

CONCEPTOS GENERALES SOBRE MOVIMIENTO DE TIERRAS

RAFAEL M.G. ESTEVE PARDAL
RAFAEL ESTEVE GONZALEZ

Todos los derechos reservados

© De esta edición:

ISBN: 978-84-691-4941-6

Depósito legal: SE-4321-2008

CÀLCULO DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS EN EDIFICACION

MOVIMIENTO DE TIERRAS, EN LAS OBRAS DE EDIFICACION

Definición, terminología y métodos

La cuestión

En la mayoría de los casos, a la hora de iniciar la construcción de un edificio, el primer paso que se plantea en esa interacción edificio-terreno, corresponde a una transformación geométrica del lugar de ubicación, que a veces es liviana y elemental, pero otras resulta de bastante consideración.



En la fotografía que aparece a la derecha, encontramos una explanada en la que se encuentra replanteado el cajeadado que se va a realizar para acometer la cimentación por losa que sustentará al edificio.

El técnico actuante, precisa evaluar el alcance de estas transformaciones fundamentalmente por una cuestión de una parte económica y de otra de tiempos. Es decir se precisa cuantificar estas, por una parte para actuar en la planificación de la obra y poder determinar los tiempos que se emplearan en la realización de la obra y de otra también fundamental, porque se precisa determinar el importe de estas transformaciones.

Estas transformaciones geométricas, pasan unas veces simplemente por la realización de desmontes o cajeados, otras precisan demoliciones y roturas de elementos existentes. Pero en definitiva el técnico aparte de conocer las características del terreno para determinar los costes y rendimientos, precisa conocer los volúmenes que desplaza, para una vez cuantificados proceder a la valoración de estas transformaciones.



Maquinarias

Es importante elegir la maquinaria idónea para obtener un rendimiento adecuado, precio y tiempo son los dos factores que mas inciden en la realización de cualquier obra.

Fundamentalmente son retroexcavadoras las maquinas mas utilizadas, pero palas, traillas, buldózer etc., tienen su aplicación en cada momento y circunstancia.

Terminología

Aunque el motivo fundamental de nuestro estudio, es el análisis de estas geometrías de transformación y consecuentemente la determinación de los volúmenes que afectan, entendemos importante detallar un glosario de terminología propia y que afecta a esta materia, asi tenemos los siguientes:

Frente de excavación: lateral por el que se inicia y avanza la excavación

Excavación en cajeados: excavación que se realiza por un ataque desde el plano superior, no tiene frente de ataque, predomina la superficie

Excavación en zanjas: excavación también realizada desde el plano superior, y en la que predomina la longitud

Excavación en pozos: excavación realizada desde el plano superior y en la que predomina la profundidad

Excavación a cielo abierto: excavación sobre superficie en la que al menos tiene un frente abierto a nivel del ataque de la maquina.

Perfil natural: volumen que corresponde a la geometría del terreno que se remueve.

Desmante: excavación con un frente de ataque, también se denomina excavación a cielo abierto.



Terraplén: aporte y depósito de tierras rellenando un determinado volumen

Tongadas: cada una de las capas que constituye un relleno de tierras

Terreno de tránsito: terreno de una mediana dureza

Terrenos duros: terreno cuya excavación se realiza con alguna resistencia



Terrenos blandos, limos, arenas: terreno cuya excavación se realiza con facilidad

Terreno esponjado: volumen que adquiere un terreno tras su excavación, el coeficiente de esponjamiento es la cifra por la que se multiplica el volumen de perfil real o natural, para determinar el volumen en el cual se transforma al removerlo durante la excavación, y que es el que se precisa transportar, este coeficiente es mayor cuanto mas duro es el terreno, y de forma orientativa se puede tomar 1.25 para los terrenos blandos, 1.35 para los de tránsito o duros, y 1.50 o 1.60 para las rocas, dependiendo de su mayor dureza y tipo de fractura.

Compactación: someter un terreno a una presión, pasadas de rulo, para que pierda los huecos interiores y alcance un mayor índice de densidad, como medida se utiliza el Índice Proctor en %, bien el normal (PN) o bien el modificado (PM)

Terreno compactado: volumen que adquiere un terreno de relleno, una vez que es compactado

Terreno removido: terreno suelto, depositado sobre el terreno, procedente de excavación, también se denomina Terreno disgregado.

Terreno entumecido: terreno que ha sufrido una disminución de volumen, por alguna acción exterior (compactación), o a veces el propio peso.

Terreno de rocas blandas: terreno en cuya excavación es preciso utilizar en alguna medida martillos rompedores, "pico pato", etc., en alguna proporción.



Terreno de rocas duras: terreno en el que es imprescindible utilizar martillos rompedores, explosivos u otras técnicas para romper las rocas, previamente a la excavación.

Terreno de préstamo: terreno que se adquiere de otro lugar, para realizar un relleno o terraplén

Canon de vertido: importe que hay que pagar en un vertedero por depositar tierras u otro tipo de residuos.

Canon de adquisición: importe que hay que pagar, como compra de tierras, en una cantera o desmonte, para realizar algún relleno o terraplén en otro lugar, caso que suele ocurrir con el terreno de préstamo.



Excavación en un terreno de roca blanda

MÉTODO DE PERFILES CONSECUTIVOS

Antes de analizar el método, comenzaremos por exponer conceptos y definiciones, y así tenemos los siguientes:

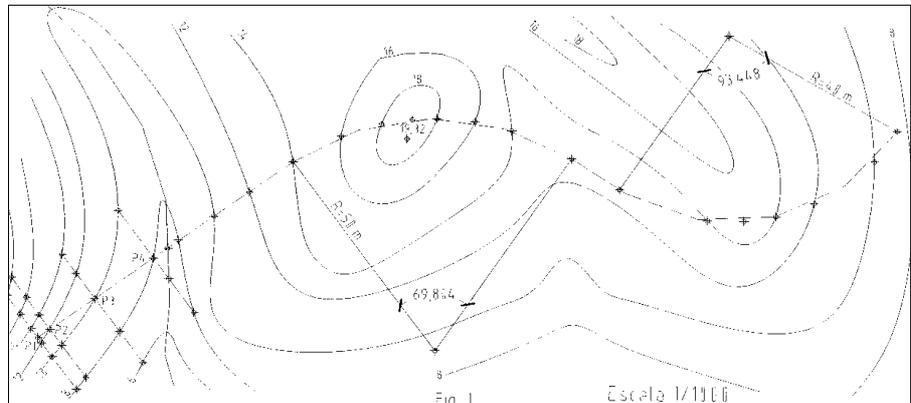
Perfil longitudinal, modelo oficial, planta, traza y rasante. Perfiles transversales

Definición.

Un perfil, es la sección producida sobre unas superficies topográficas por una o varias superficies verticales sucesivas. Estas superficies pueden ser planas (directriz recta) o cilíndricas (directriz curva: circular, clotoidal, etc...).

A la **proyección horizontal** de dichas superficies se les denomina alineaciones, todas las

alineaciones forman la **traza** del perfil y a la proyección vertical se le denomina propiamente perfil. El nombre de **rasante** se utiliza para definir la geometría de la obra que se realiza. Para dibujar dicha proyección

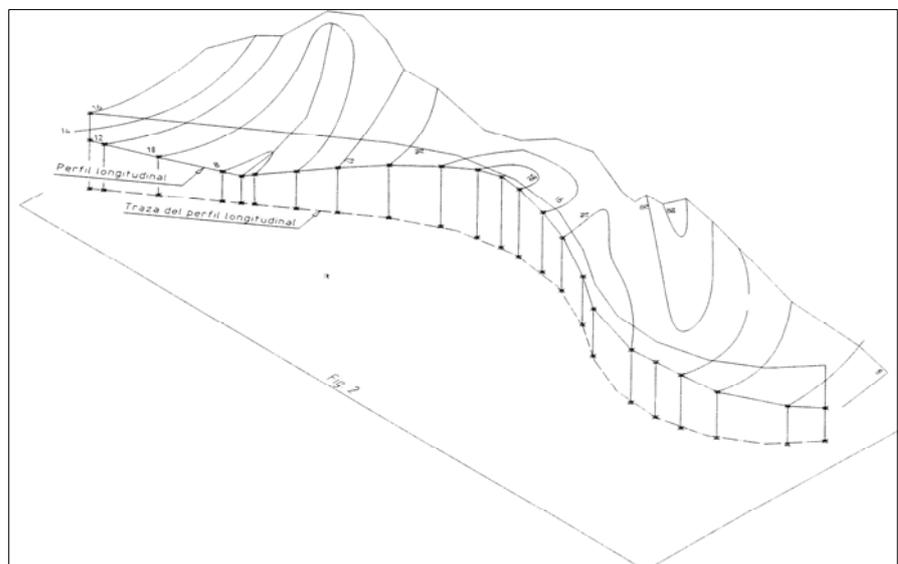


vertical es preciso girar y/o desarrollar todas las superficies que lo componen de forma que las longitudes se representen siempre en su verdadera magnitud. Tal como se representa en la fig. 1 y 2 siguientes

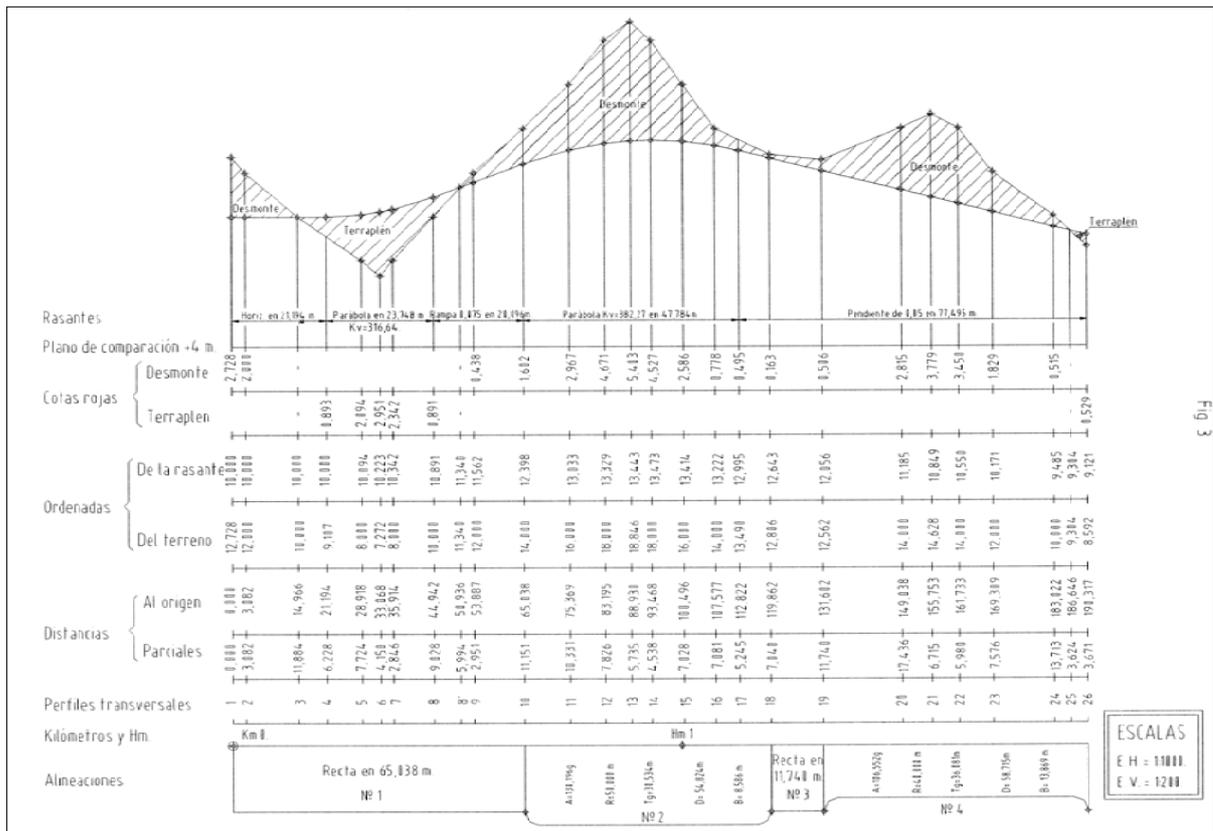
En el dibujo que anterior (Fig. 1), sobre un plano topográfico, aparece una traza de tramos sucesivos rectos y curvos, (R=50m amplitud 69.814 y R=40m amplitud 93.448)

Trazado de perfiles.

El trazado de un perfil pasa simplemente por marcar en planta su trazado y levantar verticales por los puntos de intersección de este trazado



con las curvas de nivel hasta interceptar los correspondientes planos de nivel (fig. 2). Es usual en perfiles longitudinales el representar a distinta escala (ordinariamente 10 veces de diferencia) el trazado horizontal y el vertical, ello es debido fundamentalmente al interés de obtener una representación gráfica más destacada o diferenciada. No ocurre lo mismo cuando se trata de perfiles transversales para la determinación de volúmenes o movimiento de tierras, en éstos se utiliza la misma escala en vertical y en horizontal a fin de evitar confusiones a la hora de medir sobre ellos y superficializar para hacer las cubicaciones.



En la figura anterior Fig. 3, aparece el perfil longitudinal que se plantea en las fig. 1 y 2

Tipos de perfiles.

Trazado de un perfil

Los tipos de perfiles que se pueden trazar son: longitudinales y transversales.

Los **perfiles longitudinales** son útiles para el proyecto de obras de desarrollo longitudinal como carreteras, caminos, viales, conducciones de agua, alcantarillado, líneas eléctricas, canales, ferrocarriles, etc Los datos contenidos en el perfil longitudinal son de gran importancia para determinar las rasantes de las obras proyectadas. Asimismo, su información es determinante para obtener los datos necesarios para el replanteo de este tipo de obras.

Los **perfiles transversales** se trazan generalmente perpendiculares o concéntricos a la traza del perfil longitudinal y se utilizan principalmente para la cubicación del movimiento de tierras en obras de desarrollo lineal.

Perfiles longitudinales.

Como hemos definido anteriormente el perfil longitudinal de un terreno es la sección producida en éste por una serie de superficies verticales que siguen la trayectoria del eje de una obra de desarrollo longitudinal. Estos perfiles constan generalmente de dos partes :los **datos** y la **parte gráfica**.

Datos reseñados en un perfil longitudinal.

Los datos referentes a los puntos que determinan el perfil se dan en la parte inferior del mismo, en la denominada "**guitarra**".

Los datos que reseñamos en la guitarra (ver fig. 3) son los siguientes: Alineaciones, Kilómetros y Hectómetros, Perfiles transversales, Distancias: parciales y al origen, Ordenadas: del terreno y de la rasante, Cotas rojas: de desmonte y de terraplén, Plano de comparación y Rasantes.

Pasamos a continuación a describir cada uno de los apartados anteriores:

A.- ALINEACIONES.

Se indican en este apartado las diferentes alineaciones que forman la planta del perfil. En el caso de **alineaciones rectas** se indica el rótulo " Recta en ??? m.", siendo ??? la longitud del tramo. Si la **alineación** es **circular** se indican los datos de la misma, a saber:

- * Ángulo (β) en grados centesimales entre las alineaciones de entrada y salida (dicho ángulo suma con el ángulo central (α) 200g).
- * Radio de la curva en metros.
- * Tangente de la curva. $T = R \cdot \text{tg} (\alpha/2)$.
- * Desarrollo de la curva. $D = 2\pi R \alpha/400$.
- * Bisectriz. $B = R (1/\cos \alpha - 1)$.

Si la alineación es una clotoide se indicarán los datos de la misma, como el parámetro y la longitud.

B.- KILÓMETROS y HECTÓMETROS.

Se indica cada 100 m. el hectómetro correspondiente desde el origen del perfil y cada 1000m. el Km. que corresponda, por ej. Km 0, Km. 1, Hm 5, Hm 14, etc...

Es corriente en planos de carreteras que los Km. y Hm. se indiquen poniendo el Km. + los metros correspondientes, por ej. 4+200 que significa que desde el origen del perfil han transcurrido 4 Km. y 200 m. En estos casos, esta designación se emplea también para nombrar los perfiles transversales.

C.- PERFILES TRANSVERSALES.

Se indica en este apartado el número del perfil transversal que posteriormente se levantará, se tendrá en cuenta que habrá un perfil en cada punto que se tome para levantar el perfil (corte con las curvas de nivel, puntos tomados en la nivelación, puntos característicos del perfil como las cotas máximas y mínimas de divisorias y vaguadas, inicios y cambios de rasante, y con posterioridad, por los puntos de paso del mismo). La designación de estos perfiles se hace con números correlativos, excepto los correspondientes a los puntos de paso que se hacen con posterioridad y se designa con el mismo número que el perfil anterior y un apóstrofe, por ej. si un punto de paso está entre el perfil 5 y 6 se le pone 5'. Según lo indicado en el apartado anterior, es corriente en los planos de carreteras indicar el perfil transversal por su distancia al origen del perfil, por ej. 1+425 que significa que el perfil es el situado a 1425 m. del inicio del mismo.

D.- DISTANCIAS PARCIALES.

Se indican en este apartado las distancias existentes entre un perfil y el inmediato anterior. Estas distancias se toman directamente del plano si partimos de un plano con curvas de nivel o las tomamos directamente en el campo si partimos del estaquillado de la traza y posterior nivelación.

E.- DISTANCIAS AL ORIGEN.

En este apartado ponemos las distancias desde el transversal correspondiente al origen del perfil. Por supuesto, la distancia al origen de un perfil es la distancia al origen del anterior más la distancia parcial entre ellos.

F.- ORDENADAS DEL TERRENO.

Indicamos en este apartado las cotas o alturas de cada punto que forma el perfil. Estas cotas las tomamos del plano de curvas de nivel (directamente o interpolando), o en su caso, de la libreta de nivelación correspondiente.

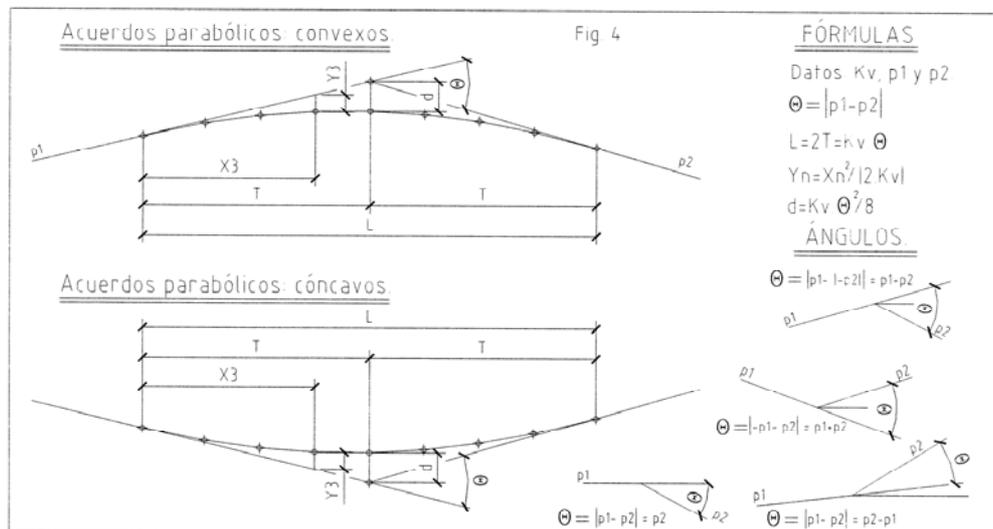
G.- ORDENADAS DE LA RASANTE .

Se colocan las cotas o alturas correspondientes a la obra terminada, aunque en algunos casos se puede indicar cotas que correspondan a pasos intermedios en la ejecución como cotas de explanación, sub-base, base, etc... Tenemos que indicar en este apartado que las rasantes pueden ser **rectilíneas o curvilíneas**

* Las **rasantes rectilíneas**, como se indicó en apartados anteriores, **pueden ser rampas** (cuando sube en el sentido del perfil), **pendientes** (cuando baja en el sentido del perfil) **u horizontales** (cuando las cotas permanecen constantes). Los datos necesarios para el cálculo de las cotas de la rasante son: la cota de dos puntos de la misma, o bien, la cota de un punto y la inclinación correspondiente. Debemos recordar que, la cota de un punto "B" situado en una línea con una inclinación "p" en tanto por uno y que parte de un punto "A" es: $Z_B = Z_A \pm p \cdot \text{dist A-B}$; siendo el signo + si es rampa y - si es pendiente.

* Las **rasantes curvilíneas** pueden ser circulares o parabólicas, siendo estas últimas las más corrientes. Para el **acuerdo circular** entre dos alineaciones ver tema 6; también se puede hacer gráficamente con un programa de CAD y tomar las ordenadas correspondientes.

Téngase en cuenta, que la reciente aparición de programas de diseño asistido nos permiten trabajar gráficamente con una precisión absoluta, rompiendo la vieja creencia de que los métodos gráficos son inexactos.



- En cuanto a **los acuerdos parabólicos** tenemos que indicar que se utilizan con más asiduidad por su comodidad, ya que su curvatura aumenta proporcionalmente a la distancia recorrida y no se produce el cambio brusco de las curvas circulares, en las cuales se pasa inmediatamente de una alineación recta ($R = \infty$) al radio de la curva. Se trata pues de trazar una curva parabólica que sea tangente a las dos rasantes, el tamaño de dicha curva depende del parámetro K_v de la misma (equivalente al radio en las curvas circulares) que es el radio de curvatura en el vértice de la parábola. Existen muchos tipos de acuerdos parabólicos (simétricos, asimétricos, etc...) de los cuales nosotros emplearemos el recomendado por la normativa de carreteras del MOPU, que es una parábola asimétrica de tangentes iguales desde el vértice de la misma.

Las fórmulas que emplearemos son las siguientes (Ver fig. 4):

* Longitud del acuerdo $L = 2T = K_v \cdot \theta$

* Distancia vertical de un punto a la alineación tangente $Y_n = X_n^2 / 2 \cdot K_v$

* Bisectriz del acuerdo $d = K_v \cdot \theta^2 / 8$;

siendo:

T = Tangente (distancia horizontal desde el punto de tangencia al vértice)

K_v = Parámetro de la parábola.

θ = Ángulo entre las rasantes de entrada y salida.

H.- COTAS ROJAS DE TERRAPLÉN .

Se indica aquí la altura de relleno que hay que realizar para conseguir la cota de la rasante, se produce cuando la ordenada de la rasante es mayor que la del terreno.

Por tanto *Cota roja de terraplén = Ordenada de la rasante - Ordenada del terreno.*

H.- COTAS ROJAS DE DESMONTE .

Indicamos la altura de terreno que debemos quitar para conseguir la cota de la rasante, se produce cuando la ordenada de la rasante es menor que la del terreno.

Por tanto, *Cota roja de desmonte = ordenada del terreno - ordenada de la rasante.*

Por supuesto si existe en un perfil desmonte no puede existir terraplén, salvo en el caso de los puntos de paso donde no existe ni desmonte ni terraplén.

I.- PLANO DE COMPARACIÓN.

Es la cota de referencia que tomamos para representar gráficamente el perfil en el caso de que las ordenadas del terreno y de la rasante difieran mucho del plano de referencia (cota 0) y no cupiese la representación a una escala vertical aceptable.

J.- RASANTES.

Indicamos por medio de una línea de cota las distintas rasantes que conforman el perfil, indicando lo siguiente:

En el caso de rasantes rectilíneas si es pendiente, rampa u horizontal, el valor de la inclinación en tanto por uno y su longitud.

Si la rasante es curva indicaremos la naturaleza de la curva, el radio o parámetro en su caso y la longitud de la misma.

PUNTOS DE PASO. (Ver fig. 5)

Los puntos de paso son aquellos puntos del perfil donde coincide el terreno y la rasante, por tanto, su cota roja es nula. En estos puntos es conveniente hacer coincidir un perfil transversal, pero se hará después de calcular los datos puesto que a priori no conocemos donde se situará el mismo. A este respecto debemos indicar que la distancia de este perfil de paso al anterior y posterior es proporcional a las cotas rojas de estos perfiles.

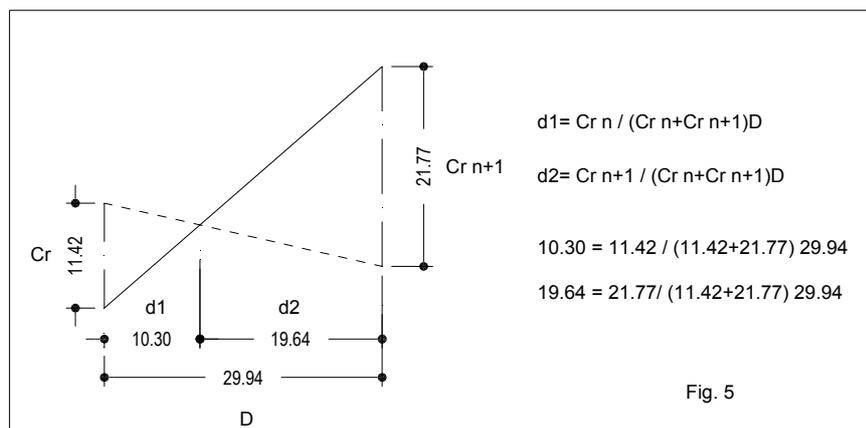
Así, llamando D = distancia entre el perfil anterior y posterior al punto de paso.

Cr_n = Cota roja del perfil anterior.

Cr_{n+1} = Cota roja del perfil posterior.

d_1 = distancia del perfil anterior al punto de paso = $Cr_n / (Cr_n + Cr_{n+1}) * D$.

d_2 = distancia del perfil posterior al punto de paso = $Cr_{n+1} / (Cr_n + Cr_{n+1}) * D$.



Parte gráfica de un perfil longitudinal.

La representación gráfica consta generalmente de dos partes: **terreno y rasante**.

El terreno es la representación gráfica en proyección vertical de la sección producida en el terreno por las superficies que lo definen, previo giro y/o desarrollo de las mismas tal como se indicó anteriormente. Los datos de partida para dibujar el perfil pueden ser un plano con curvas de nivel de la zona, o bien las cotas y distancias obtenidas por nivelación (trigonométrica o geométrica según la precisión requerida) de una serie de puntos característicos de la traza del perfil. Generalmente en la fase de proyecto de una obra nos valemos del primer procedimiento y para ejecutar la obra nos valemos del segundo.

Para el trazado del perfil del terreno tomamos una serie de puntos representativos del terreno que denominamos perfiles transversales; la representación de estos puntos la hacemos por coordenadas cartesianas, llevando en el eje de abscisas las distancias reducidas desde el inicio del perfil y en el eje de ordenadas las cotas o alturas de estos puntos partiendo de un plano de comparación que tendrá una cota exacta menor que las cotas que vayamos a llevar.

Hay que tener en cuenta que por la desproporción entre las longitudes y las altitudes, generalmente se utilizan dos escalas: una horizontal (E_h) y otra vertical (E_v); normalmente la escala vertical es 10 veces mayor que la horizontal, aunque según el caso, pueden estar en otra proporción

La rasante representa el perfil de la obra terminada, es decir, los puntos representativos de la carretera, camino, etc... una vez concluida la obra. Esta rasante puede tener una pendiente constante (rectilínea) o variable (curvilínea: circular, parabólica, etc...) Cuando la rasante es rectilínea la dibujamos por los puntos extremos de cada tramo; en el caso de que sea curvilínea la trazaremos por puntos.

En definitiva, “la rasante representa a la geometría de la obra que se realiza”.

Perfiles transversales. (Ver fig. 6)

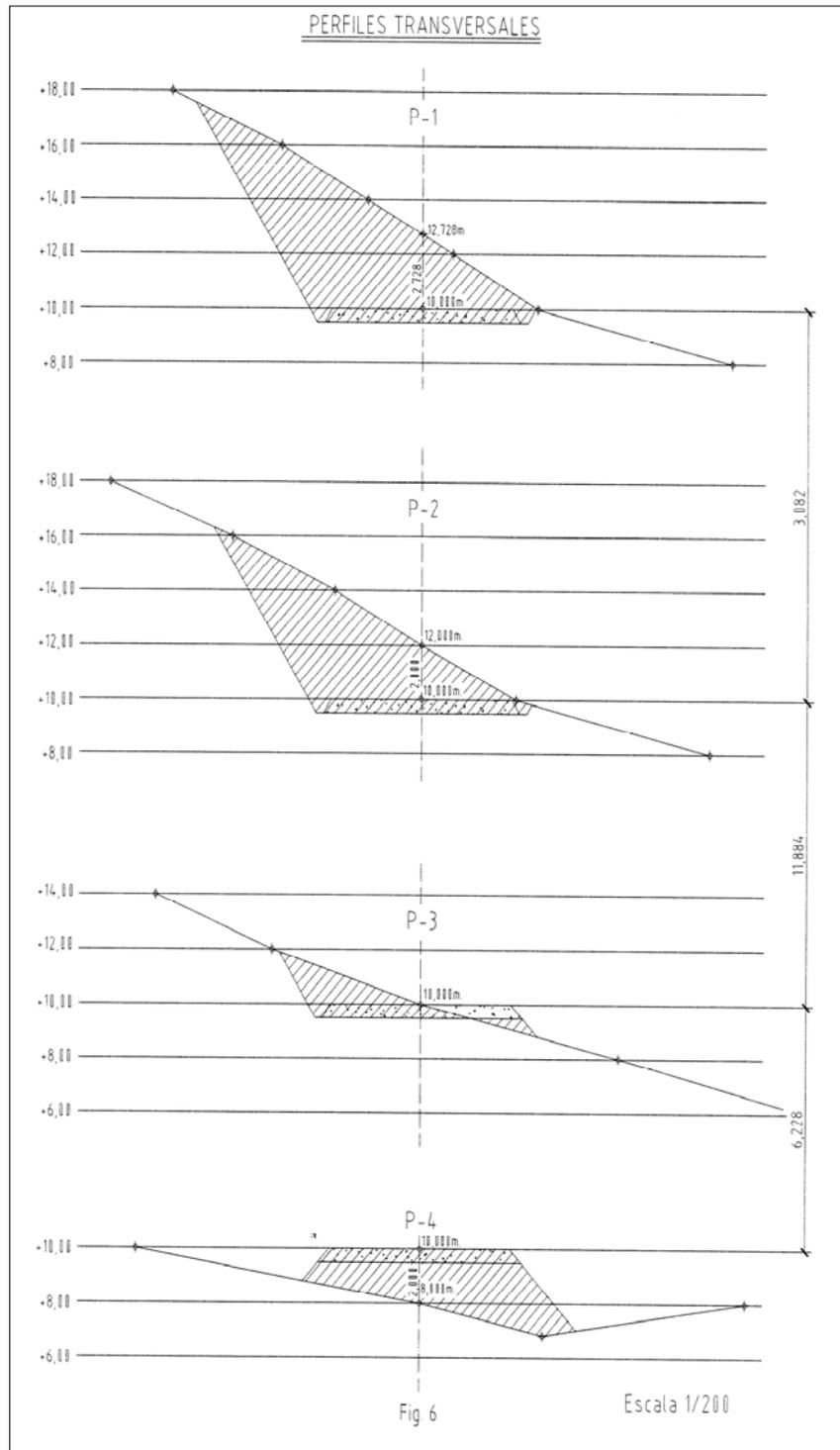
Los perfiles transversales son secciones por planos perpendiculares a la traza del perfil o concéntricos en el caso de alineaciones circulares. Estos perfiles nos dan una referencia sobre la forma del terreno en zonas laterales de la traza del perfil longitudinal. Su utilidad principal es para obtener el movimiento de tierras necesario para la realización de una obra.

La distancia horizontal entre los sucesivos perfiles se acota desde la rasante de un perfil hasta la rasante del siguiente; como es obvio esta cota no está a escala en el plano de los perfiles transversales.

También constan de dos partes: **terreno y rasante**.

Representación del terreno.

Los perfiles transversales se representan verticalmente uno detrás de otro, teniendo el mismo eje vertical. Para llevar el terreno lo hacemos por medio de un sistema de coordenadas cartesianas en el cual se toma como origen el punto que representa el eje de la rasante, una vez determinado el origen de coordenadas del transversal se toman en planta las distancias de los puntos representativos del mismo a izquierda y derecha de la traza; estos puntos serán los de corte con las curvas de nivel, otros puntos característicos como vaguadas, divisorias, etc... o en el caso de que



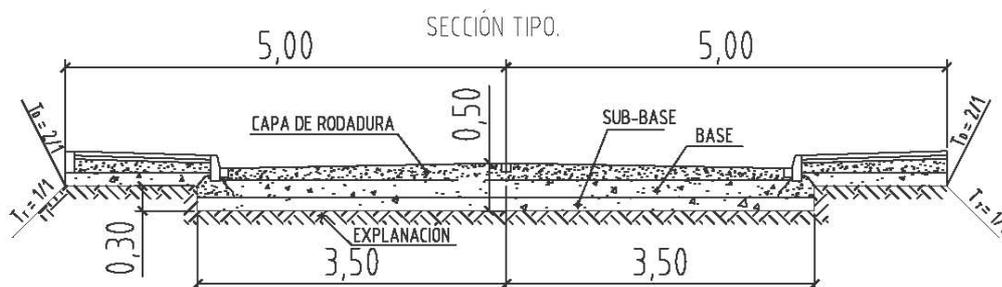
partamos de una nivelación estos puntos serán los correspondientes al estaquillado que se haya realizado en obra. punto común del eje con el plano horizontal de referencia (este plano debe tener una cota entera inferior a la menor cota que vayamos a representar).

Hecho esto dibujamos a la escala más conveniente (una sola escala vertical y horizontal) los puntos, llevando en el eje de las abscisas las distancias medidas a derecha e izquierda del eje del perfil y en el eje de las ordenadas la diferencia de cota entre el punto y el plano de referencia tomado en ese perfil.

Los perfiles se denominan como **perfil de desmonte**, caso del P-1 y P-2, **perfil a media ladera** caso del P-3 y **perfil de terraplén** caso del P-4, aunque pueden estar aun mas combinados.

Representación de la rasante.

En los perfiles transversales la rasante está formada por la sección transversal de la obra terminada; la cual se compondrá de la rasante propiamente dicha (capa de rodadura, explanada, etc...) y por los **taludes** de desmonte y de terraplén en su caso. Los taludes son las superficies inclinadas que adaptan la rasante con el terreno; estos pueden ser de desmonte y de terraplén y su inclinación se determina en función de los ensayos correspondientes, los cuales determinan el valor de su inclinación en el caso de desmonte y de terraplén (generalmente los de desmonte tienen mayor inclinación). Para representar la rasante debemos conocer la **sección-tipo** de la obra en la cual se nos da información sobre el ancho de la calzada, taludes, grosor de las capas que la conforman (sub-base, base, capa de rodadura, etc...); debemos tener en cuenta que en el caso de desmontes debemos darle un sobrecancho para las cunetas.



En esta sección tipo, se advierte la formación de la explanación, la base, sub-base y la capa de rodadura. En los laterales aparece la formación de acerado, y así mismo en el borde se sitúa la pendiente para los casos bien de terraplén ($T_r = 1/1$) o para la situación de desmonte ($T_d = 2/1$)

CUBICACIONES

Calculo de volúmenes. Explanaciones y Movimiento de tierras.

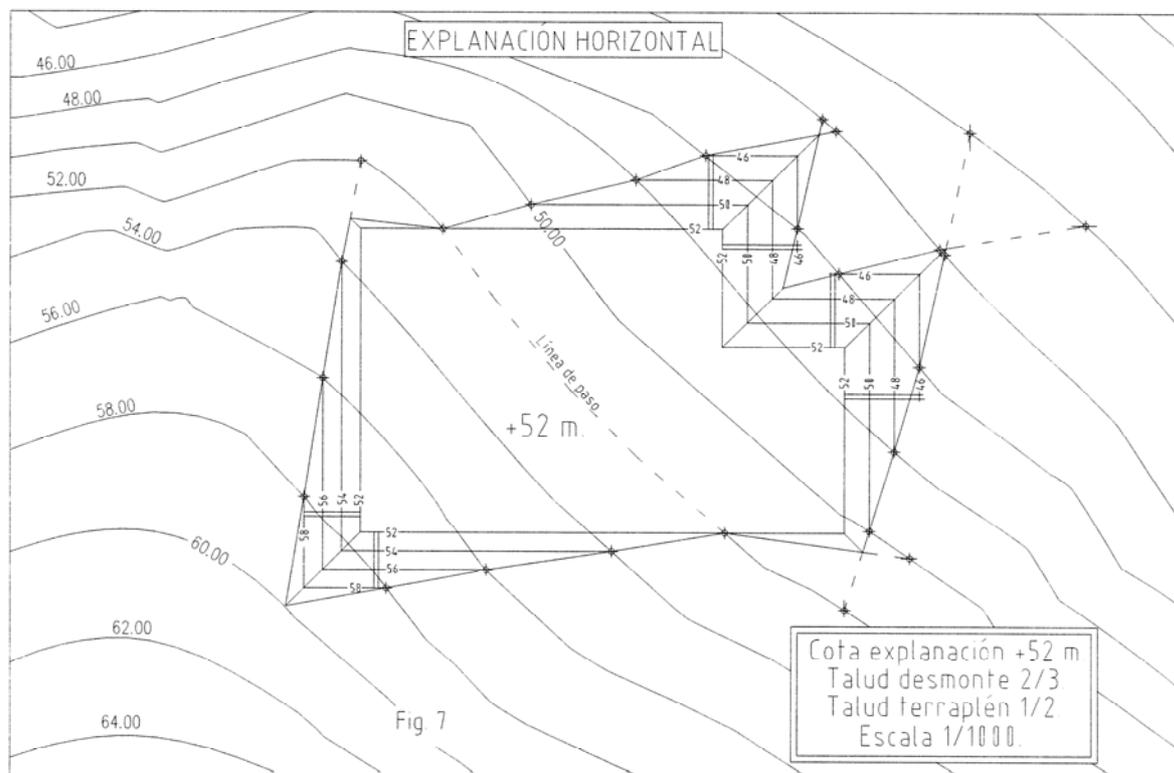
Explanaciones, definición.

Una explanación es una modificación de la superficie topográfica para convertirla en plana, (horizontal o inclinada). Por tanto, las explanaciones suponen que las curvas de nivel del terreno se modifiquen y se convierta en líneas rectas o circulares según el contorno de la explanación sea recto o circular. El sistema de representación empleado para dibujar las explanaciones es el de planos acotados, por tanto, dibujaremos la planta de la obra; esto nos permitirá saber la superficie que ocuparemos en el terreno para conseguir la explanación.

TIPOS DE EXPLANACIONES.

Según la rasante de la obra pueden ser: horizontales, inclinadas o mixtas.

Según los contornos de la explanación pueden ser: rectilíneos (el talud es un plano), curvilíneos (el talud es una superficie cónica) o mixtos.



EXPLANACIONES HORIZONTALES. (Ver fig. 7)

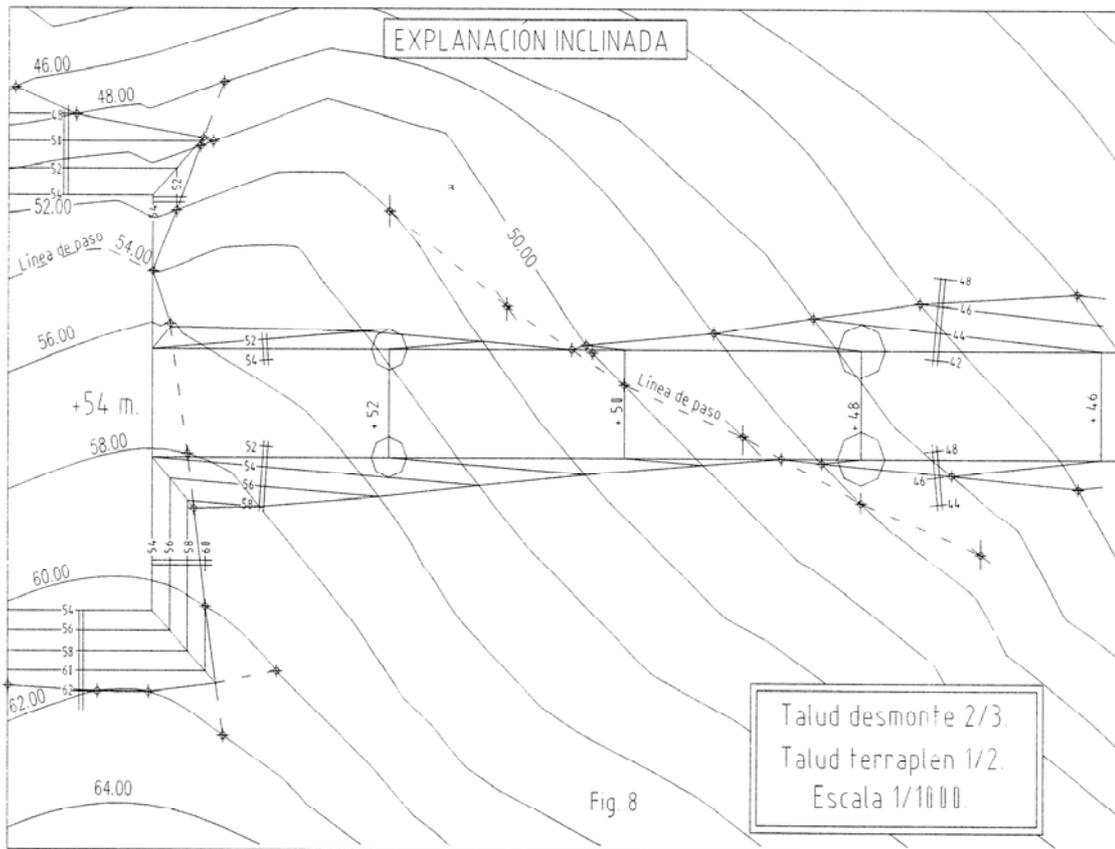
Para resolver una explanación horizontal deben seguirse los siguientes pasos:

1.- Localizar **línea neutra o línea de paso**. Esta línea es la divisoria entre las zonas de desmonte y terraplén, siendo el movimiento de tierras nulo en dicha línea. La intersección de esta línea con los contornos de la explanación son los puntos de paso, los cuales nos limitan las zonas de desmonte y terraplén. En el caso de explanaciones horizontales la línea de paso coincide con la curva de nivel de igual cota que la rasante de la explanación.

2.- Localizar los **contornos de desmonte y terraplén**. Debemos tener en cuenta que el cambio de desmonte a terraplén se produce en los puntos de paso; por ello localizamos en un punto del contorno si hay desmonte o terraplén, se produce terraplén cuando la cota de la rasante es mayor que la del terreno y desmonte al contrario. Una vez localizado la naturaleza del movimiento de tierras en un punto sigue la misma naturaleza durante todo el contorno hasta llegar a los puntos de paso, en los cuales cambia.

3.- **Trazado de los taludes**. Se trazan las líneas de máxima pendiente de los taludes correspondientes, teniendo en cuenta que al ser los contornos horizontales dichas líneas serán perpendiculares a estos, o concéntricas en el caso de contorno circular. Posteriormente se gradúan dichas líneas de máxima pendiente, teniendo en cuenta la inclinación de los taludes (dato) y que los taludes de desmonte suben desde la explanación y los de terraplén bajan; la separación de las horizontales de los taludes es el módulo de la inclinación correspondiente (como sabemos de Geometría Descriptiva $Mód = 1 / pte.$) debiendo tenerse en cuenta también la equidistancia entre curvas de nivel.

4.- **Intersección entre taludes y de estos con el terreno**. Se trazan las intersecciones entre los taludes que convergen en las esquinas de la explanación, lo cual nos da el ámbito de existencia de cada talud. Una vez realizado lo anterior, trazamos la intersección de los planos de los taludes con el terreno (pié de talud) , obteniendo así la zona ocupada por la obra.



EXPLANACIONES INCLINADAS. (Ver fig. 8)

El proceso de trazado tiene los mismos pasos que las explanaciones horizontales con las siguientes salvedades.

1.- Localizar **línea neutra** o **línea de paso**. Debemos hacer la intersección entre el plano de la explanación y el terreno, para ello debemos buscar las horizontales de la explanación que tengan igual cota que las curvas de nivel y cortarlas con las curvas de nivel de la misma altura. Hay casos en que esto es complejo de hacer y podemos obviar este paso.

En estos casos localizamos si en un punto del contorno hay desmonte o terraplen y trazamos directamente el talud hasta que la línea de pié de talud corte al contorno de la explanación, en cuyo caso estaremos en un punto de paso.

2.- Localizar los **contornos de desmonte y terraplen**. Este apartado es prácticamente igual que en el caso anterior.

3.- **Trazado de los taludes. Cono de talud**. En este caso por ser los contornos de la explanación inclinados no podemos trazar las horizontales paralelas a los mismos. Este caso es similar a las cubiertas con aleros inclinados vistos en Geometría Descriptiva. Por ello, lo

primero que haremos será graduar los contornos de la explanación para buscar las mismas cotas que tengan las curvas de nivel del terreno. Después debemos trazar un cono que tenga la misma pendiente que el talud correspondiente (este cono se denomina cono de talud y se representa en el sistema de planos acotados por su base que tendrá un radio = módulo x la equidistancia entre curvas de nivel).

Las horizontales tendrán la dirección de la tangente trazada desde el punto de cota consecutiva a la circunferencia descrita anteriormente.

Hay que tener en cuenta que de las dos horizontales posibles sólo vale aquella que dé un plano con las características siguientes:

Desmante: plano cuyas cotas crezcan hacia el exterior de la explanación.

Terraplén: plano cuyas cotas decrezcan hacia el exterior de la explanación.

4.- Intersección entre taludes y de estos con el terreno. Este apartado es igual que en el caso de las explanaciones horizontales.

En las figuras 7 y 8, se muestra un ejemplo de cada tipo. Se trata la primera de una explanación horizontal de cota 52, siendo las pendientes de los taludes de desmante $\frac{2}{3}$ y los de terraplén $\frac{1}{2}$. En la segunda figura se muestra una explanación horizontal de cota 54 y un camino de acceso en rampa hacia la explanación con una pendiente del 5%. Los taludes tienen la misma pendiente que en el caso anterior.

Movimiento de tierras.

DEFINICIONES.

La obra que tiene por objeto la modificación de la geometría del mismo se denomina de **movimiento de tierras**; la determinación del volumen de tierras necesario para llevarla a cabo se denomina **cubicación**. En el movimiento de tierras se producen dos tipos de movimientos uno de **desmonte** cuando la tierra se excava y se quita del sitio donde estaba; y otro de **terraplén** cuando aportamos tierra sobre el terreno natural.

El volumen de terraplén puede proceder del **terreno removido** o excavado de la misma obra o de otro lugar denominándose en este caso **terrenos de préstamo**. Debemos tener en cuenta que, por ser la superficie topográfica una superficie irregular las cubicaciones son siempre aproximadas.

MÉTODOS DE CUBICACIÓN.

Los métodos más comunes para cubicar son los siguientes:

* Método de los perfiles transversales: es el método más usado y está especialmente indicado en obras de desarrollo lineal como carreteras, caminos, canales, viales, etc ...

* Método de secciones horizontales o de las curvas de nivel: se utiliza en obras de desarrollo superficial como explanaciones, cubicación de embalses, etc ...

* Método del momento medio: se utiliza en la cubicación de explanaciones donde los desmontes y terraplenes tengan poca altura y por ello, no sean apropiados los perfiles. Es el único método que permite cubicar compensando los volúmenes de desmonte con los de terraplén sin conocer a priori las cotas de la rasante.

* Otros métodos utilizados hoy día. Gracias a la ayuda de los ordenadores es factible utilizar metodos interactivos, estos consisten fundamentalmente en la superposición de modelos digitales, obteniendo por comparación las diferencias en sentido positivo (terraplén) o negativo (desmonte)

MÉTODO DE PERFILES TRANSVERSALES. (Ver fig. 9)

Se basa este método en la Fórmula de SIMPSON para el volumen del prismaoide. El prismaoide es un cuerpo comprendido entre dos bases planas paralelas, y su volumen es:

$$V_p = 1/6 (A_1 + A_2 + 4A_m).L$$

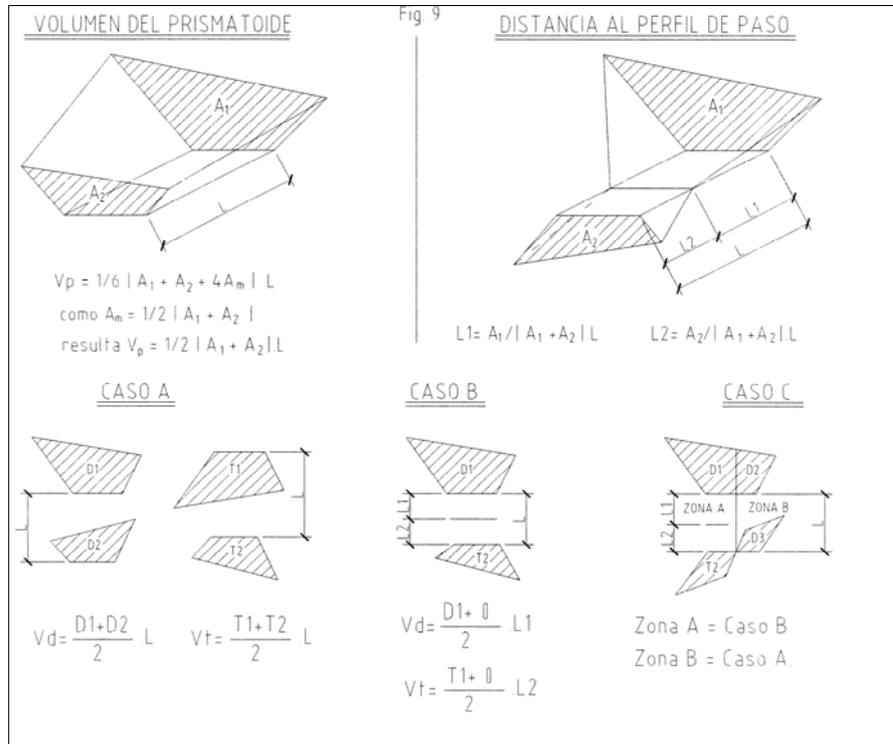
como quiera que :

$$A_m \approx (A_1 + A_2)/2;$$

resulta que

$$V_p = 1/6 (A_1 + A_2 + 4 (A_1 + A_2)/2).L = 1/6 (A_1 + A_2 + 2A_1 + 2A_2).L = 1/6. 3 (A_1 + A_2) .L =$$

$$V_p = (A_1 + A_2)/2 \times L$$



Estas bases planas paralelas son los perfiles transversales, que al ser previamente superficializados nos sirven para el cálculo de los sucesivos prismatoides en los que dividimos la obra. A la hora de superficializar los perfiles debe tenerse en cuenta la sección-tipo de la obra a realizar y saber que cubricamos sólo la excavación y el relleno, ya que otras capas como sub-base, base, capa de rodadura, etc... forman unidades de obra distintas y en consecuencia tienen otro precio.

Los perfiles transversales pueden ser de desmonte, de terraplén y a media ladera (Ver los perfiles P1, P4 y P3 de la figura adjunta) y las distintas combinaciones entre ellos nos dan los siguientes casos:

A.- Caso perfiles homogéneos (desmonte-desmonte o terraplén-terraplén.)

En estos casos el volumen comprendido entre los perfiles es la semisuma de sus áreas por la distancia entre ellos.

B.- Caso de perfiles contrapuestos (desmonte-terraplén o terraplén-desmonte)

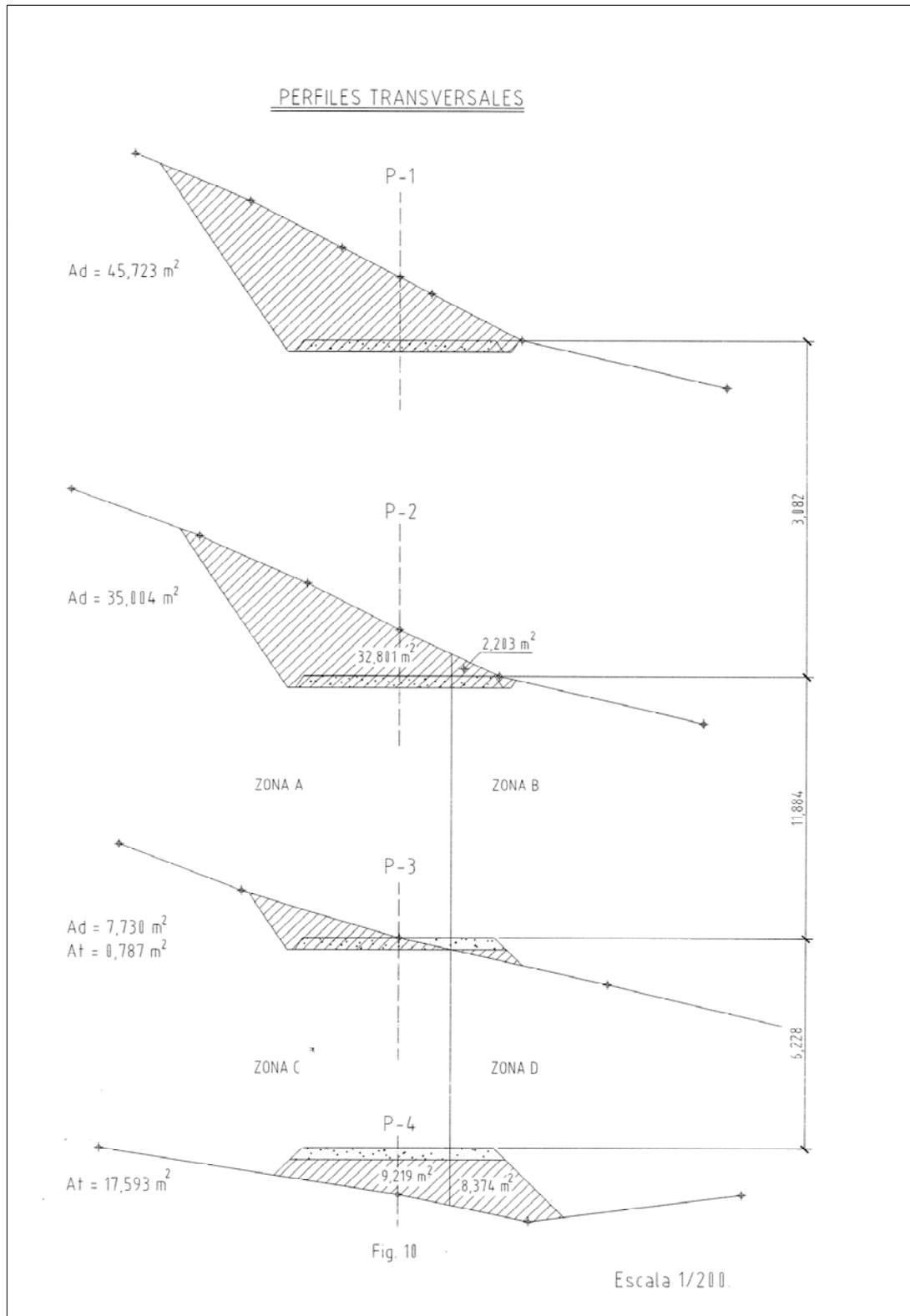
En estos casos se busca un perfil de paso (área nula) ficticio, que se sitúa a una distancia de los perfiles anterior y posterior proporcionales a sus áreas. (Ver fig. 9), en cuya perspectiva de una situación ideal en la que se perciben tanto el perfil de terraplén como el de desmonte y el perfil de paso o perfil de valor cero.

C.- Caso de perfiles a media ladera.

En estos casos se subdividen los perfiles en zonas, con lo cual conseguimos simplificar la cubicación a alguno de los casos A o B.

DETERMINACIÓN DEL MOVIMIENTO DE TIERRA ENTRE PERFILES. REALIZACION PRÁCTICA

Con objeto de llevar la cubicación de una forma ordenada, los datos de áreas y distancias entre perfiles se colocan en un **estadillo de cubicación** como el que sigue, en el cual vamos a cubicar el volumen de tierras necesario para ejecutar la obra comprendida entre los perfiles 1 y 4 del perfil longitudinal dibujado como ejemplo. (Ver fig. 10)



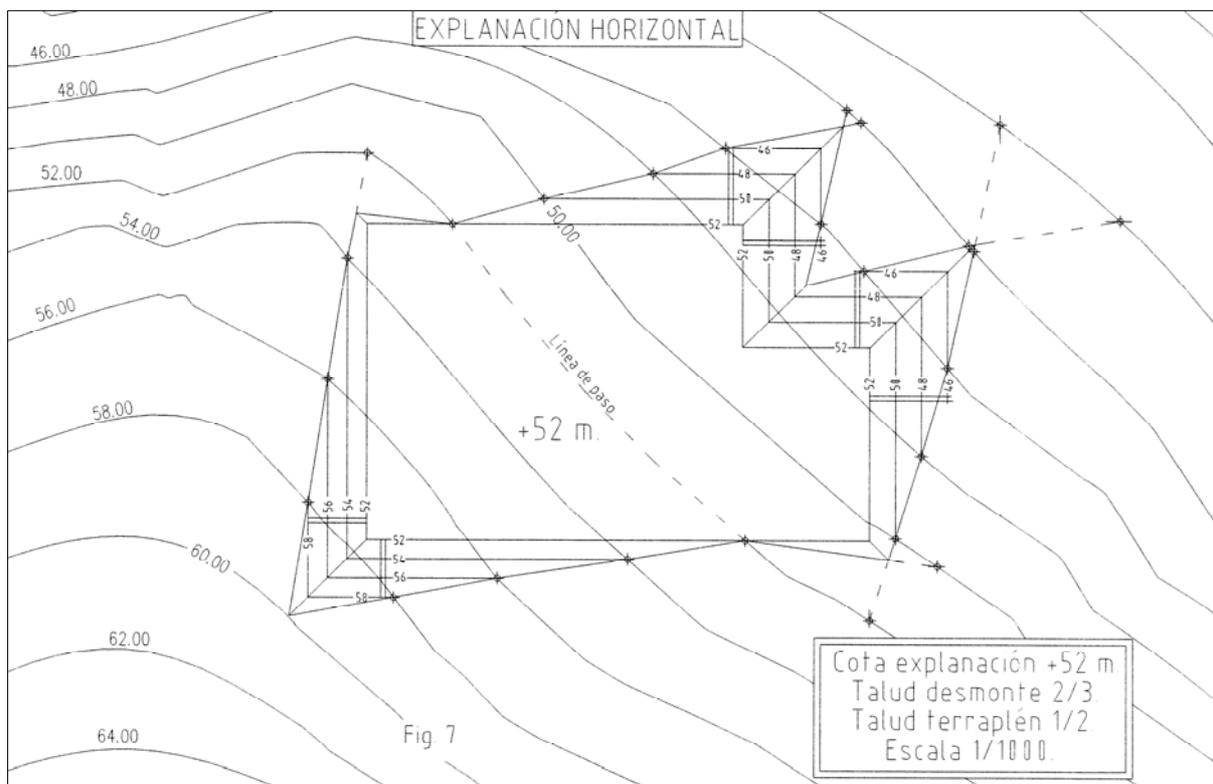
En función de los datos indicados en la figura anterior, y para la cubicación, se colocan los datos de la siguiente forma:

E.U.A.T. Sevilla		TOPOGRAFÍA Y REPLANTEOS						
Estadillo de movimiento de tierras: cubicación.								
Perfiles	Zona	Área de:		Área media de:		Distancias	VOLÚMENES	
		Terraplén	Desmonte	Terraplén	Desmonte		Terraplén	Desmonte
P1	Única		45,723		22,862	3,082		70,459
P2	Única		35,004		17,502	3,082		53,941
P2	A		32,801		16,401	11,884		194.904
P3	A		7,730		3,865	11,884		45,932
P2	B		2,203		1,102	8,756		9,645
P3	B	0,787		0,394		3,128	1,231	
P3	C		7,730		3,865	2,84		10,977
P4	C	9,219		4,610		3,388	15,617	
P3	D	0,787		0,394		6,228	2,451	
P4	D	8,374		4,187		6,228	26,077	
					VOLUMEN TOTAL		45,375 m ³	385,857 m ³

CU_M003.WPD © R.E.

MÉTODO DE SECCIONES HORIZONTALES O DE LAS CURVAS DE NIVEL. (Ver fig. 7)

El fundamento de este método es el mismo que el anterior, pero en este caso las bases del prismaoide son las secciones producidas en la explanación por planos horizontales de igual cota que las curvas de nivel. En general, el área de la sección a cota Z estará formada por la superficie comprendida entre las horizontales de cota Z de los taludes y la porción de curva de nivel de cota Z que quede interior a la explanación.



Una vez superficiadas las secciones correspondientes entre la cota del punto más alto y el más bajo de la explanación, se rellena el estadillo de cubicación que es parecido al anterior. Debemos tener en cuenta que las figuras que acaban en un punto (área 0) su volumen es un tercio del área de la base por la altura (volumen de la pirámide). A continuación cubicamos la explanación horizontal de la fig.7.

**Estadillo de movimiento de tierras:
cubicación.**

Curso 1.999/00

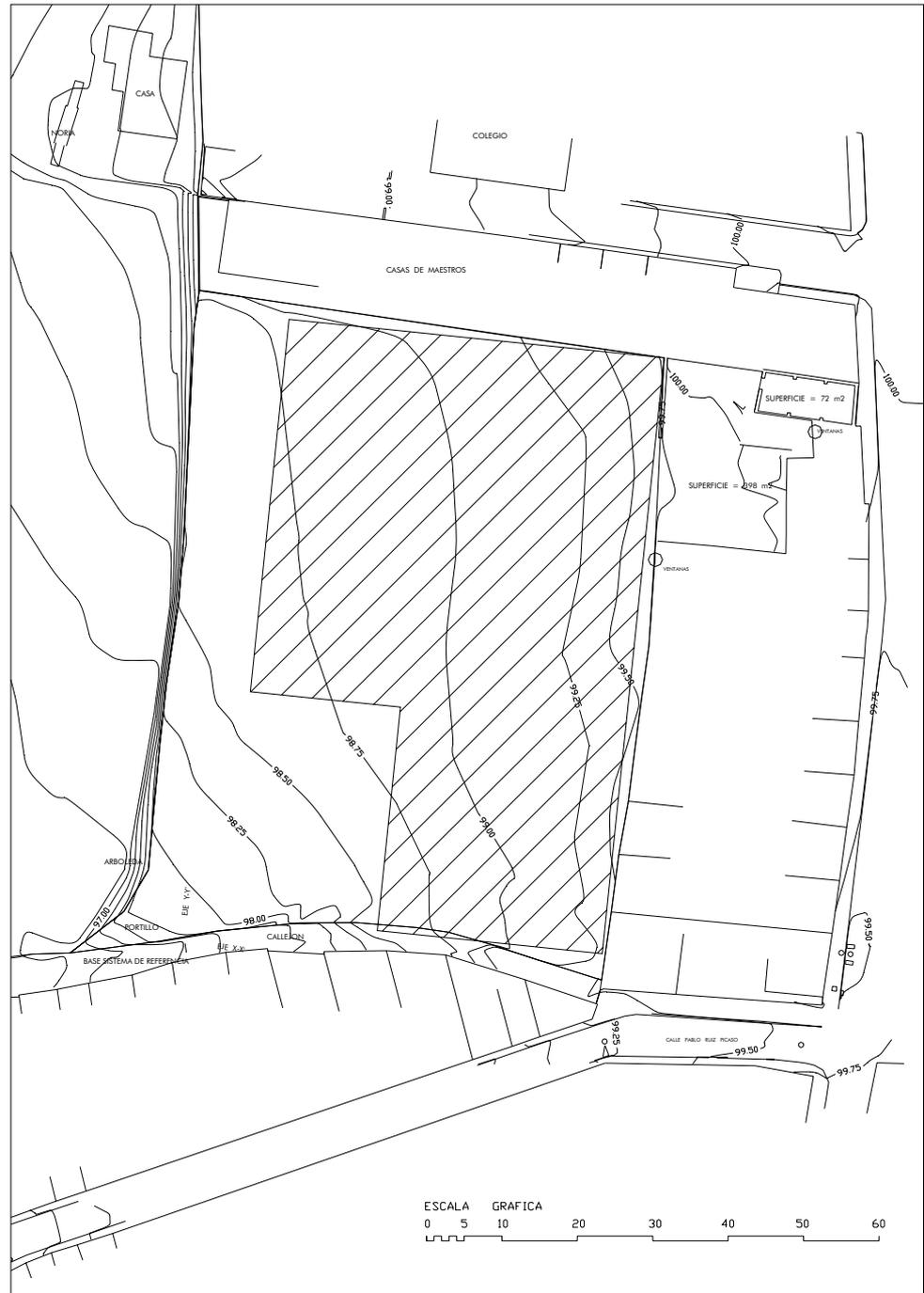
Cota	Zona	Área de:		Área media de:		Distancia	VOLÚMENES	
		Terraplén	Desmonte	Terraplén	Desmonte		Terraplén	Desmonte
60			0					
58			98,744		32,915	2		65,83
56			439,852		269,298	2		538,596
54			995,45		717,651	2		1435,302
52		1807,29	1685,001		1340,226	2		2680,452
50		1237,74		1522,51		2	3045,026	
48		569,414		903,575		2	1807,15	
46		88,347+ 97,835		377,798		2	755,596	
46		88,347						
44,27		0		29,449		1,728	50,888	
46		97,835						
44		0,346		49,091		2	98,182	
43,89		0		0,115		0,107	0,012	
VOLUMEN TOTAL							5756,854 m ³	4720,180 m ³

CU_M003.WPD © R.E.

METODO DEL MOMENTO MEDIO

También llamado método del plano. Es un método propio y de mucha incidencia en actuaciones agrícolas, dado que permite convertir la superficie sinuosa de un terreno en un plano uniforme, bien horizontal o bien con pendiente a una o a dos vertientes, fundamental para el riego en superficie, y todo ello cambiando de posición el propio terreno, es decir sin realizar aportación ni retirada a vertedero, simplemente desmontando las zonas altas y rellenando las bajas.

En edificación se utiliza para analizar de forma previa el movimiento de tierras, una primera actuación analizando el movimiento para alcanzar un determinado plano, y en segundo lugar de forma fácil, el movimiento que correspondería para alcanzar un nivel superior de relleno. El ejemplo que se plantea, parte de un levantamiento taquimétrico sobre el terreno desbrozado, y sobre el tenemos que calcular cual sería el relleno de la base estabilizadora de una explanada, para alcanzar la



cota 100.00 a la cual quedaría el enrase de la base pedida. El método consiste en dividir el terreno en pequeñas parcelas, de igual dimensión, determinar la cota media y calcular las coordenadas del centro de gravedad, punto por el cual pasa el plano de nivel medio.



Adaptamos una cuadrícula de lado 10x10, sobre la explanada y determinamos la cota del punto central de cada uno de estos cuadrados.

Antes de proceder a rellenar, tenemos que desmontar y nivelar el terreno, calculando a continuación el espesor del relleno base.

Utilizando la hoja Excel, realizamos los cálculos conducentes a calcular la cota en la que equilibraríamos desmonte y terraplén y la cota a la que quedaría esta explanada.

CALCULO DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS POR EL METODO DEL MOMENTO MEDIO

Calculo del centro de gravedad

		eje Y		
	nº puntos	distancia	producto	
		3	10	30
		3	20	60
		3	30	90
		5	40	200
		5	50	250
		5	60	300
		5	70	350
		5	80	400
	sumas	34		1.680
Centro de gravedad eje Y		1.680/34 =	49,41 = Y'	

		eje X		
	nº puntos	distancia	producto	
		5	10	50
		5	20	100
		8	30	240
		8	40	320
		8	50	400
	sumas	34		1.110
Centro de gravedad eje X		1.680/34 =	32,65 = X'	

DETERMINACION DE LA COTA MEDIA

Cotas tomadas en las estaquillas del punto medio de la cuadrícula asimilada al terreno						
	98,87	98,98	99,12	99,25	99,50	
	98,79	98,94	99,05	99,22	99,40	
	98,76	98,92	99,00	99,21	99,42	
	98,75	98,89	99,00	99,20	99,41	
	98,70	98,84	98,98	99,19	99,30	
			98,92	99,16	99,25	
			98,84	99,06	99,25	
			98,73	98,82	99,23	
Calculo de la cota media	493,87	494,57	791,64	793,11	794,76	
				total =	3.367,95	
	nº de puntos = 34		cota media =		3.367,95/34	99,0574

COTAS ROJAS					
(= 99,0574 - cota terreno)					
	0,1873	0,0773	-0,0627	-0,1927	-0,4427
	0,2673	0,1173	0,0073	-0,1627	-0,3427
	0,2973	0,1373	0,0573	-0,1527	-0,3627
	0,3073	0,1673	0,0573	-0,1427	-0,3527
	0,3573	0,2173	0,0773	-0,1327	-0,2427
			0,1373	-0,1027	-0,1927
			0,2173	-0,0027	-0,1927
			0,3273	0,2373	-0,1727
	1,42	0,72	0,82	-0,65	-2,30
				total =	0,00
suma cota roja terraplén	<u>3,25</u>				
suma cota roja desmonte	<u>-3,25</u>				

el volumen de desmonte que conforman las tierras que ocuparan el terraplén

V = 10x10x3,25 = 325 m3

la cota final de la explanada = 99,06

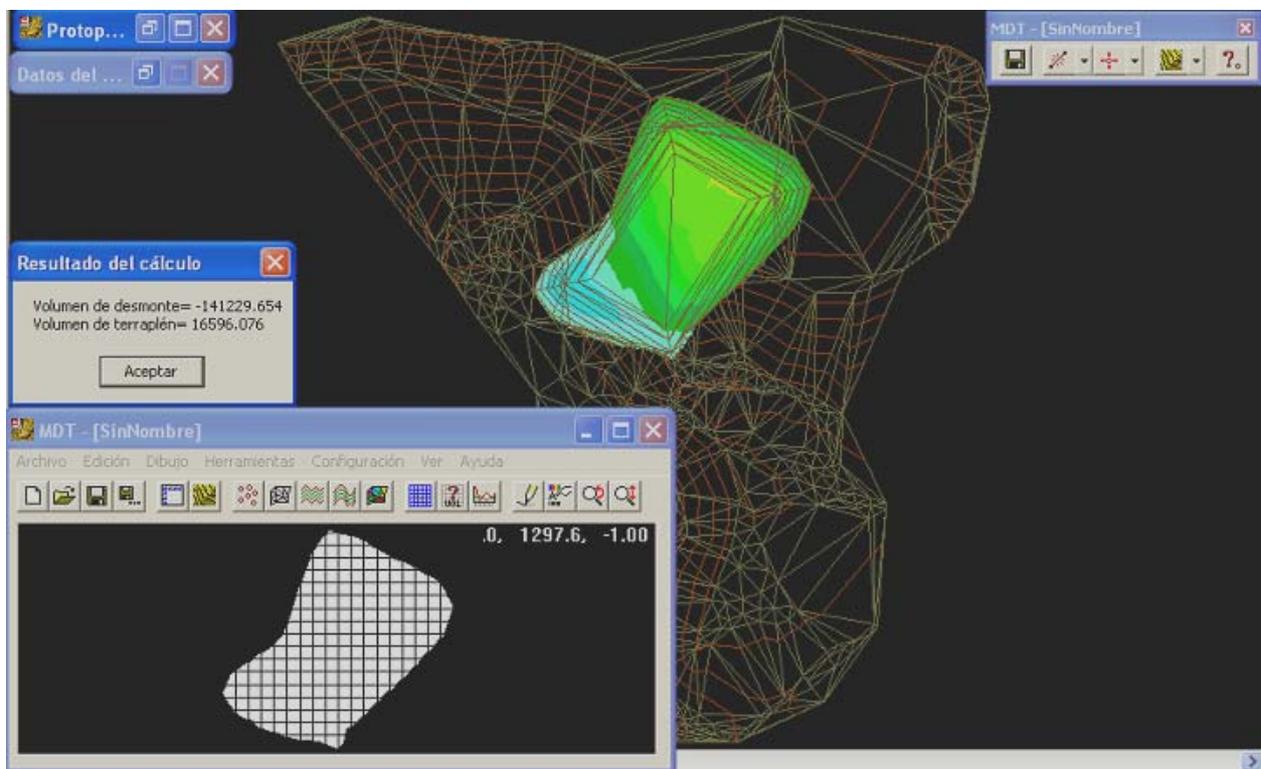
relleno >> 100,00 - 99,06 = 0,94 m

Volumen del relleno 3.400,00 x 0,94 = 3.196 m3

METODO DE SUPERPOSICION DE MODELOS DIGITALES

Actualmente, como hemos indicado, una vez determinado el modelo digital del terreno, se realiza la transformación y tras una superposición de estados se obtiene el movimiento de tierras que se produce.

En el dibujo que sigue, se reproduce una pantalla del programa PROTOPO, Ver. 6, Licencia 1100, y en la cual se superpone la malla sobre la actuación, determinando



El proceso que realiza el ordenador para evaluar el movimiento de tierras en este caso, consiste en reticular el modelo digital mediante la creación de una malla, el programa pide la dimensión de los lados de la malla, y a continuación se obtienen prismas cuyas bases superiores e inferiores están en cada uno de los modelos digitales, conocida la altura de estos prismas la cual se corresponde con la cota roja, se calculará el volumen, apareciendo como desmonte o terraplén coincidiendo con el sentido de la cota roja.

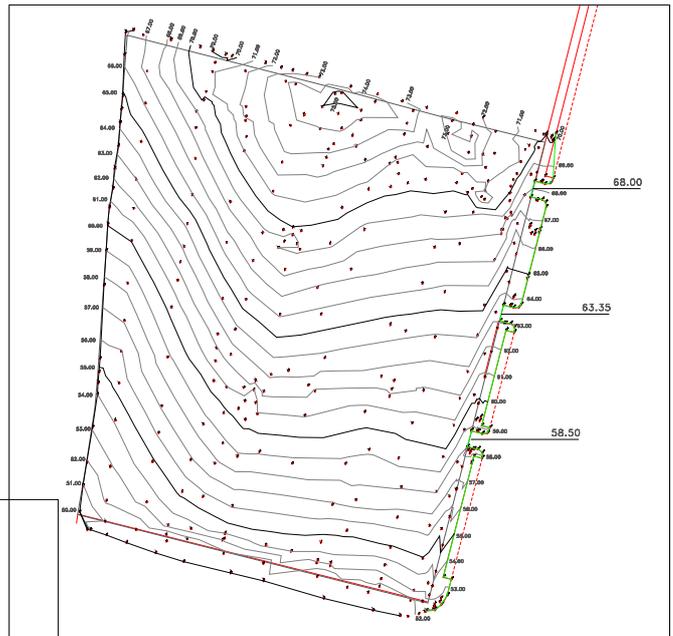
Estos procesos son cada día mas frecuentes y al uso. A continuación mostramos el proceso de una parcela en la que se realiza la implantación de una edificación, y que se corresponde con algunas de

las fotos mostradas al inicio.

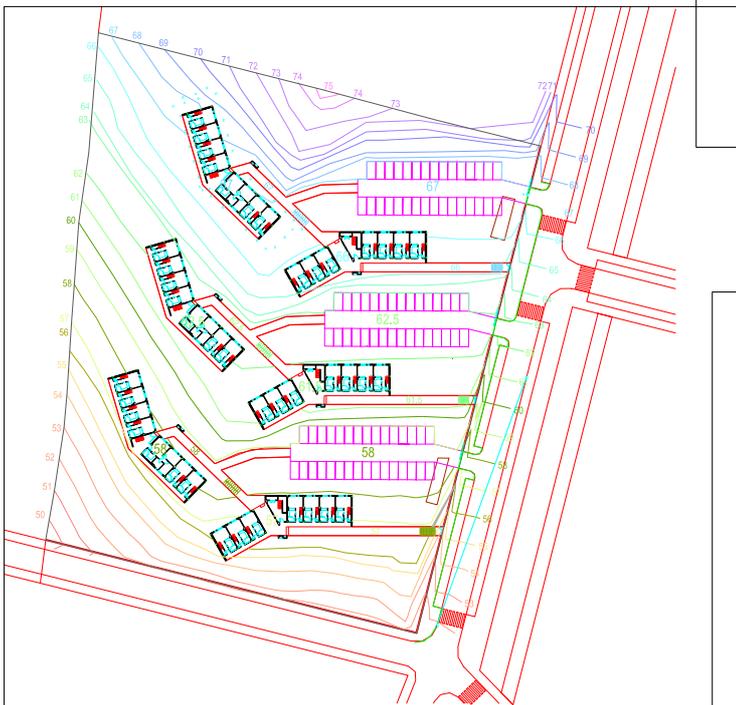
Se trata de la edificación en una ladera de 93 Vvdas., el desnivel que plantea el terreno son unos 20m , la edificación que corresponden a 6 bloques en forma de V, se va adaptando a la ladera, estableciendo una serie de bancales y desmante en la que se sitúan las plataformas sobre la que se ubican los edificios.

El proyecto es una realización del arquitecto D. Rafael Otero González, y la ubicación de los edificios en el el P.P. Los Tomates, en Algeciras Cádiz.

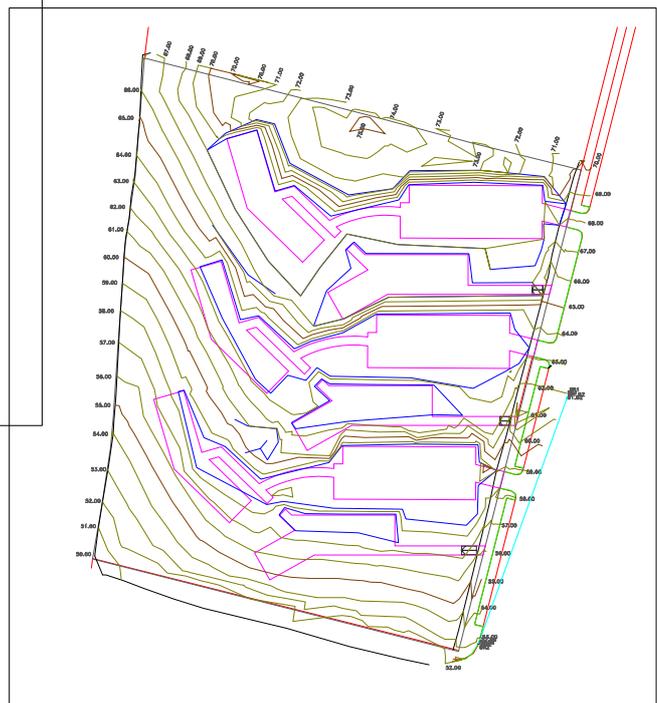
LEVANTAMIENTO INICIAL



IMPLANTACION PROYECTADA



MOVIMIENTO DE TIERRAS REALIZADO



ÍNDICE

Página

INTRODUCCIÓN.....	2
DEFINICIÓN, TERMINOLOGÍA Y MÉTODOS.....	3
MÉTODOS DE CÁLCULO.....	7
CUBICACIONES.....	18
MÉTODO DE PERFILES TRANASVERSALES.....	23
MÉTODO DE SECCIONES HORIZONTALES.....	27
MÉTODO DEL MOMENTO MEDIO	29
MÉTODO DE SUPERPOSICIÓN DE MODELOS DIGITALES	27