / 2 * 20 = 420 \text{ m}^3 \text{ de desmonte}$

Movimiento de Tierras Total

$V \text{ total} = 430+93.18-77.18-415 = 31 \text{ m}^3 \text{ positivos}$

Lo que significa que tenemos más desmonte que terraplén y por tanto un exceso de tierras de desmonte.

Hay casos en que un mismo perfil tiene varias superficies de desmonte y terraplén. Entonces es necesario descomponer los perfiles por las líneas de paso. En la siguiente figura vemos un ejemplo que esta resuelto a continuación, a falta de sustituir los datos de cada superficie.

$D1 = 10 \text{ m}^2$

$D2 = 8.5 \text{ m}^2$

$T1 = 13 \text{ m}^2$

$T2 = 12 \text{ m}^2$

$T1' = 16 \text{ m}^2$

$T2' = 19.5 \text{ m}^2$

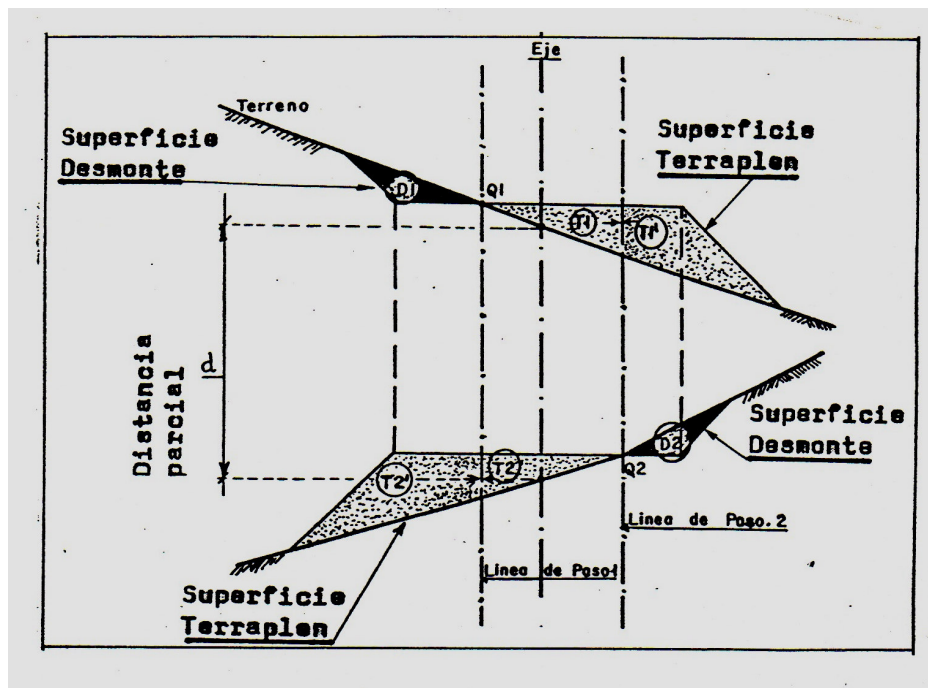


Fig. 7: Perfiles transversales con líneas de paso

$$\begin{array}{l}
 \left. \begin{array}{l} \text{Cinco} \\ \text{volúmenes} = \\ \text{parciales} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Volumen entre D1 y T2'} \\ \text{Volumen entre T1 y T2} \\ \text{Volumen entre T1' y D2} \end{array} \\
 \left. \begin{array}{l} \text{Volumen entre D1 y T2'} \\ \text{Volumen entre T1 y T2} \\ \text{Volumen entre T1' y D2} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \left\{ \begin{array}{l} \text{VD} = \frac{d}{2} \cdot \frac{D1^2}{D1 + T2'} \\ \text{VT} = \frac{d}{2} \cdot \frac{T2'^2}{D1 + T2'} \end{array} \right. \\ \left\{ \begin{array}{l} \text{VT} = \frac{T1 + T2}{2} \cdot d \\ \text{VT} = \frac{d}{2} \cdot \frac{T1'^2}{D2 + T1'} \\ \text{VD} = \frac{d}{2} \cdot \frac{D2^2}{D2 + T1'} \end{array} \right. \end{array}
 \end{array}$$

2): CUBICACIONES CON ORDENADOR

Los programas informáticos normalmente contemplan varios métodos de calculo de volúmenes, pudiendo elegir en cada caso el adecuado para el tipo de actuación proyectada. Eso si, independientemente del método a utilizar, todos tienen un punto común de partida, que es disponer de un Modelo Digital de Elevaciones.

En general, podemos hablar de **métodos directos** de cálculo de volumen cuando utilizamos las figuras geométricas generadas para obtener nuestro MDE. Recordemos que si hemos generado nuestro MDE por un **método regular** se suele utilizar una cuadrícula, por lo tanto, los prismas que nos sirven para definir el MDE que se ajustan al terreno van a servir también para calcular el volumen. El fundamento es el mismo que el descrito de retícula y la cubicación se tendrá que determinar entre el terreno y un plano horizontal, lo más usual, o entre dos modelos diferentes. En ambos casos se reduce el cálculo a determinar la diferencia de altura de cada prisma, es decir, la cota de roja de cada cuadrícula, calculando así fácilmente el volumen necesario. La precisión en el cálculo del volumen aumentará si disminuimos la dimensión de la retícula.

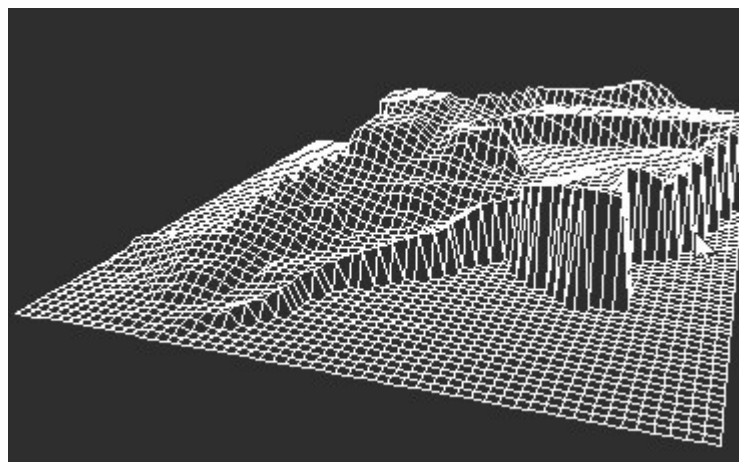


Fig. 8: Cuadrícula en perspectiva

Otro método directo es obtener el cálculo de volúmenes a partir de un **modelo TIN** utilizando la fórmula exacta de altura media de un prisma con base triangular. Recordemos que el TIN es una distribución irregular de triángulos que se ajusta al relieve del terreno.

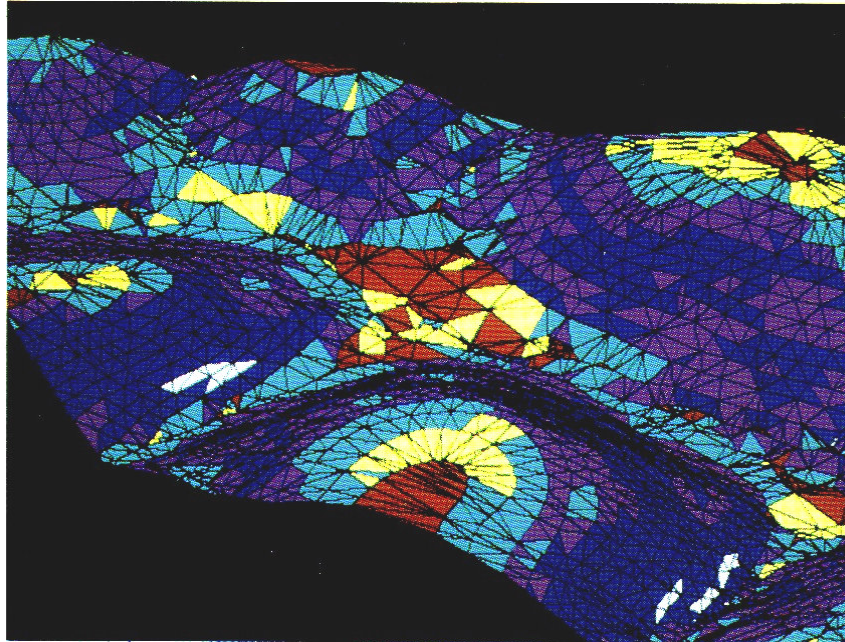


Fig. 9: Modelo TIN ajustado al relieve del terreno

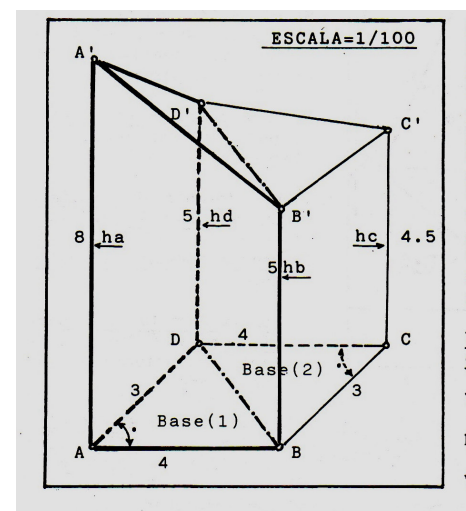
Podemos calcular el volumen entre el terreno y un plano horizontal sin más que sumar el volumen del conjunto de prismas que forman nuestra triangulación.

$$V1 = \text{Base } 1 * \frac{(ha+hb+hd)}{3}$$

$$V2 = \text{Base } 2 * \frac{(hc+hb+hd)}{3}$$

· “
· “
· “

$$V \text{ total} = V1 + v2 + \dots + Vn$$



Muchos programas utilizan ésta herramienta de volumen sobre un plano para obtener cubicaciones entre dos modelos diferentes. Pensemos, por ejemplo, en como determinar el volumen de movimientos de tierra efectuado en una cantera. Debemos de

partir de un MDE del estado inicial y periódicamente se tomarán nuevos datos del terreno, con la precaución de utilizar el mismo sistema de coordenadas. Así el último MDE obtenido nos reflejará la actuación efectuada en el terreno. La forma más efectiva de cuantificar la cubicación de tierras entre ambos instantes es realizar una cubicación parcial de cada modelo sobre un mismo plano horizontal.

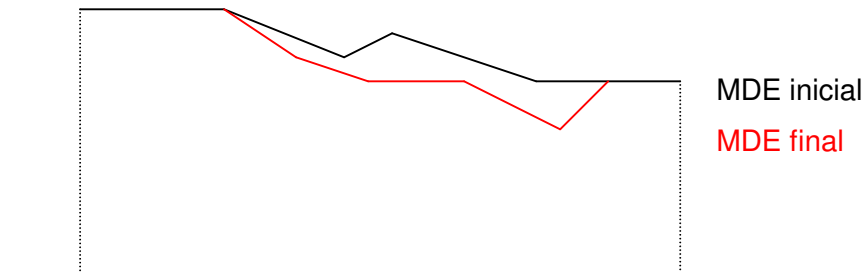


Fig. 10: Perfil de cubicación de modelos sobre un plano horizontal

Obtendremos como volumen de movimiento de tierras la diferencia ente el volumen del modelo inicial y el modelo final.

También se puede aplicar el mismo concepto para determinar la capacidad de un embalse o balsa sin más que utilizar una plano horizontal en primer lugar por debajo de la menor cota del embalse y posteriormente calcular de volumen del mismo MDE hasta la cota de coronación de este, es decir, calculamos el volumen hueco que es lo que nos interesa.

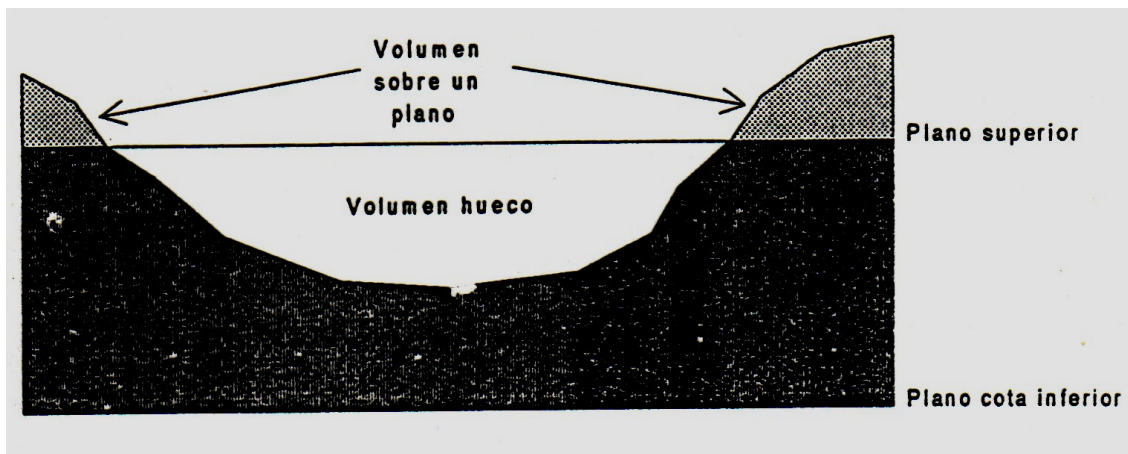
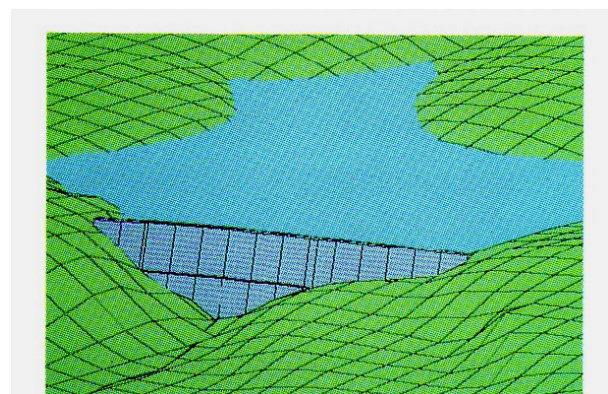


Fig. 11: Vista de volumen hueco para capacidad de un embalse



Como **método indirecto** tenemos los **perfiles transversales**. A diferencia de los anteriores los perfiles debemos de extraerlos o interpolarlos de los Modelos digitales. No utilizamos directamente los prismas que definen el MDE, sino que interpolamos sobre estos prismas las figuras geométricas que vamos a utilizar, en este caso, perfiles longitudinales y transversales. Esta extracción de información siempre produce una menor precisión en los cálculos pero, actualmente, todavía resulta difícil hacer entender a muchos técnicos que el cálculo de volúmenes de forma directa es más adecuado en la mayoría de actuaciones.

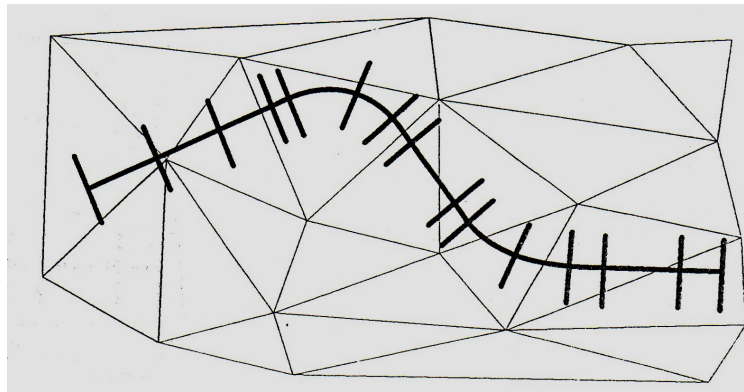


Fig.12: Interpolación de perfiles sobre modelo TIN

Si descartamos las grandes obras lineales, tales como carreteras y ferrocarriles ,donde este método es el más adecuado por la linealidad de la obra, podemos decir que el cálculo de volúmenes por métodos directos es el más preciso. No cabe duda de que acompañar un proyecto con los planos de perfiles longitudinales y transversales, utilizados para la cubicación, explica de forma clara y gráfica las figuras geométricas en que se ha descompuesto para el cálculo total, cosa que por los métodos directos es más difícil representar sino se conoce el proceso para generar el MDE.