

MINIMOS EN LOS MOVIMIENTOS DE TIERRAS EN GENERAL Y EN SUPERFICIES ESCALONADAS ESPECIFICAMENTE

Por ANTONIO MORENO LOPEZ

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Presenta el autor un método racional de abancalamiento, que considera debería aplicarse, siquiera aproximadamente, en las grandes planificaciones, pues aun cuando el proceso de cálculo es francamente laborioso, los resultados económicos y funcionales que proporciona pueden alcanzar tal cuantía que compense con creces este inconveniente.

Constitución de superficies escalonadas.

Dado un terreno natural de características variables, puede plantearse por diferentes causas el transformar la orografía original irregular, en otra constituída por superficies planas a diversas cotas, que a veces se disponen con una ligera inclinación para facilitar el movimiento de las aguas que en ellas incidan.

Los motivos de esta estructuración del suelo proceden de planificaciones, a veces de enorme importancia, que cubren campos tan diversos como la agricultura o el urbanismo. Así, pues, puede ser necesario transformar un terreno en un lugar apto para permitir la edificación y el establecimiento de zonas adyacentes de servicios y esparcimiento.

Puede organizarse una región irregular en otra abancalada para constituir zonas regables, o bien, establecer grandes industrias, que exijan una previa nivelación del suelo.

Todos estos problemas pueden plantearse numerosas veces bajo la condición de definir una serie de terrazas o escalones que, reuniendo en su constitución las mayores ventajas para el fin que se destinan, no alcancen en su creación un costo que las haga prohibitivas por el volumen de tierras a mover.

En unos casos los datos dimensionales de cada elemento o escalón están determinados por circunstancias ajenas al propio movimiento de tierras, o al menos limitados entre valores próximos entre sí, pero otras veces el proyectista está en plena libertad de utilizar todas las variables disponibles para encontrar solucio-

nes de la máxima amplitud, hasta donde lo permita el presupuesto de gastos. Es este aspecto del tema el que será considerado en el análisis subsiguiente.

Planteamiento general.

Tanto en problemas de planificación de riegos, como en otras materias, es deseable conseguir escalones de la máxima superficie aprovechable, lo cual paralelamente equivale a dividir cada sector considerado en el número mínimo posible de banales.

En general, se procura aumentar la superficie unitaria media, porque de esta manera se mejora notablemente tanto el proceso de construcción como los de utilización y explotación, aumentando al mismo tiempo la superficie aprovechable.

Así, en el caso de regadíos, al reducir el número de banales disminuyen las longitudes de balates, desagües y caminos, así como las redes de canalillos, cuyo conjunto de construcciones significa incremento de costos, tanto en sí mismos como en la superficie que inutilizan para el cultivo.

En todo caso, con grandes terrazas se reducen las superficies inútiles producidas en cada separación de escalones.

Por otra parte, los trabajos en la construcción y la explotación con maquinaria se realizan con mayor rendimiento y facilidad cuanto mayores son las dimensiones de cada unidad.

Ahora bien, para unas condiciones semejan-

tes, el costo es tanto mayor cuanto mayores son las dimensiones de los banales, por aumentar el volumen a mover por unidad de superficie. Por ello, la solución está en la confluencia de ambos criterios, en el mínimo número de banales, cuyo costo está comprendido bajo el presupuesto previsto.

Este mismo planteamiento puede considerarse bajo el aspecto de determinar el sistema de escalonamiento, que para un determinado número de banales produzca un mínimo de volumen de tierras movidas, un mínimo de costos o un mínimo de tiempos de construcción, según el fin que se persiga. Estos tres aspectos enumerados (volumen, tiempo, costo) se analizan por separado en un estudio previo.

Las soluciones correspondientes a los tres temas expuestos son normalmente muy próximas entre sí y de semejante deducción, puesto que el paso de unas a otras se realiza con el auxilio de parámetros característicos de cada operación.

El hecho de definir el número máximo de banales de una zona determinada, equivale, naturalmente, a asignar a estos una superficie media estadística, limitada inferiormente.

Limitaciones previas.

Antes de comenzar la organización de un escalonamiento del terreno, deben analizarse las zonas matizadas con características especiales, según el empleo último a que se destinen, y que las haga inoperantes para posterior utilización.

Estas zonas deben eliminarse previamente a la estructuración del abancalamiento.

Así, por ejemplo, en el caso de cuestiones agrícolas no serán muy adecuados los terrenos duros, sin capa vegetal, etc.

Deben tenerse en cuenta, además, los siguientes principios generales:

Los terrenos cuya pendiente original máxima sea superior a un valor determinado no deben considerarse aptos para su reestructuración por el excesivo movimiento unitario de tierras, que comportaría, o bien por las reducidas dimensiones, que en una lógica planificación correspondería a estos perfiles.

Las longitudes de cada unidad tampoco procede hacerlas muy desproporcionadas en relación a los anchos de las mismas, por cuanto obligan a una mayor irregularidad en los lados de cada banal, multiplicando los quiebros y au-

mentando las distancias reales de transporte de las tierras dentro de cada unidad, para compensar los terraplenes con los desmontes, aunque la distancia teórica de transporte según la máxima pendiente pudiera parecer un invariante.

De hecho, los proyectos realizados con banales de gran longitud, para unas pendientes similares del terreno, tienen unos desmontes medios por hectárea, mayores que las zonas de banales más cortos y con las mismas anchuras.

Fijadas, pues, las normas iniciales determinadas de las zonas inhábiles, queda la parte más compleja del proyecto, es decir, la planificación sobre un plano del terreno, definido por sus líneas de nivel y sus accidentes naturales y artificiales, y que por su importancia debe considerarse en el proceso de escalonamiento del suelo.

Coefficientes de volumen.

Una vez definidos en planta los límites de cada banal, la transformación en escalón de superficie plana se realiza excavando la tierra de las cotas altas y vertiéndola en las zonas bajas de manera que al final de la operación la cota del escalón coincidirá estadísticamente y salvo análisis de esponjamiento o compactación, con la cota media del terreno original.

El volumen movido en cada elemento corresponde al volumen de desmonte, caracterizado en cada punto por la altura de excavación en ese mismo lugar.

La profundidad media del desmonte realizado se conoce por cota roja media.

El volumen viene así definido por la superficie de desmonte, multiplicada por la cota roja media.

Cota roja media	I
Superficie desmonte	S_d
Volumen (desmonte)	V_d

$$V_d = S_d \cdot I.$$

Eponjamiento. — La tierra, al pasar de desmonte a terrellén, sufre proceso de esponjamiento en su excavación, seguida de una operación de compactado al ser extendida en las zonas de terraplén. Existen diversas tablas para relacionar el volumen ocupado en cada circunstancia por la misma masa de tierras.

En el caso de terrenos constituídos por mezclas de arcillas y arenas y extendidos con ma-

aria pesada, el coeficiente de transformación volumen de desmonte a terraplén puede considerarse con suficiente aproximación igual a la unidad por compensarse el esponjamiento con compactación.

Coef. esponj. = 1.

Volumen real y teórico. — La determinación del volumen teórico puede realizarse sobre el propio plano, conociendo los anchos de los bancales y las pendientes transversales. El volumen real se determina sobre el propio terreno, normalmente, subdividiendo el bancale en suficientes porciones y deduciendo las diferencias, positivas o negativas, entre la cota media del conjunto y la propia de cada porción, ponderadas según la superficie de ésta.

Al no ser suficientemente exactos los datos para determinar el volumen teórico deducido en los planos, ocurre que, normalmente en dicho volumen, no se consideran accidentes, que aparecen al medir sobre el propio terreno, por lo que los volúmenes teórico y real no suelen coincidir, e incluso llegan a tener enormes diferencias.

Estos accidentes, que pueden tener alturas o profundidades medias similares en toda una zona, influyen mucho más sobre las pendientes que las de pequeñas profundidades de excavación, que sobre los movimientos realizados en grandes pendientes.

Las diferencias entre los volúmenes reales y teóricos pueden ser positivas o negativas. No obstante, y por diversas circunstancias, resulta que, estadísticamente, el volumen real es muy superior al teórico calculado sobre un plano definido por líneas de nivel de frecuencia normal.

Entre las mencionadas circunstancias, la principal es, en primer lugar, la existencia de un límite inferior (volumen nulo, y la inexistencia de un límite superior proporcionado con los accidentes internos del bancale, como el caso ofrecido por una loma situada entre dos puntos de la misma cota, los cuales al definir una pendiente nula producirían paralelamente un volumen teórico nulo, pudiendo alcanzar el verdadero volumen una cuantía considerable.

Así, sobre algunas grandes planificaciones de jardines, aptas para realizar en ellas análisis estadísticos, se han podido deducir unos coeficientes de relación de volumen real al teórico y los siguientes valores:

Coeficiente incremento ($C_{incr.}$)

Relación $\frac{\text{Vol. real}}{\text{Vol. teor.}}$	2,00	1,30	1,20	1,15	1,10	1,05	1,00
Pendiente natural del terreno (%)	0-1	1-2	2-3	3-4	4-6	6-10	7-10

Estos coeficientes se expresan exclusivamente para informar sobre un orden de valores, ya que pueden variar de un proyecto a otro, sobre todo cuando éste queda limitado a una pequeña zona, aunque, desde luego, nunca debe olvidarse el criterio enunciado.

El coeficiente de incremento ($C_{incr.}$), puede reducirse cuanto más exhaustivo sea el levantamiento topográfico y más próximas sean las cotas de las líneas de nivel, puesto que estas líneas acusarán cada vez más accidentes de los inicialmente incluidos en el $C_{incr.}$.

El cuadro deducido se ha construido para curvas de nivel de metro en metro.

De esta manera, si suponemos varias zonas inconexas de terreno con distintas pendientes cada una de ellas, y se desea que el volumen medio movido por hectárea sea el mismo en todas ellas, y con bancales, siguiendo aproximadamente las líneas de nivel, resulta que los anchos medios de cada bancale deben estar afectados por los coeficientes de incremento, según la fórmula que se indica:

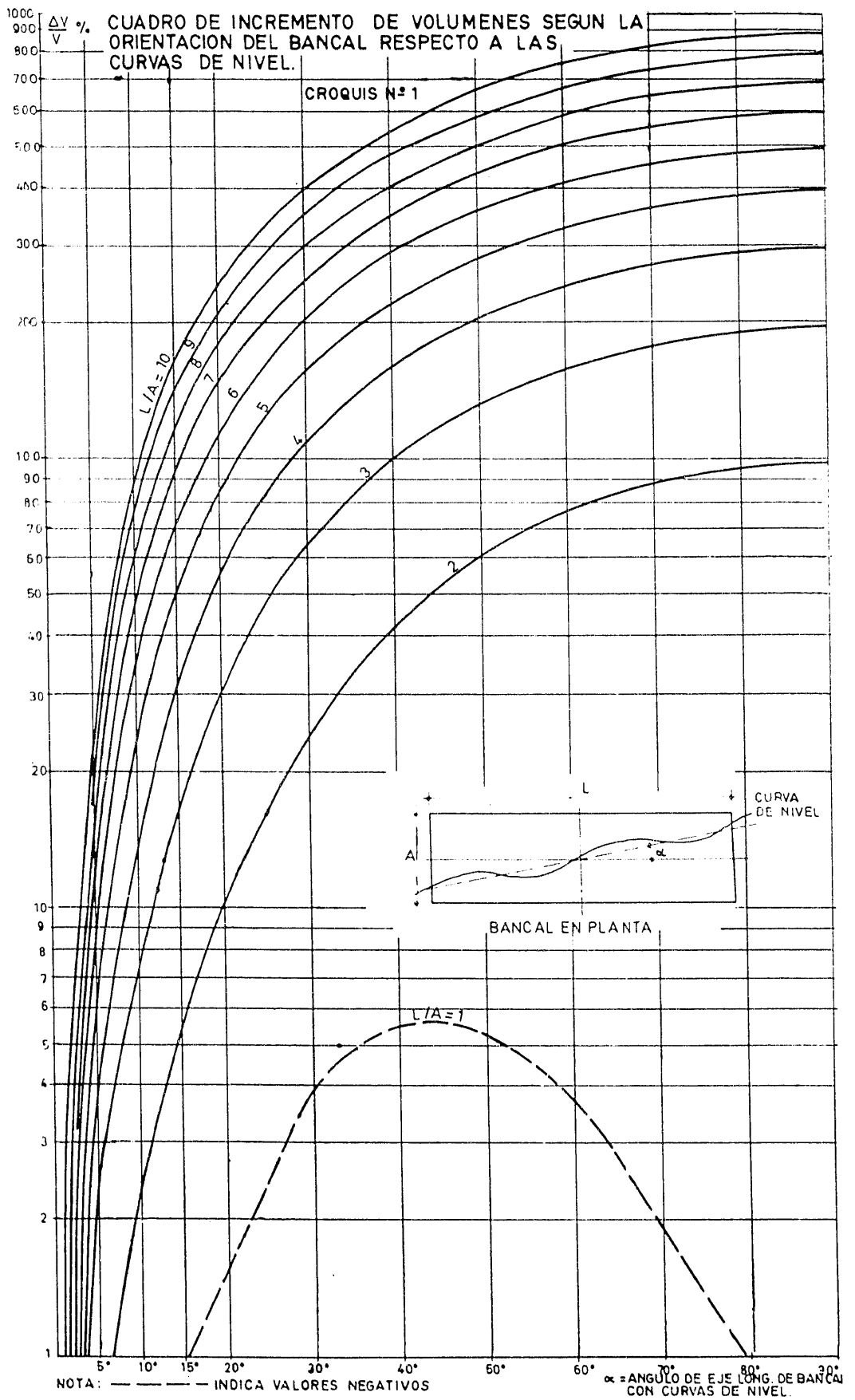
- Ancho de bancale A
- Pendiente natural máxima P T (según plano).
- Coeficiente de volumen real sobre el teórico $C_{incr.}$
- Constante para la zona K

$A (m.) = \frac{1}{C_{incr.}} \cdot \frac{K}{P T}$
--

Los anchos así definidos pueden estar limitados inferiormente, con el fin de no establecer dimensiones menores de un valor determinado, ya sea por causas constructivas, económicas, etcétera. Al rebasar la pendiente que corresponde a dicha anchura límite, deja de cumplirse la relación de la fórmula anterior.

Paso de volumen de n a $n + 1$ bancales: El hecho de subdividir una parcela en $n + 1$ bancales, en lugar de hacerlo en n , equivale a disminuir el volumen total movido en la parcela

SEMI-LOGARITMO DE 3 CICLOS Y 9 UNIDADES NATURALES



Croquis 1.

en una proporción que para pendiente constante tiene el siguiente valor:

$$\frac{\text{Vol. } n \pm 1 \text{ bancales}}{\text{Vol. } n \text{ bancales}} = \frac{n}{n \pm 1}$$

De donde cuanto mayor es n , menos influye el aumentar o disminuir en una unidad la distribución de escalones.

Orientación del bancal.—El volumen de cada bancal, para unas dimensiones determinadas medidas en proyección horizontal, varía según la orientación que el eje longitudinal del bancal tenga en relación con la dirección media de las líneas de nivel.

Los bancales con su lado mayor paralelo a las líneas de nivel (sentido de la longitud) son los de volumen mínimo.

Al girar y formar un ángulo mayor de cero grados, el volumen comienza a aumentar hasta llegar a un máximo en los 90°.

El coeficiente de incremento según el ángulo de incidencia del eje del bancal con las líneas de nivel viene reflejado en croquis adjunto. (croquis núm. 1).

Las curvas del croquis número 1 se han calculado para bancal de planta rectangular y terreno sensiblemente uniforme, pudiendo generalizarse con poco error para bancales con poca variación de anchura en cada sección.

Longitud del bancal L
 Ángulo del eje medio del bancal con las líneas de nivel α

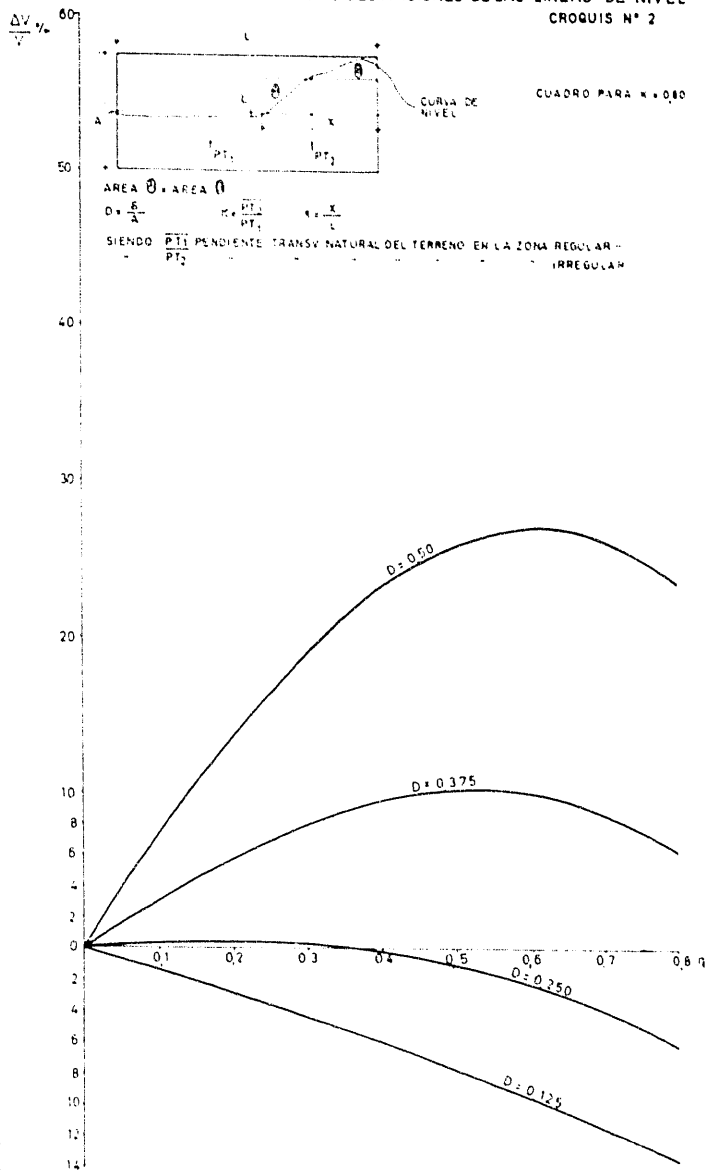
Irregularidad de las curvas de nivel.—Cuanto mayor es la irregularidad de estas líneas mayor es el volumen comprendido en el desmonte de un bancal a igualdad de las restantes circunstancias.

Si las sinusoides son interiores al bancal existe cierta compensación, y el incremento no es excesivo. Si la sinusoidad queda cortada por un extremo del bancal en uno de sus nodos, entonces se produce una variación máxima de incremento de volumen. En los croquis números 2, 3 y 4 se dan unos coeficientes calculados para diversos valores de las variables.

Como siempre, el bancal se representa en planta, siendo:

Longitud L
 Anchura A

INCREMENTOS DE VOLUMEN SEGUN LAS DESVIACIONES DE LAS LINEAS DE NIVEL
 CROQUIS N.º 2



Croquis 2.

El resto de los datos se indican en los croquis.

Las coordenadas son:

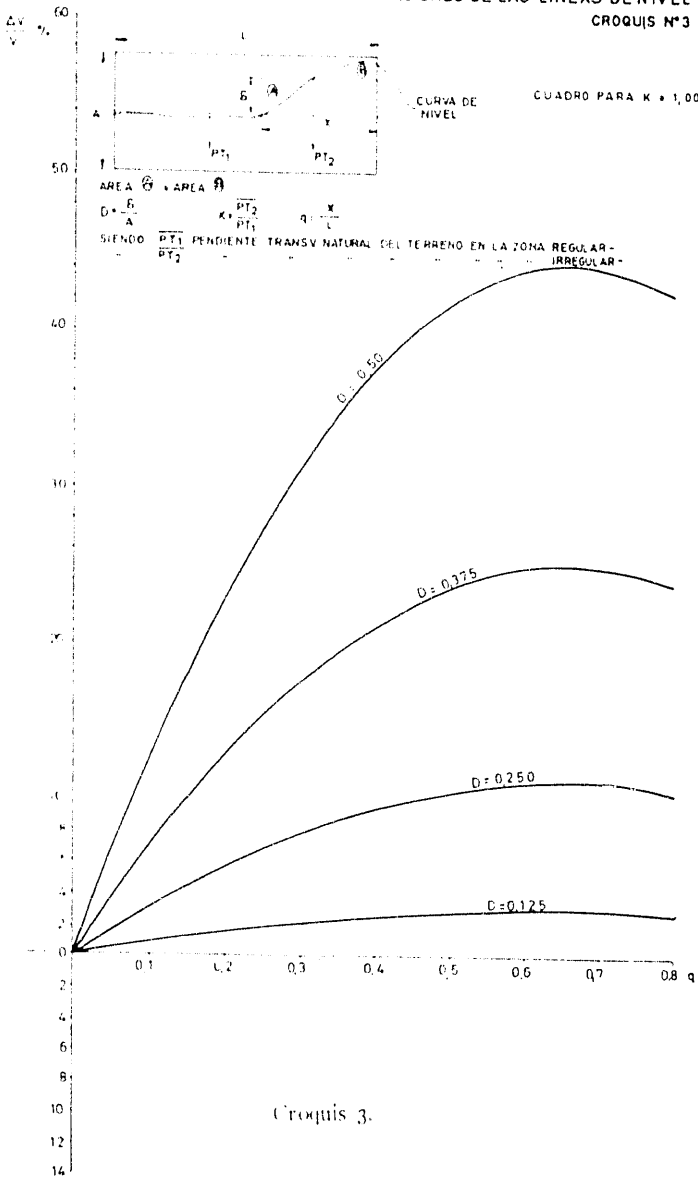
Ordenadas = incremento de volumen en % ($\Delta V/V$).

Abscisas = relación entre la longitud de la zona irregular (x) y la longitud del bancal (L).

$q = x/L$, está representado hasta el valor $q = 0.8$.

Resumen de coeficiente de volumen.—El conjunto de todos los aspectos que hemos considerado analizado el volumen real movido en un terreno, con relación al volumen teórico simple

INCREMENTOS DE VOLUMEN SEGUN LAS DESVIACIONES DE LAS LINEAS DE NIVEL
CROQUIS N°3



determinado en los planos de proyectar, puede englobarse bajo un solo coeficiente, que podemos denominar coeficiente de volumen (C_v), el cual puede considerarse constituido por el producto de todos los parámetros estudiados en este capítulo.

Así:

$$C_v = C_{esponj.} \cdot C_{inclin.} \cdot (1 + \Delta V/V) \cdot (1 + \Delta V/V)$$

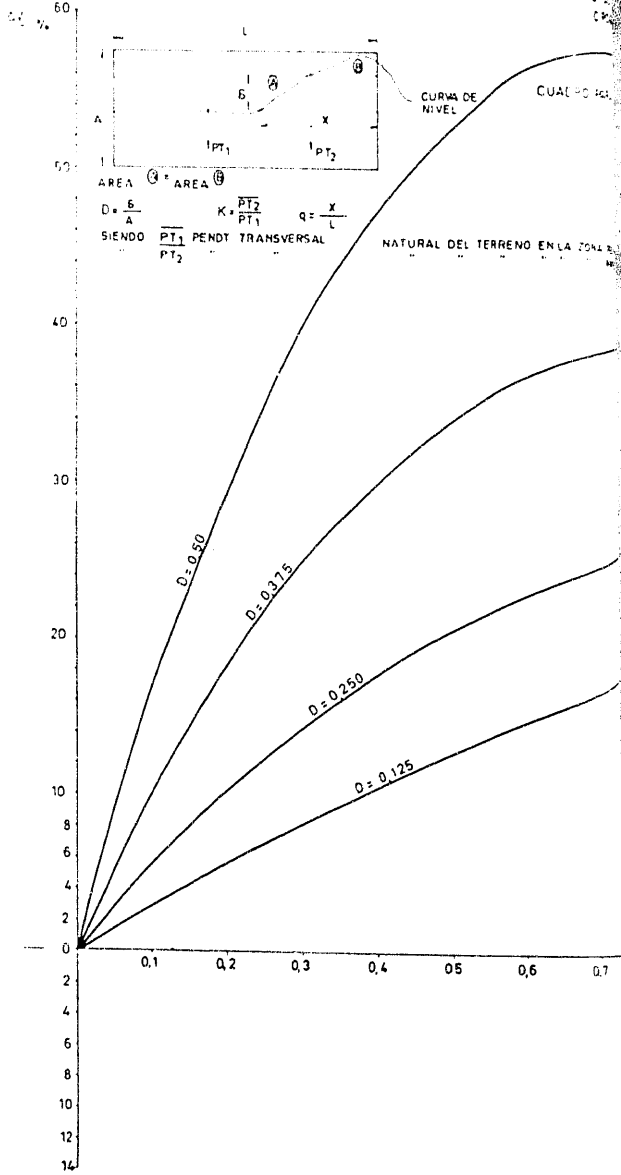
inclin. bancal
irregularidad líneas nivel

De esta manera el volumen real movido en un bancal, sería para todos los efectos igual al

teórico multiplicado por el coeficiente de volumen.

$$V_{real} = V_{teor.} \cdot C_v$$

INCREMENTOS DE VOLUMEN SEGUN LAS DESVIACIONES DE LAS LINEAS DE NIVEL



Así, pues, deseando constituir bancales de mismo rendimiento volumétrico por unidad de superficie, los anchos respectivos deberían cumplir la condición:

$$A (m.) = \frac{K_1}{C_v \cdot P T}$$

teniendo dichos símbolos los significados ya enunciados anteriormente:

K_1 = constante.

Como consecuencia de lo expuesto resulta una primera e importante deducción.

Siendo los volúmenes unitarios función de la pendiente del terreno, puede sustituirse para las deducciones el perfil real del terreno original por otro cuyas pendientes en cada punto sean el producto $C_1 \cdot PT$, equivalente a la existencia de un terreno imaginario o ficticio sobre el que se puede operar directamente para la deducción de los anchos respectivos por tener ya englobados los coeficientes de volumen.

Manteniendo en ambos casos la misma escala horizontal, las soluciones en el perfil ficticio se representan en el perfil original por una simple traslación.

Cualquier estudio de mínimos puede asimismo realizarse sobre dicho perfil imaginario sin la necesidad de posteriores correcciones.

Para realizar la transformación del perfil real al ficticio puede asimilarse aquél a una poligonal deduciendo el ficticio de un modo semejante a un funicular de cargas.

Coefficiente de tiempo.

El análisis del tiempo exigido para realizar un abancalamiento puede producirse bien a causa de la importancia que pueda tener dicha dimensión, tal como ocurre en los planes de urgencia o bien como paso obligado para definir los coeficientes de costos.

Al hacer un estudio del tiempo empleado en la realización de una excavación, aparece una nueva variante ajena al propio terreno y definida por los medios puestos en obra para realizar dicha operación.

Como núcleo de estos medios debe considerarse el equipo de excavación. Una vez definido este equipo, corresponde conocer los rendimientos del mismo bajo las diversas variantes, que a continuación se exponen.

Características del terreno. — El tipo de suelo influye en todos los movimientos de la máquina, pero adquiere suma importancia en el proceso de carga.

Existen diversas tablas y ábacos, incluso las facilitadas por los fabricantes de los propios

equipos, que determinan los diversos tiempos de carga, transporte y descarga de la tierra a excavar en función de las características del suelo, dureza, pegajosidad, rozamiento, etc. (Ver "Moving of Earth". P. Herbert Nichols, etc.).

Como porción crucial del tiempo total de un ciclo de excavación-transporte-descarga, se considera con especial detenimiento el proceso de carga.

Llenado del recipiente. — Existen unas máquinas en las que la variación de tiempo de carga para diversos llenados del recipiente, todos ellos próximos al tope, no influyen en los rendimientos de un modo apreciable. La estimación de cuando debe cesar el proceso de excavación e iniciarse el transporte o descarga es sencilla en este tipo de máquinas.

En cambio otros equipos, tales como los conjuntos de excavación con trailla de empuje o arrastre (*scrapers*), tienen una gran variación de rendimiento, según el tiempo dedicado al proceso de carga de la trailla. Cada equipo, al trabajar en un terreno determinado, tiene una relación media característica entre el tiempo de excavación y el volumen cargado.

En el croquis núm. 5 se representa una curva indicativa de esta relación. Puede observarse que para cargar los últimos metros cúbicos se necesita mucho más tiempo que para los primeros.

El porcentaje de trailla llenada debe, pues, ajustarse para conseguir el máximo rendimiento en volumen movido por unidad de tiempo. Así, para cortas distancias de transporte, no deberá agotarse la capacidad de carga de la trailla y sí, en cambio, para las mayores distancias.

Tiempo fijo de maniobra. — El conjunto del proceso de carga, agregado a las maniobras constantes en cada ciclo, determina lo que constituye el tiempo fijo de cada maniobra. Este período fijo puede valorarse en promedio para una zona dada:

$$\text{Tiempo fijo de carga (segundos)} = a.$$

Tiempo variable. — El tiempo de transporte de la carga es función, en su mayor parte, del tipo de máquina empleada y de la facilidad de rodadura sobre el terreno. Este coeficiente variable se define con un parámetro, con las dimensiones inversas de una velocidad, v tal que el multiplicar por la distancia de transporte resulte el

tiempo total variable de un ciclo de carga-des-carga-carga:

Parámetro del tiempo variable (seg. m.) $= b$.

Distancia de transporte (metros) D .

Tiempo total de un ciclo (seg.) $= a + b \cdot D$.

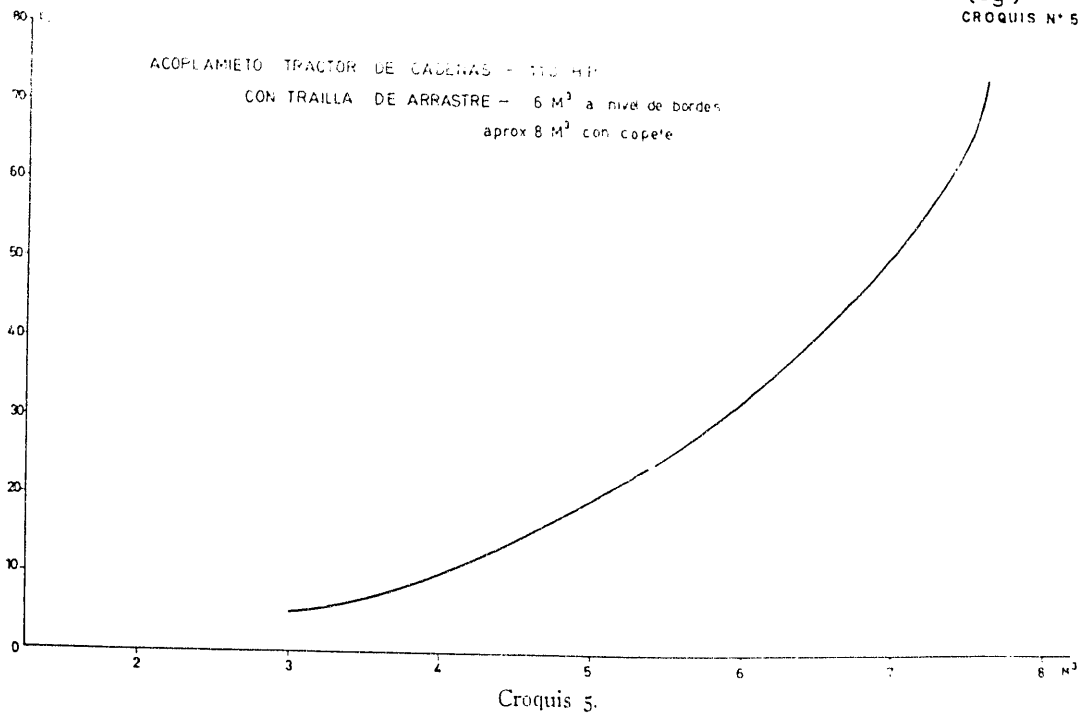
Las más importantes son:

- Número de quiebras del bancal.
- Anchos excesivamente pequeños.
- Angulos de esquina muy agudos.
- Cota media roja muy escasa.

Los tres primeros o no influyen notablemente

VARIACION DE CARGA(M³) EN FUNCION DEL TIEMPO.(sg)

CROQUIS N° 5



Distancias de transporte. — Teóricamente las distancias medias de transporte para bancales de lindes paralelas, aproximadamente a las líneas de nivel, son proporcionales a los anchos de bancal. Sin embargo, en la realidad y cuanto menos cuidadosos sean los proyectos, dichas distancias de transporte están mucho más influenciadas por la longitud del bancal que por su anchura, bien que de un modo estadístico y totalmente irregular. Por ello, para conseguir distancias de transporte similares, premisa conveniente para unificar rendimientos y equipos de maquinaria, es recomendable dar longitudes parecidas a la mayor parte de las unidades niveladas.

Coefficientes de forma. — Existen diversas características que dificultan la operación de la excavación con equipos de maquinaria, disminuyendo su rendimiento.

te o puede reducirse su frecuencia en un alto porcentaje.

La cota roja media, sin embargo, va entrañablemente unida a la pendiente del terreno, alcanzando valores muy pequeños para terrenos casi llanos.

El análisis que a continuación se expone se refiere preferentemente a equipos pesados de excavación, pudiendo generalizarse, no obstante, para equipos ligeros reduciendo los coeficientes en el porcentaje necesario.

La disminución de la profundidad permisible de excavación llega a un punto en el que la máquina excavadora no puede actuar en toda su capacidad, pues levantaría tierra que no debía ser desmontada.

Esta profundidad no corresponde a cotas medias rojas del orden de la penetración de la cu-

illa en carga, sino que comienza a actuar mu-
 antes con cotas medias de unos 30 cm.
 Esto se explica, en primer lugar, porque en
 montes de poco espesor las irregularidades
 terreno tienen un valor relativo alto y así
 en los lugares hay suficiente tajo para
 pleno cavado de cuchilla en otros es muy pe-
 o nulo.

Por otra parte, la misma causa dispersiva an-
 hace que la carga no progrese a un ritmo
 nimo o que aun siéndolo exija largas distan-
 para realizar la carga, so pena de no llenar
 trailla a plena capacidad.

La función que expresa la variación del coe-
 de aumento de tiempo, en función de la
 media roja, se ha recogido en una fórmula
 aproximada deducida como valor medio de una
 de datos estadísticos:

Cota media roja en cm. I .
 Coeficiente de forma, según la cota media
 roja para equipos de maquinaria pesada. C_1 .

$$C_1 = 0.837 + \frac{12.65}{(I - 8)^2 + 3.475} \quad \text{para } I = 33 \text{ cm.}$$

Esta función da para pequeños valores de I
 los coeficientes.

Así, para $I = 6$ cm., $C_1 = 4.08$.

Para $I = 33$ cm. resulta $C_1 = 1$, considerán-
 se ya dicho valor igual a la unidad para su-
 superiores valores de I .

Resumen de coeficientes de tiempo. — Si la
 capacidad de carga del equipo podemos eva-
 larla en Q (m.³), el rendimiento del mismo
 sería:

$$\text{Rendimiento} = \frac{Q \text{ (m.}^3\text{)}}{C_1 \cdot t \text{ (seg.)}}$$

Así, pues, el tiempo necesario para mover un
 volumen teórico calculado sobre planos, y con
 las consideraciones ya expuestas, sería:

$T =$ tiempo total en segundos.

$$T \text{ (seg.)} = \frac{V_{\text{teórico}} \cdot C_2 \cdot C_1 \cdot t \text{ (seg.)}}{Q \text{ (m.}^3\text{)}}$$

De aquí tenemos que reconsiderado el pro-
 de tiempos de un modo similar al de vo-

lúmenes, se puede aplicar a los primeros las mis-
 mas normas y demostraciones que a los volúme-
 nes, puesto que el factor t (seg.) Q (m.³), puede
 asimilarse a otro coeficiente semejante a los des-
 critos en el capítulo correspondiente.

Por esto, si queremos determinar bancales
 del mismo rendimiento en tiempo por unidad
 de superficie, sus anchuras medias deben cum-
 plir la condición correlativa a la expuesta para
 volúmenes:

$$A \text{ (m.)} = \frac{K_2}{C_2 \cdot C_1 \cdot \frac{t \text{ (seg.)}}{Q \text{ (m.}^3\text{)}} \cdot P T}$$

$K_2 =$ constante.

$P T =$ pendiente del terreno según el plano.

Por dicho paralelismo resulta que los estu-
 dios y demostraciones de mínimos de tierras se
 pueden trasladar a mínimos de tiempos dedu-
 ciendo el oportuno perfil ficticio:

$$P T_{\text{ficticio}} = P T \cdot C_2 \cdot C_1 \cdot \frac{t \text{ (seg.)}}{Q \text{ (m.}^3\text{)}} \cdot K_2$$

El factor K_2 , tiene como fin reducir el fac-
 tar $t \cdot Q$ a números sencillos próximos a la uni-
 dad.

El coeficiente de forma C_1 , puede también
 valorarse en valores de orden aproximado en
 función de la pendiente del terreno con los si-
 guientes resultados:

Coeficiente C_1	2.00	1.20	1.00
$P T$ (%)	0-1	1-2	> 2

Observación. — Debe quedar bien entendi-
 do que este coeficiente de forma es un paráme-
 tro afecto a un determinado tipo de maquinaria
 y que varía al variar éste.

En general, para máquinas ligeras, como
 tractores agrícolas con arrobaderas o pequeñas
 traillas, el coeficiente de forma se aproxima mu-
 cho a la unidad, y en los cálculos y gráficos se
 le puede considerar como tal, excepto en el caso
 de cotas medias de excavación muy pequeñas
 y que además existieran en alto porcentaje. En
 este caso procedería realizar un ajuste experi-
 mental de coeficientes.

En primera aproximación podría tomarse para los tipos de maquinaria ligera:

$$C_1 = 0,335 + \frac{5,06}{1/8^3 + 3,475}; \quad \text{para } l \leq 12,9 \text{ cm.}$$

Cuando $l > 12,9$ cm.; $C_1 = 1$.

Coefficientes de Costes.

Como elemento básico para definir una planificación debe disponerse siempre de un criterio económico que regule ésta, pues aunque por necesidades sociales o políticas se dispusiera de un sistema de libramientos sin tasa, siempre resultaría al final un módulo medio de costo por unidad de superficie, cuyo valor debe haber sido previsto, al menos aproximadamente por el proyectista, siendo deber del mismo el conseguir el máximo rendimiento de dicho módulo.

Normalmente como índice de los costos previstos para un movimiento de tierras en abancalamientos deben considerarse varios conceptos:

Valor del terreno en la zona que se quiere planificar, teniendo en cuenta el aumento que experimentará por las mejoras producidas en él.

Valoración del mismo según el destino o explotación a que se le someta.

El valor final resultante será tope superior del precio inicial más el de las obras efectuadas. Dicho de otra manera y de modo general, la operación debe ser rentable.

Del precio total asignado al conjunto de las obras a realizar, se separará un porcentaje normalmente alto, mayor del 50 por 100, para el movimiento de tierras.

Algunas partidas económicas son proporcionales a la superficie, y siendo el total de ésta un invariante para una zona determinada, esas partidas son de fácil deducción.

Otras se correlacionan con las longitudes del banca, tales como acequias o caminos, y otras, incluso con el número de unidades abancaladas, como entradas o tomas de riego.

Los costos de estas obras varían con la distribución que se haga de los banales, si bien se pueden valorar de modo aproximado haciendo la deducción correspondiente y procediendo a una posterior corrección en la disposición de las unidades, si resultasen cantidades que siendo importantes fuesen muy distintas de las inicialmente previstas.

Normalmente siempre se dispone a veces para planificar del monto aproximado destinado al movimiento de tierras, y de este costo parcialmente es del que nos ocupamos seguidamente.

Dado un equipo de maquinaria, que inicialmente supondremos homogéneo, puede deducirse el costo por hora de máquina funcionando, pudiendo verter en dicho costo prácticamente todas las operaciones, que sin corresponder directamente al propio movimiento de tierras, están a él subordinadas. De esta manera el monto asignado por unidad de superficie puede representarse íntegramente en horas de máquina, también por unidad de superficie.

Si representamos por C_m el costo de máquina por unidad de tiempo, este coeficiente puede ser considerado en los mismos aspectos de los anteriores, y así tenemos:

$$\begin{aligned} & \text{Costo de un volumen teórico:} \\ & = C_m \cdot C_1 \cdot \frac{t \text{ (seg.)}}{Q \text{ (m.}^3\text{)}} \cdot C_v \cdot V_{\text{teór.}} \end{aligned}$$

Paralelamente los banales del mismo costo unitario deben cumplir la condición de anchura media:

$$A \text{ (m.)} = \frac{K_3}{C_m \cdot C_1 \cdot \frac{t \text{ (seg.)}}{Q \text{ (m.}^3\text{)}} \cdot C_v \cdot P T}$$

$K_3 = \text{constante.}$

El *equipo más rápido*, o sea el que tiene mayor rendimiento, es el que consiga el máximo producto:

$$\frac{Q \text{ (m.}^3\text{)}}{C_1 \cdot t \text{ (seg.)}}$$

Para equipos similares puede prescindirse de C_1 y deducir el máximo producto $Q \text{ (m.}^3\text{)}/t \text{ (seg.)}$.

El *equipo más económico*, es el que tiene el menor costo por unidad de superficie para el movimiento de tierras considerado el mismo valor del producto:

$$C_m \cdot C_1 \cdot \frac{t \text{ (seg.)}}{Q \text{ (m.}^3\text{)}}$$

Resumen de coeficiente de costos. — De lo expuesto se deduce, igual que en los capítulos

riores, que se puede constituir a efectos de terminación de mínimos, un perfil ficticio de pendiente en cada punto:

$$PT''_{\text{ficticio}} = C_m \cdot C_1 \cdot \frac{t \text{ (seg.)}}{Q \text{ (m.}^3\text{)}} \cdot C_2 \cdot PT.$$

De esta manera el problema gráfico de deducir el mínimo movimiento de tierras, se transforma en algo semejante a deducir el mínimo movimiento de capital.

Es muy importante hacer constar que si existe posibilidad y conveniencia de disponer de varios tipos de maquinaria, debe aplicarse a cada una o tramo de zona aquél que mejor se adapta considerando por lo tanto en cada lugar su coeficiente propio $C_m \cdot C_1 \cdot t \text{ (seg.)} / Q \text{ (m.}^3\text{)}$, para que produzca el costo mínimo o los correspondientes a tiempos o volúmenes mínimos.

Así, en terrenos de gran distancia de transporte conviene reducir el sumando $b \cdot D$ en el coeficiente $t \text{ (seg.)}$, llegando a maquinaria de alta velocidad de transporte.

Si la cota roja media es muy baja, con lo que C_1 en maquinaria pesada alcanzaría valores considerables, conviene reducirlo utilizando maquinaria ligera. En maquinaria ligera el factor $Q \text{ (m.}^3\text{)}$ (capacidad de carga) es pequeño, por lo que en cada caso existirá un punto de equilibrio, a partir del cual interesará uno u otro tipo de equipo.

mínimos en los movimientos escalonados de tierras.

El estudio que a continuación se desarrolla responde a la deducción de los mínimos movimientos, tiempos de ejecución o costos de un abancalamiento en el que se ha definido alguno de los siguientes valores:

Superficie media de bancale (o su equivalente, número total de banales).

Longitud media de linde por unidad de superficie (o su equivalente, longitud total de linde).

Normalmente, dicho mínimo así definido es recíproco, es decir, que su solución corresponde también a la deducción de mínima longitud de linde o de número de banales para un volumen medio asignado por unidad de superficie,

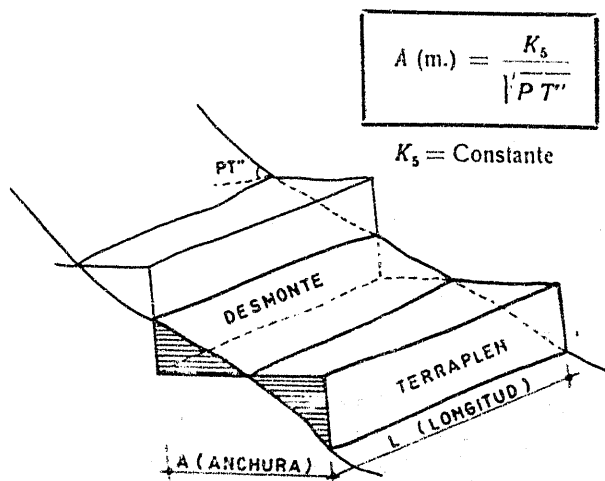
caso que es el que normalmente se da en la práctica.

Se consideran dos posibilidades: 1.ª El abancalamiento cubre diversas zonas inconexas entre sí. 2.ª El movimiento de tierras se realiza en zona única. Este segundo caso resuelve, naturalmente, cada una de las zonas independientes del primer caso una vez deducidos sus valores medios.

1.º Zona distinta. — Suponemos inicialmente que cada una de las zonas es dentro de ella suficientemente regular en pendientes del terreno y longitudes medias de desarrollo de los banales.

Se demuestra fácilmente que las condiciones de volumen mínimo para unas longitudes de linde determinadas se cumplen cuando "las anchuras de bancale son inversamente proporcionales a las raíces cuadradas de las pendientes", considerando estas últimas en su sentido amplio de pendiente ficticia, según la teoría expuesta en puntos anteriores.

Ello equivale a igualdad de volumen por unidad de longitud de bancale.



Si en lugar de la longitud total de linde, que es lo que normalmente interesa disminuir, se considerase el número de banales (equivale a superficie media definida), la condición de mínimo para zonas distintas es:

$$A \text{ (m.)} = \frac{K_4}{\sqrt{L \cdot PT''}}$$

donde se ve que interviene la longitud de los banales.

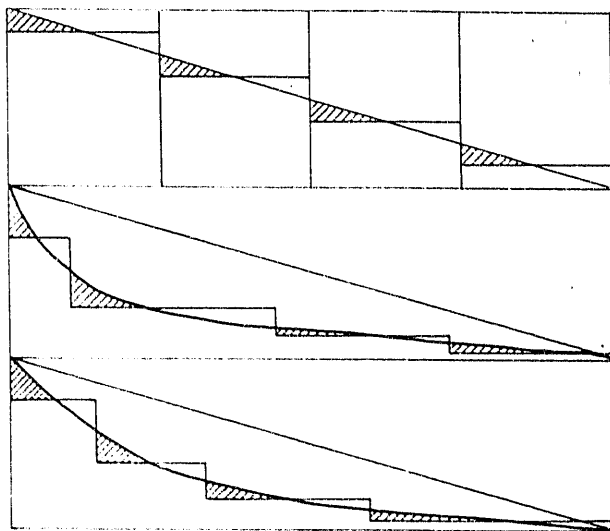
Esta condición equivale a la igualdad de volúmenes de cada bancale.

Si la pendiente del terreno y la longitud de las zonas no pudiese considerarse uniforme, ni aproximadamente, caben dos soluciones: A) Subdividir cada zona en tramos distintos y considerarlos como zonas independientes. B) Considerar a efectos de cálculo una pendiente igual a la media definida por el perfil, pero afectada de un coeficiente estimativo que refleje la variación de volumen total movido en la zona cuando el perfil se aparta de la línea recta.

En general, y siguiendo con la solución B), la variación de volumen total movido está influida, para diversos tipos de perfil, principalmente por las distancias medias de cada punto del mencionado perfil a la cuerda que une sus extremos, definiendo al mismo tiempo la pendiente media del mismo.

En este caso, sólo la experiencia o un tanteo previo, o incluso una tabulación aproximada pueden definir el coeficiente de variación de los volúmenes mínimos de los perfiles según se van alejando de la cuerda que une sus extremos. Se expone seguidamente un ejemplo particular.

Croquis de variación del volumen mínimo para perfiles con cuatro bancales y la misma pendiente media.



↓ A ↓

A = ANCHO DEL BANCAI.

Perfil plano.

Volumen máximo (de los mínimos) = $V_{\text{máx.}}$

Perfil de caída rápida.

Volumen = $0,86 V_{\text{máx.}}$

Perfil de variación suave.

Volumen = $0,86 V_{\text{máx.}}$

Los coeficientes de reducción, que afectarían a cada pendiente serían: 1,00, 0,86 y 0,86.

Deducción de la constante K_5 .

En este capítulo, denominado "Zonas distintas", se expuso que la determinación de los anchos medios de los bancales de cada zona estaban afectados de un coeficiente constante para toda la localidad o conjunto de zonas, y que representaba por K_5 .

Este valor se determina para que al afectar con él a toda la zona, el volumen resultante de tiempos de ejecución o costos coincida con el previsto. Se recuerda que es indiferente hablar de resultados totales o unitarios, puesto que ambos están relacionados por el dato conocido de la superficie total abancalable.

Así, pues, si tenemos:

S_i = superficie total abancalable de la zona i .

PT'_i = pendiente media ficticia de terreno en zona i .

α_i = coeficiente de disminución del volumen medio al alejarse el perfil de su cuerda.

$V_{\text{sup.}}$ = volumen (tiempo, Costo) medio por unidad de superficie a mover en la localidad o conjunto de zonas.

resulta:

$$K_5 = \frac{S \cdot V_{\text{sup.}} \cdot \sum (S_i)}{\sum (S_i \cdot \sqrt{\alpha_i \cdot PT'_i})}$$

Una vez definido el ancho del bancal como promedio en cada zona, podemos operar directamente con él sobre el propio perfil, pero es preferible definir a su costa el número de bancales de la zona correspondiente, dividiendo el ancho medio de la misma por el ancho medio deducido para sus bancales. En cualquier caso y dentro ya de cada zona, se operará según la solución expuesta en el siguiente apartado.

2.º Zona única. — Si una superficie de terreno no se quiere dividir en un número determinado de bancales, existe una distribución que produce el mínimo movimiento de tierras, mínimos tiempos de ejecución o mínimos costos, según sea variable por la que se rija la excavación.

Dentro de una misma zona es similar hablar de número de bancales o de longitud de lindero tanto más exactamente cuanto mayor es el terreno.

o de aquéllos, puesto que ambos están directamente relacionados por el largo medio de parcelación.

Se demuestra mediante artificio geométrico dado en la definición de mínimo, el postulado a continuación se expone:

"Dado un terreno cualquiera (incluso definido en su sentido amplio de PT ficticia), que se divide en un número n de escalones, las condiciones necesarias y suficientes para determinar un volumen total mínimo de desmonte son:

1.º Las lindes entre los diferentes bancales serán constituídas por líneas de nivel del terreno.

2.º Cada dos bancales consecutivos deben cumplir que el producto de la cota media del terraplén en la linde del bancal situado más alto, por su superficie unitaria de desmonte, debe ser igual al producto de la cota media de desmonte de la linde común del bancal más bajo por su superficie unitaria de terraplén.

Es decir, según las distancias del croquis adyacente debe cumplirse:

MN = Línea de nivel del terreno.

Siendo t_{m1} = Valor medio de la altura de terraplén sobre la línea de linde.

d_{m2} = Valor medio de la altura de desmonte bajo la línea de linde.

$ABEF = S_{D1}$ (Superficie en desmonte). Bancal alto.

$ABCD = S_1$ (Superficie total). Bancal alto.

$cdfe = S_{T2}$ (Superficie en terraplén). Bancal bajo.

$abcd = S_2$ (Superficie total). Bancal bajo.

debe cumplirse:

$$t_{m1} \cdot \frac{S_{D1}}{S_1} = d_{m2} \cdot \frac{S_{T2}}{S_2}$$

Aunque la relación deducida es sólo teóricamente válida para un entorno de la linde que da el mínimo volumen total, sin embargo, se puede demostrar fácilmente que el terreno tiene que ser muy accidentado, con acusadas lomas y vaguadas, para que en cada zona pueda existir más de un mínimo.

La tesis expuesta de mínimo puede corroborarse con un perfil de parábola, en la que la deducción de áreas es relativamente sencilla.

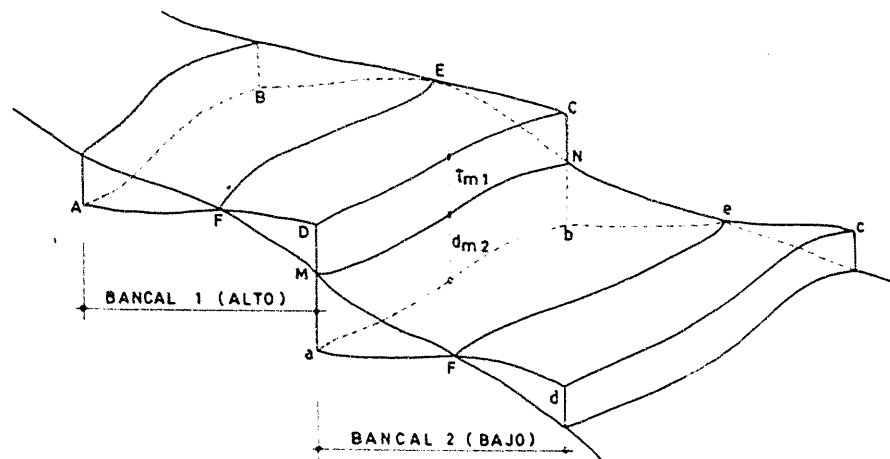
Extensión de la solución.

Las relaciones deducidas no tienen ninguna limitación de borde, por lo cual es válida para cualquier zona la aplicación de la anterior teoría. Dentro de la zona única sólo se exige que no exista discontinuidad en la superficie, es decir, que dos puntos de la zona puedan siempre unirse por una línea que no tenga puntos exteriores a aquélla.

Sistema operativo práctico dentro de zona única.

Una vez deducido el número de bancales correspondientes a cada zona (ver "Zonas distintas"), se puede operar como sigue:

1.º Para zonas cuyos bancales se estimen de longitudes similares, se define el perfil ficticio



medio ponderado, es decir, que en cada cota la pendiente representada sea la media de las pendientes en toda la línea de nivel.

Si los largos de bancales fuesen a resultar muy desiguales, deben efectuarse posteriores correcciones en función de las superficies reales proyectadas en planta.

2.º Se efectúa un primer tanteo rápido, comenzando por la parte alta del perfil con compensación aproximada de áreas (desmonte con terraplén) hasta encajar aproximadamente las lindes de los banales aplicando la fórmula de mínimo.

3.º Puede dibujarse un segundo proceso, deduciendo con regla de cálculo los valores $T_1 \cdot S_{D1}/S_1$ del primer bancale y los correspondientes del bancale siguiente, o sea el desmonte D_2 , para lo que se calculará aproximadamente el valor previsible S_{T2}/S_2 . En este segundo tanteo la compensación del desmonte y terraplén puede efectuarse con el auxilio del planímetro.

Según el resultado de borde del último bancale, que en general no coincidirá con el extremo inferior del perfil, se realizará, ya más rápidamente, otro proceso gráfico que "horquille" dicho punto.

4.º Por interpolación aproximada entre los anteriores procesos gráficos se determinarán las lindes de banales, ya sin necesidad de deducir las líneas de paso de desmonte a terraplén. Estas líneas se definirán posteriormente al hacer la compensación sobre el propio terreno.

Aunque la solución no se deduzca exactamente, debe tenerse en cuenta que por ser mínimo y por lo tanto con derivada nula, los incrementos en un entorno reducido son de muy pequeña cuantía.

5.º En el propio perfil pueden plasmarse otros datos limitativos o meramente indicativos, tales como los de profundidad de tierra cultivable, etc., que puedan informar sobre las decisiones a adoptar.

Bancales de horizontales o de lindes en talud.

En el caso de que los escalones tengan ciertas pendientes longitudinales o transversales, o sus lindes se construyan en talud, en lugar de verticales, es perfectamente válida la solución adoptada, sin más que considerar:

Las superficies (S_T , S_D , S) se tomarán en su proyección horizontal.

Las alturas de desmontes y terraplenes tomarán a efectos de cálculo en su proyección vertical.

Las compensaciones de desmontes y terraplenes se realizarán en su valor real.

Corolarios.

De la tesis expuesta se deducen diversas consecuencias, que se enuncian seguidamente:

I) Cuando la pendiente del perfil representado va disminuyendo, es decir, suavizándose, las cotas medias de excavación y terraplén van asimismo disminuyendo. Por esta causa, anchuras medias de bancale en todo el desarrollo tienden a aproximarse, contra la tesis frecuente que tiende a producir banales del mismo rendimiento volumétrico unitario, correspondientes con esta última grandes anchos para las menores pendientes.

II) Las pendientes medias de caminos, cañales transversales de distribución, etc., pueden ser por este medio más uniformes, por aumento de los anchos de los banales o escalones en cotas de mucha pendiente y tender, por lo tanto, el perfil medio definitivo a disminuir curvaturas verticales.

III) Para un terreno de pendiente sensiblemente constante, los anchos de bancale son iguales.

IV) Cuando por diversas causas las anchuras estén limitadas en algunas cotas, dicha porción quedará excluida de la deducción del cálculo de mínimo.

Orientación de los banales.

Siendo prácticamente imposible proyectar según la primera condición de la tesis de mínimo, o sea, constituyendo lindes, que sigan líneas de nivel, se precisa un criterio para sustituir las curvas de nivel por rectas, que definen volúmenes tales, que se aparten lo menos posible de cada mínimo.

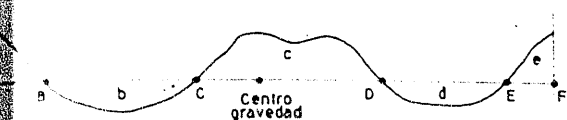
En el proceso de demostración surge que los incrementos segundos de volumen son proporcionales a la superficie en proyección horizontal limitada por la linde en curva de nivel (que produce el mínimo) y la linde tomada como variación de esta como artificio de cálculo.

Podemos por lo tanto considerar, que la no

adaptada a una curva de nivel con el fin de conseguir el menor volumen de abancalamiento, es aquella que cierra con dicha línea la mínima superficie.

Es decir, según el croquis debe cumplirse:

$$a + b + c + d + \dots = \text{mínimo.}$$



Superficie vista en proyección horizontal.

Se demuestra que la recta de mayor adaptación para satisfacer la menor superficie encerrada debe cumplir dos condiciones simultáneas.

1.º La suma de segmentos rectos, interceptados por la curva de nivel y que dejan áreas adas a un lado de la misma recta, debe ser igual a la suma de segmentos, que dejan hacia otro lado el resto de la figura.

2.º Los centros de gravedad de cada grupo de segmentos deben ser coincidentes. Confundidos, por lo tanto, con el centro o punto medio del conjunto.

Según el croquis:

$$1. \quad AB + CD + EF + \dots = BC + DE.$$

2. El centro de gravedad de los segmentos AB , CD y EF coincide con el centro de gravedad de BC y DE .

Para conseguir dicha posición de la recta, basta un tanteo aproximado, pues cualquier pequeña variación de la situación de máxima adaptación, modifica rápidamente las condiciones de cumplimiento del último postulado, sin cambiar, por el contrario, de modo apreciable el volumen total de los abancalamientos.

Queda al arbitrio del proyectista establecer para cada linde uno o más quiebros para mejor

adaptarse a las líneas de nivel. Para que la línea quebrada resultante sea, asimismo, de la máxima adaptación, cada segmento debe cumplir independientemente las condiciones anteriores. Podría parecer, que dichos quiebros podrían aumentarse en gran número con el fin de mejor ceñirse a las líneas de nivel, pero el perjuicio que causan en la construcción y posterior explotación es tan considerable, que deben quedar limitados en un número muy bajo. Tres quiebros en alguna de las lindes (poligonal de cuatro segmentos) es ya un número poco frecuente.

Resumen.

Con el estudio expuesto queda abierto un método racional de abancalamiento, que por lo menos, parcial y aproximadamente convendría aplicar, sobre todo en las grandes planificaciones, en las que cualquier ahorro sistemático puede alcanzar cifras considerables.

El método resumido consiste en:

1.º Definir el terreno abancalable y, a ser posible, las características de rendimiento del equipo de maquinaria.

2.º Representar a la mayor escala posible los perfiles medios ficticios de cada zona, según los criterios expuestos. Asignar a cada una el número correspondiente de bancales.

3.º Deducir por el criterio de mínimo volumen los anchos de cada bancel con el auxilio del perfil ficticio.

4.º Dar las orientaciones de las lindes, constituyéndolas con tramos rectos o quebrados.

5.º Debe considerarse cualquier iteración posterior, que pueda mejorar las condiciones de la obra.

No cabe duda, que el proceso de cálculo exige cierta laboriosidad; sin embargo, sus resultados económicos o funcionales, dado el tipo de trabajo que ampara, pueden alcanzar tal cuantía, que no ha lugar el mencionado inconveniente.