

CAPITULO.V

MOVIMIENTO DE SUELOS

I.- GENERALIDADES.

En el presente apartado trataremos todo lo referente al movimiento de suelos, compensaciones transversales, longitudinales y determinación de distancias medias de transporte.

Es conveniente destacar la importancia que tiene un estudio adecuado del movimiento de suelos, tanto desde el punto de vista técnico como económico. En muchos casos los resultados obtenidos del cálculo de movimiento de suelos obligan a rever el proyecto de la rasante, para ajustarla, evitando así, mover grandes volúmenes de tierra en exceso o en defecto.

Muchas veces, sin que por ello se resienta la bondad técnica de la rasante, es posible efectuar ajustes en la misma, que a priori del cálculo del movimiento de tierra son muy difíciles de prever y que redundarán en una evidente economía de las obras a realizar.

Otro aspecto que es necesario destacar es el relativo al grado de exactitud necesario en el cálculo de movimiento de suelos. La mayoría de las obras clásicas que tratan este tema incluyen métodos analíticos de carácter teórico que tienen indudablemente un gran valor académico, no obstante nos inclinaremos en este curso por métodos en general gráficos o numéricos expeditivos, tal cual se emplean generalmente en la práctica actual.

Se estima que un refinamiento de cálculo, frente a causas de error derivadas de las irregularidades locales del terreno, el esponjamiento o la contracción variable de los suelos, los diferentes asentamientos la impresión del levantamiento topográfico, replanteo y dibujo no justifican métodos laboriosos que redunden en pérdidas muy grandes de tiempo.

Baste decir corroborando lo expuesto, que Vialidad Nacional al efectuar el cómputo métrico del volumen de suelos, el cálculo teórico lo afecta por un coeficiente, generalmente de 1,4, por compactación y al total así obtenido por un 10% de imprevistos.

II.- ANCHO Y SUPERFICIE DE LA ZONA OCUPADA.

Tanto el ancho de la zona ocupada por terraplenes o desmontes como su superficie dependen de la cota roja y la inclinación transversal del terreno natural.

Llamamos área de ocupación a la superficie comprendida entre las intersecciones de ambos taludes con el terreno natural, líneas que llamaremos de pie de taludes. En la práctica se admite que estas intersecciones son las rectas que unen los puntos pie de taludes de secciones transversales consecutivas.

El método gráfico es el más expeditivo y práctico para determinar el ancho de la zona ocupada, en efecto: se dibujan los perfiles transversales y se mide en cada uno de ellos el ancho de ocupación.

En el caso, de no haberse tomado perfiles transversales por no exigirlo las condiciones topográficas, dicho ancho puede determinarse con un simple cálculo geométrico.

Una vez determinados los anchos de ocupación en cada uno de los perfiles transversales y conociendo las distancias entre ellos, puede determinarse fácilmente las áreas de ocupación.

Entre dos perfiles sucesivos tendremos:

$$A = \frac{l_1 + l_2}{2} \times d$$

Donde:

A = Área de ocupación.

l_1 = ancho ocupación perfil 1.

l_2 = ancho ocupación perfil 2.

d = distancia entre perfiles 1 y 2.

Existen métodos analíticos para estas determinaciones, pero son laboriosos, no justificándose su aplicación, pues la precisión obtenida por los métodos gráficos es suficiente.

III.- AREA DE TALUDES.

En muchos casos es necesario tener que determinar el área de los taludes de terraplenes o desmontes, ya sea porque se proyecta revestirlos o protegerlos por medio de estabilizadores o plantaciones.

Como en el caso anterior, el método gráfico es el más rápido y que más se practica y consiste en medir en cada perfil la longitud de los taludes.

Determinadas las longitudes de los taludes, las áreas se obtienen fácilmente, en efecto entre dos secciones consecutivas tendremos un trapecio que tiene por bases las longitudes de los taludes y por altura la distancia entre

los dos perfiles. Cuando se pase de desmonte a terraplén habrá un punto de longitud nula de talud, al cual habrá que referir las áreas de las dos secciones consecutivas que serán en este caso las áreas de dos triángulos.

En los tramos de camino en curva, las áreas de los taludes pueden considerarse como porciones de superficies cónicas, pues esta hipótesis aunque no responde estrictamente a las condiciones reales, permite obtener una suficiente aproximación.

IV.- AREAS DE PERFILES TRANSVERSALES.

Generalmente los perfiles transversales se dibujan en papel milimetrado y en escala 1:100, debiendo medirse su superficie para poder calcular el volumen de suelos.

La determinación de las áreas puede efectuarse por dos procedimientos, uno gráfico-analítico y otro por medio del planímetro; es este último procedimiento el que se utiliza frecuentemente por ser muy rápido y suficientemente exacto. Es práctica común repetir el planimetrado de cada perfil como control y tomar para el cálculo el promedio de ambas lecturas.

El método gráfico-analítico, se reduce a descomponer o transformar el área del perfil en figuras cuya superficie pueda determinarse fácilmente; en general es laborioso pero se utiliza en los casos en que no se dispone del planímetro.

Hemos dicho que cuando el terreno natural sea sensiblemente horizontal o con pendientes transversales pequeñas no se toman perfiles; en estos casos deben prepararse tablas, si estas no existieran, en función de la cota roja y para determinados anchos de coronamiento de terra-

plén o desmonte y pendientes de los taludes, se obtienen las áreas correspondientes para cada sección transversal que sea necesario considerar.

V.- DETERMINACION DEL VOLUMEN DE TIERRA.

Determinadas las áreas de los perfiles transversales, pasaremos a calcular el volumen de suelo necesario para la construcción de las obras básicas proyectadas.

Existen varios métodos para su cálculo que pasamos a considerar:

a) METODO EXACTO APLICANDO LA FORMULA DEL PRISMOIDE.

Se llama prismoide al sólido limitado por dos caras planas y paralelas de forma cualquiera, llamadas bases y por una superficie reglada, engendrada por una recta que se apoya en ambas.

El volumen del prismoide se obtiene por la fórmula:

$$V = \frac{d}{6} (\Omega_1 + \Omega_2 + 4\Omega_m) \quad (1)$$

Donde:

d = distancia entre las bases

Ω_1 = área de la base

Ω_2 = área de la base

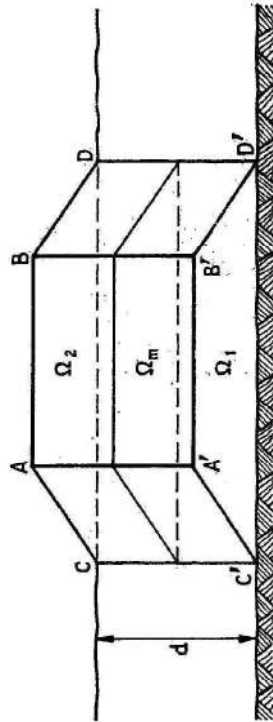
Ω_m = área de la base media

La sección del sólido del camino comprendida entre dos perfiles transversales podemos asimilarla a un prismoide, aclarando desde ya que esta hipótesis no es totalmente exacta.

Las dos bases del prismoide son los dos perfiles trans-

versales considerados; la superficie del camino y los taludes son superficies engendradas por una recta que se apoya en las bases, pero la superficie del terreno no es una superficie reglada, sino en general irregular.

Ahora bien, como los perfiles transversales deben haberse tomado en forma tal que el terreno entre ellos sea sensiblemente regular, se puede considerar la cara CD C'D' como engendrada por una recta que se apoya en las líneas CD y C'D', siendo sobre esta base exacta la aplicación de la fórmula anteriormente consignada.



b) METODO APLICANDO LA FORMULA DE LA MEDIA DE LAS AREAS.

Estudiada una simplificación de la fórmula del prismaoidal, a efectos de obtener una aplicación más sencilla y

$$\Omega_m = \frac{\Omega_1 + \Omega_2}{2} \quad (2)$$

Aunque matemáticamente esta igualdad no es tal, se acepta por cuanto en la práctica se obtienen aproximaciones suficientes y perfectamente compatibles con las necesidades del cálculo que se realiza.

Reemplazando el valor de (2) en la fórmula (1) tendremos:

$$V = \frac{d}{6} \left(\Omega_1 + \Omega_2 + 4 \frac{\Omega_1 + \Omega_2}{2} \right)$$

$$V = \frac{d}{6} (\Omega_1 + \Omega_2 + 2\Omega_1 + 2\Omega_2)$$

$$V = d \left(\frac{\Omega_1 + \Omega_2}{2} \right) \quad (3)$$

Esta fórmula sencilla es la que generalmente se utiliza en la práctica. Como una variante ya que se parte del mismo principio podemos hallar el volumen de suelos multiplicando el área de cada sección por la semisuma de las distancias entre perfiles. En efecto; sean: A_0 ; A_1 ; A_2 y A_3 las áreas de las secciones transversales consecutivas y d_1 ; d_2 y d_3 las distancias entre ellos; por lo expuesto anteriormente podemos establecer:

$$V = \frac{A_0 + A_1}{2} d_1 + \frac{A_1 + A_2}{2} d_2 + \frac{A_2 + A_3}{2} d_3$$

$$V = \frac{A_0 d_1}{2} + \frac{A_1 d_1}{2} + \frac{A_1 d_2}{2} + \frac{A_2 d_2}{2} + \frac{A_2 d_3}{2} + \frac{A_3 d_3}{2}$$

$$V = \frac{A_0 d_1}{2} + A_1 \frac{d_1 + d_2}{2} + A_2 \frac{d_2 + d_3}{2} + \frac{A_3 d_3}{2}$$

Este sistema resulta sumamente rápido y práctico cuando los perfiles han sido tomados en forma equidistante, ya que en ese caso al ser $d_1 = d_2 = d_3$, basta multiplicar el área de la sección por la distancia para obtener el volumen de suelo en el tramo en consideración.

c) MÉTODO APLICANDO LA FÓRMULA DE LA SECCIÓN MEDIA POR LAS DISTANCIAS.—

Por este método se calcula el volumen de suelos partiendo también de la fórmula del prismaide y estableciendo que dicho volumen es igual al producto del área de la sección media Ω_m por la distancia entre perfiles extremos, o sea:

$$V = d \Omega_m \quad (4)$$

VI.— ERROR COMETIDO CON LA APLICACION DE LOS METODOS ENUNCIADOS.

El error cometido aplicando la fórmula (3) de la media de las secciones extremas en lugar de la del prismaide, será:

$$\Delta_1 = \frac{d}{2} (\Omega_1 + \Omega_2) - \frac{d}{6} (\Omega_1 + \Omega_2 + 4\Omega_m) = \frac{d}{3} (\Omega_1 + \Omega_2 - 2\Omega_m)$$

Expresión que será positiva o negativa según Ω_m sea mayor o menor que la media de las secciones extremas.

El error cometido aplicando la fórmula de la sección media (4) respecto de la del prismaide será:

$$\Delta_2 = d \Omega_m - \frac{d}{6} (\Omega_1 + \Omega_2 + 4\Omega_m) = -\frac{d}{6} (\Omega_1 + \Omega_2 - 2\Omega_m)$$

$$|\Delta_2| = \frac{|\Delta_1|}{2}$$

o sea, que el error cometido al aplicar la fórmula de la sección media es la mitad y de signo contrario al cometido con la fórmula de la media de las secciones extremas. El error será positivo o negativo según el signo de la cantidad encerrada dentro del paréntesis.

VII.— VOLUMEN ENTRE PERFILES UNO EN DESMONTE Y OTRO EN TERRAPLEN.

Cuando se pasa de una sección en desmonte a otra en terraplén o viceversa, es necesario determinar la progresiva de la sección con cota roja nula. Se llama "punto de paso" al punto en que se verifica esa condición.

Si llamamos d_1 y d_2 a las distancias parciales desde las secciones extremas al punto de paso, D y T, a las áreas de desmonte y terraplén, se tendrá:

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{T}{D} ; \frac{d_1 + d_2}{d_2} = \frac{T + D}{D} ; \frac{d_1}{d_2} = \frac{T + D}{D}$$

$$\frac{d_1}{d_1 + d_2} = \frac{T}{T + D} ; \frac{d_1}{d} = \frac{T}{T + D} \quad \text{de donde:}$$

$$d_1 = d \frac{T}{T + D} \quad \text{y} \quad d_2 = d \frac{D}{D + T}$$

Para lo expuesto admitimos pendientes constantes tanto para la rasante como para el terreno natural.

La sección en el punto de paso puede considerarse como un perfil ficticio de área nula, y aplicando la fórmula de la media de las áreas, tendremos:

$$V_t = d_1 \frac{T + 0}{2} = d_1 \frac{T}{2}$$

$$V_d = d_2 \frac{D + 0}{2} = d_2 \frac{D}{2}$$

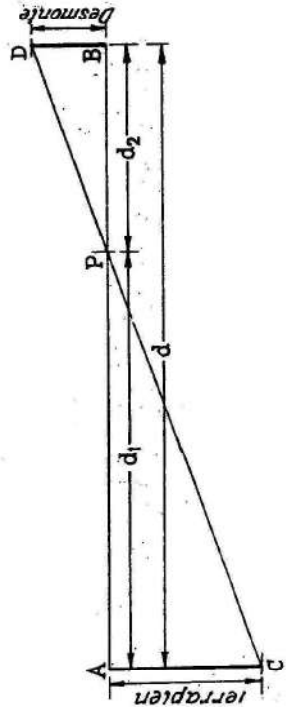
(5)

y sustituyendo los valores de las distancias parciales d_1 y d_2 .

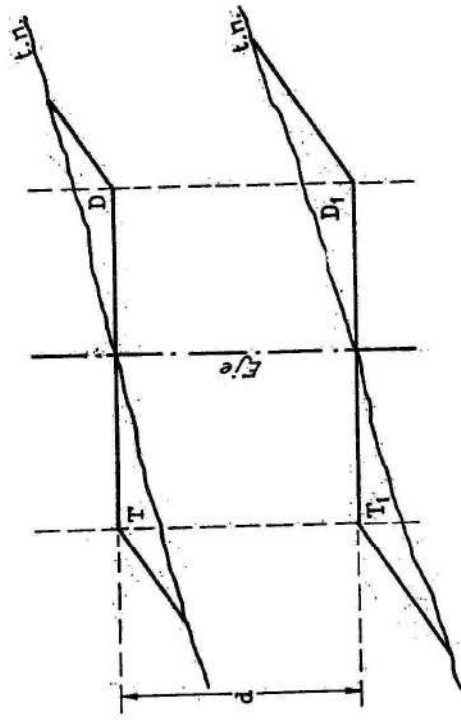
$$V_t = d \frac{T}{T + D} \times \frac{T}{2} = \frac{d}{2} \times \frac{T^2}{T + D}$$

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

Las fórmulas (5) demuestran que los volúmenes de desmonte y terraplén están representados por las áreas de los triángulos rectángulos que tienen por bases las áreas respectivas de desmonte y terraplén y por altura las distancias al punto de paso; por lo tanto, si por los extremos de una recta AB levantamos dos perpendiculares, AC y BD que en una escala determinada representen las áreas de desmonte y terraplén, llevando una hacia arriba y la otra hacia abajo y unimos los puntos C y D, el punto P será el punto de paso.



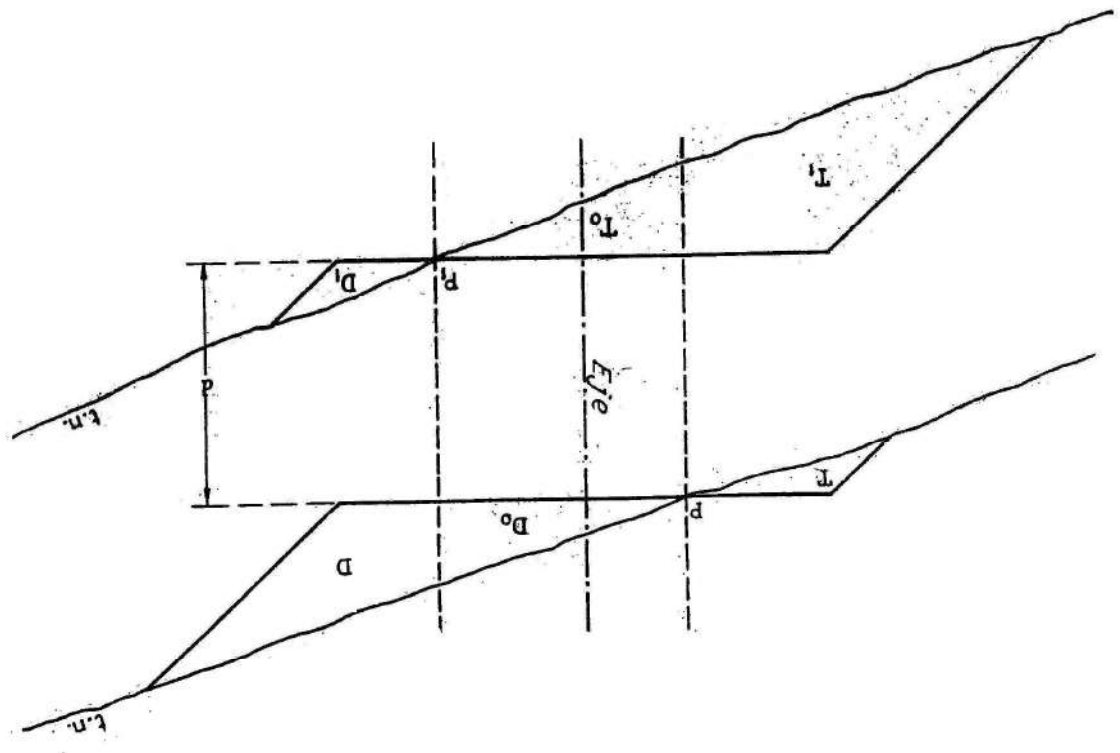
Quando los dos perfiles considerados sean perfiles mixtos de desmonte y terraplén, si los puntos de paso de las dos secciones están en una recta paralela al eje del camino, los volúmenes respectivos de desmonte y terraplén serán:



$$V_t = \frac{T + T_1}{2} \cdot d$$

$$V_d = \frac{D + D_1}{2} \cdot d$$

Si el punto de paso no estuviese en una recta paralela al eje, se opera trazando planos paralelos a este y que pasen por los puntos P y P', como se indica en la figura siguiente:



El volumen buscado se descompone en una parte formada por dos terraplenes T_1 y T_0 ; otra de desmonte D_0 y terraplén T_0 y por último, una formada por dos desmontes D_1 y D_0 .

Aplicando las fórmulas ya vistas obtendremos:

$$V_t = \frac{d}{2} (T_1 + T_0) + \frac{d}{2} \frac{T_0^2}{T_0 + D_0} = \frac{d}{2} \left(T_1 + \frac{T_0^2}{T_0 + D_0} \right)$$

$$V_d = \frac{d}{2} (D_1 + D_0) + \frac{d}{2} \frac{D_0^2}{T_0 + D_0} = \frac{d}{2} \left(D_1 + \frac{D_0^2}{T_0 + D_0} \right)$$

VIII.- CALCULO DEL VOLUMEN DE SUELOS CUANDO EL EJE DEL CAMINO ES EN CURVA.

Lo expuesto anteriormente se refiere a tramos de camino en recta, cuando el eje sea curvo en lugar de la distancia entre dos secciones transversales consecutivas, se tomará el desarrollo de la curva descripta por el centro de gravedad de la sección media.

Sean en la figura siguiente:

R = radio del eje del camino

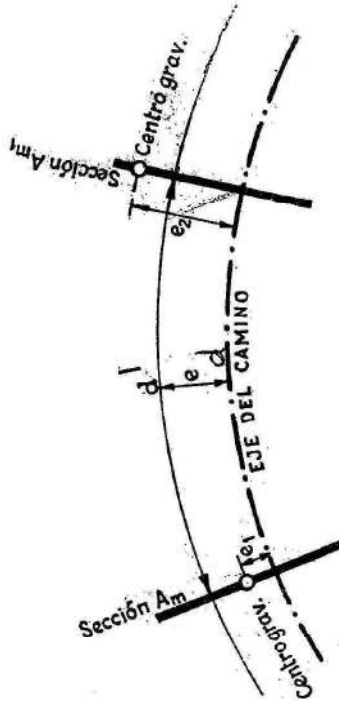
A_m = sección transversal

A_{m_1} = sección transversal consecutiva

e_1 = distancia entre el centro de gravedad de la sección A_m al eje.

e_2 = distancia entre el centro de gravedad de la sección A_{m_1} al eje.

d = longitud del arco de radio R comprendido entre ambas secciones.



El arco descripto por el centro de gravedad de la sección media es aproximadamente:

$$d' = d \left(1 \pm \frac{e}{R} \right) \quad \text{siendo}$$

$$e = \frac{1}{2} (a_1 + e_2)$$

El volumen buscado será:

$$V = \pm \frac{A_m + A_{m1}}{2} \left(1 \pm \frac{e_1 + e_2}{2R} \right) d$$

El signo dependerá de que el centro de gravedad de la sección media se presente hacia el exterior o interior con respecto al eje curvo del camino.

Cuando el radio de la curva sea grande y la distancia entre secciones pequeña, como así el terreno poco accidentado, las distancias e_1 y e_2 son chicas con relación a R, y por lo tanto puede desprejiciarse la expresión enoga rrada entre paréntesis, y tendremos:

$$V = \frac{A_m + A_{m1}}{2} \cdot d$$

X.- DIAGRAMA DE AREAS - REPRESENTACION GRAFICA DE LOS VOLUMENES.

La fórmula de la media de las áreas $V = d \frac{\Omega_1 + \Omega_2}{2}$ nos permite utilizar un método gráfico de representación de los volúmenes de tierra a mover en un determinado tramo de camino. Sea una serie de secciones transversales de un camino: 1ra., 2da., 3ra.,....; sus áreas de desmonte y terraplén las descomponemos en la forma que indica la figura siguiente, mediante el corte con un plano vertical, paralelo al eje del camino y que pase por el punto de paso de la sección transversal 2da., mixta, obteniéndose así las áreas parciales: D_1 y D_2 para la sección 1ra.; D_3 y T_1 para la sección 2da. y T_2 y T_3 para la sección 3ra. Sobre una recta XX, que llamaremos fundamental, marquemos los puntos 1, 2 y 3 cuyas distancias 1-2 y 2-3 medidas en cierta escala representen las distancias d_1 y d_2 entre las secciones transversales consideradas.

Lleemos en correspondencia de cada perfil, hacia arriba a partir de la fundamental los segmentos representativos de desmontes y hacia abajo los de terraplenes, obteniendo en la vertical que pasa por 1 los puntos D_1 y D_2 ubicados hacia-arriba, en la vertical que pasa por 2 el punto D_3 ubicado hacia arriba y el punto T_1 ubicado hacia

abajo.

Uniendo los puntos representativos de secciones correspondientes obtenemos los diagramas $D_1 - D_3 - T_2$ y $D_2 - T_3$. Analicemos ahora estos diagramas en detalle:

Trozo 1-2: comprendido entre las secciones 1ra. y 2da. Observamos que al desmonte D_2 la corresponde el terraplen T_1 y que las ordenadas que representan sus áreas son de sentido opuesto y la recta que une sus puntos extremos corta a la fundamental en el punto de paso longitudinal P_1 .

El diagrama relativo está así formado por dos triángulos opuestos por el vértice P_1 . Observemos también que al desmonte D_1 corresponde el desmonte D_3 , y la recta $D_1 - D_3$ que une los extremos de los segmentos representativos determina con estos y la fundamental el diagrama trapecial $D_1 - D_3 - 1 - 2$, el cual, conjuntamente con los dos triángulos opuestos anteriormente citados, forman el diagrama correspondiente al trozo 1-2.

Pero el triángulo $1 - D_2 - P_1$ está superpuesto al trapecio, por lo que lo sumaremos a éste y obtendremos el diagrama homogéneo $(D_2 + D_1) - A - D_3 - 2 - 1$. El triángulo $(D_2 + D_1) - D_1 - A$ es igual al $D_2 - P_1 - 1$ por tener igual base y altura.

Trozo 2-3: comprendido entre las secciones 2da. y 3ra. Procedemos en forma análoga a lo expuesto para el trozo 1-2, observando que al terraplen T_1 le corresponde el terraplen T_3 y al desmonte D_3 el terraplen T_2 . Uniendo los puntos correspondientes se obtienen los diagramas respectivos, debiendo notarse que la figura $P_2 - O - T_3 - 3$ se encuentra superpuesta, por lo que la sumamos al diagrama original $2 - T_1 - A' - T_3 - 3$ obteniendo el diagrama ho-

mogéneo $2 - T_1 - A' - (T_2 + T_3)$. Se demuestra fácilmente que la superficie de la figura $P_2 - O - T_3 - 3$ es igual a la de la figura $A' - (T_2 + T_3) - T_2 - O$.

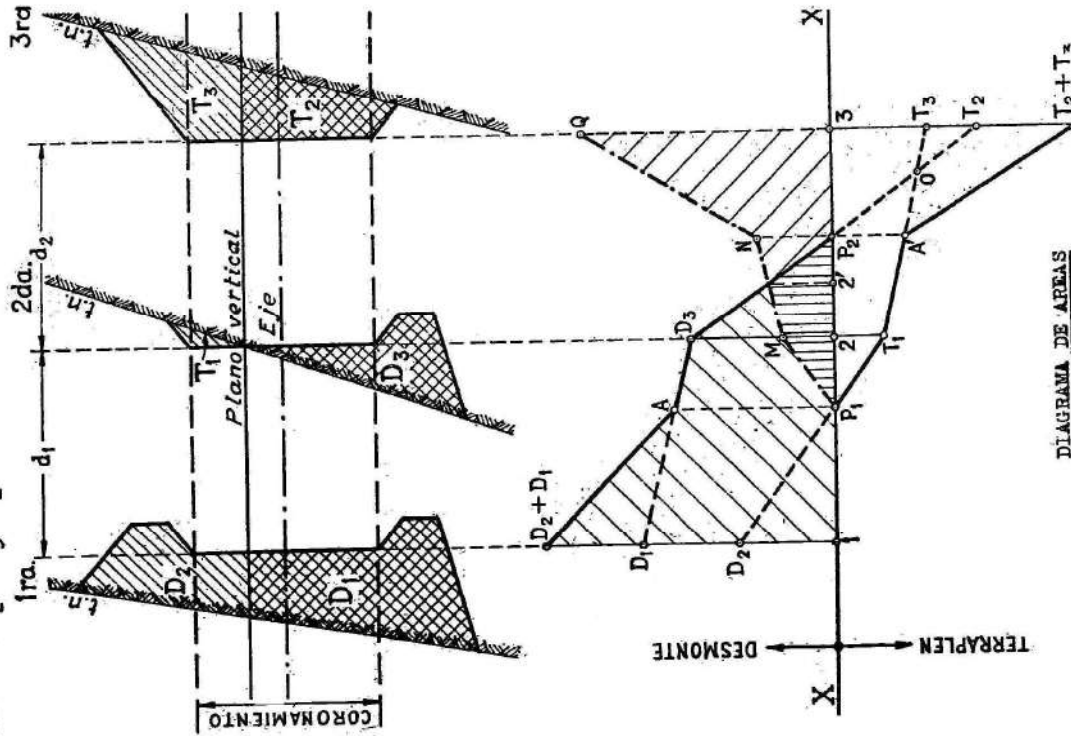


DIAGRAMA DE AREAS

X.- COMPENSACION TRANSVERSAL

Los diagramas homogéneos contruidos, están divididos por la recta fundamental XI, hacia arriba están representados los desmontes y hacia abajo los terraplenes.

El diagrama de las áreas presenta zonas de áreas positivas y negativas y zonas donde coexisten ambas, separadas por la fundamental. La compensación transversal no es posible, evidentemente, sino en estas.

Rebatamos la parte negativa del diagrama comprendida entre los puntos de paso, sobre la positiva. En nuestro ejemplo, el diagrama $P_1-T_1-A'(T_2+T_3)$ al rebatirse alrededor de la fundamental sobre la parte positiva da la línea quebrada $P_1-M-N-Q$. Se obtienen así, sobre la parte positiva del diagrama, dos áreas superpuestas, que se han marcado rayado vertical en la figura y que representan la compensación transversal de suelos.

Asimismo se ha marcado en rayado en diagonal las zonas que podrán compensarse mediante transportes longitudinales o con la ejecución de préstamos o depósitos de suelo según convenga, de acuerdo con los elementos de juicio que más adelante se explican.

XI.- TRANSPORTE DE SUELOS

Un rubro generalmente de bastante importancia en la construcción de la obra básica de un camino es el relativo al transporte de suelos. Hemos visto en el título anterior como se efectúa la compensación lateral de suelos,

en la cual el transporte por ser a una distancia generalmente muy corta no recibe pago directo, sino que su costo se incluye en el precio de la excavación.

No ocurre lo mismo en los transportes longitudinales en los cuales las distancias son de magnitudes muy variables. La unidad de medida del transporte de suelos es el hectómetro-metro cúbico (hm^3) y para distancias excepcionalmente largas el kilómetro-metro cúbico (km^3).

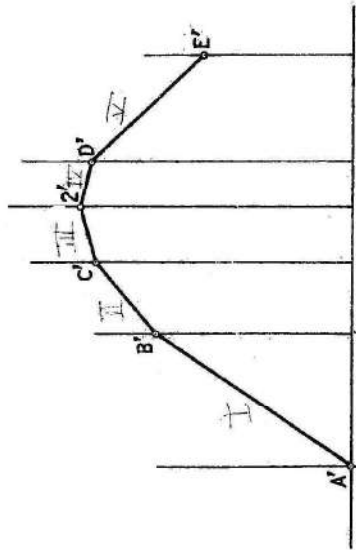
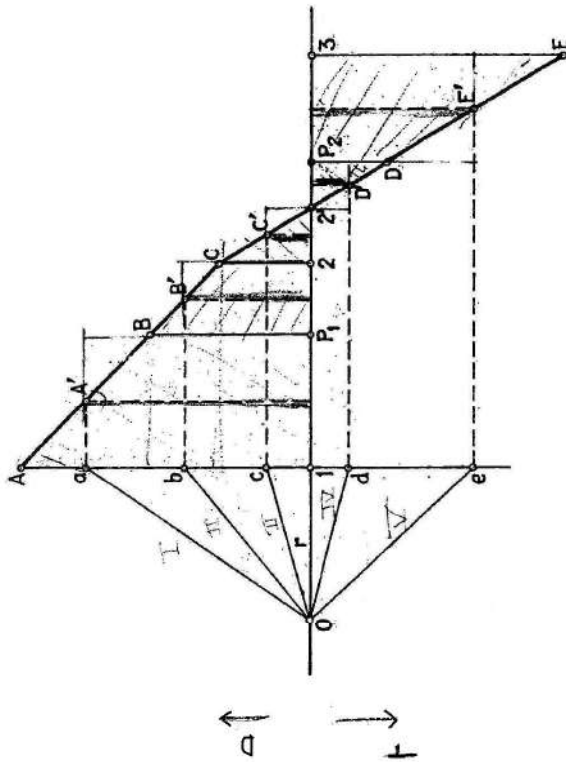
Distinguiremos tres distancias de transporte, a saber: Distancia media de transporte (D.M.T.) que se define como la distancia existente entre los centros de gravedad del volumen del material en su posición original y después de colocado en el terraplen. Esta distancia será medida a lo largo de la más corta de las vías practicables.

Distancia común de transporte (D.C.T.) que se define como la distancia que no recibe pago directo, sino que su costo está incluido en el precio de la excavación. Este es el caso más común para compensaciones laterales. La distancia común de transporte, en Vialidad Nacional, estaba fijada en 100 metros, cantidad que recientemente ha sido elevada a 300 metros.

Distancia excedente de transporte (D.E.T.) se define como la diferencia entre la D.M.T. y la D.C.T. El número de hectómetros-metros cúbicos de transporte excedente se obtendrá efectuando el producto del volumen de material transportado, medido en metros cúbicos en su posición original, por la distancia excedente en hectómetros.

A efectos de poder realizar convenientemente el proyecto de transporte de suelos es necesario tener un diagrama depurado que llamaremos de "masas excedentes", en

DIAGRAMA DE MASAS EXCEDENTES



INTEGRACION GRAFICA DEL DIAGRAMA DE MASAS
DIAGRAMA DE BRUCKNER

el cual se hayan eliminado los suelos compensados transversalmente.

El citado diagrama, como indica la figura correspondiente, ha sido construido tomando sobre una horizontal ordenadas representativas de cada sección, exclusivamente de material excedente de la compensación transversal, tendremos así: en el punto 1 una ordenada 1-A, equivalente a la $1-(D_1+D_2)$ del perfil de las masas. En el punto 2 P_1 una ordenada P_1-B equivalente a P_1-A . En el punto 2 una ordenada 2-C equivalente a $M-D_3$. En el punto 2' una ordenada nula por no existir material excedente. En el punto P_2 una ordenada P_2-D equivalente a P_2-N y por último en el punto 3 una ordenada 3-E equivalente a 3-Q del perfil de las masas.

Con este diagrama de las masas excedentes podremos estudiar la compensación longitudinal entre terraplenes y desmontes y la ubicación de préstamos ó depósitos que se estime ventajoso proyectar. Al respecto cabe destacar que no siempre la compensación longitudinal es la solución más conveniente, en efecto, hay casos en que puede resultar más económico no transportar un volumen dado de tierra de un desmonte a un terraplen, sino más bien depositar esa tierra en las proximidades del desmonte, formando un "depósito" y excavar un "préstamo" en las proximidades del terraplen. De no mediar otras razones de orden técnico el problema deberá resolverse desde el punto de vista económico en base al costo de la excavación y del transporte.

XII.- DIAGRAMA DE BRUCKNER.

El método más difundido y usual para el estudio de l

compensación longitudinal de suelos y la determinación de las distancias medias de transporte es el denominado "Método de Bruckner" que consiste en sintetizar, en determinar gráficamente la integral de la curva de las áreas o sea hallar la curva de los volúmenes.

Esta curva de los volúmenes, llamada también "Perfil de Momentos" permite efectuar los tanteos precisos para fijar las compensaciones y distancias de transporte económicamente más convenientes.

A tal efecto, observemos el diagrama de masas excedentes, vemos que está formado por las figuras elementales (1-A-B-P₁), (P₁-B-C-2), (2-C-2'), (2'-D-E-2) y (P₂-D-E-3) que en general pueden ser trapecios rectángulos, rectángulos ó triángulos.

El área de esas figuras elementales constituida por dos secciones consecutivas de áreas A_m y A_{m+1} con una distancia d entre ellas, da por la media de las áreas:

$$V = \frac{A_m + A_{m+1}}{2} \cdot d$$

el volumen del sólido de tierra comprendido entre ambas.

Imaginemos sustituida cada figura elemental por un rectángulo de área igual a la ordenada media, operemos en la misma forma con todas las áreas individuales comprendidas entre secciones consecutivas del perfil de las masas sustituyendo idealmente las áreas reales por rectángulos de áreas equivalentes, tomemos una distancia P₀ lar y dibujemos el diagrama de integración gráfica. A este diagrama lo llamaremos perfil de los momentos o Diagrama de Bruckner.

En nuestro ejemplo, ver figura, hemos tomado un polo

O y una distancia polar r y construido el funicular correspondiente a partir de un punto arbitrario cualquiera A' por ejemplo, en correspondencia al primer perfil. Continuando en la misma forma y sobre las verticales de los sucesivos perfiles obtenemos la curva A' B' C' D' E' de Bruckner.

Analizando esta curva vemos que si llamamos Δy el incremento de la ordenada entre dos secciones cualesquiera B y C por ejemplo, podemos escribir:

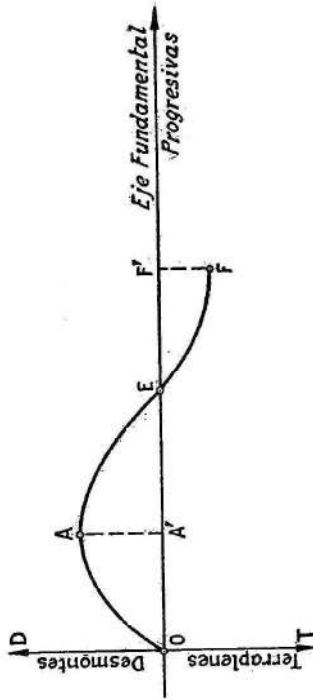
$$r \cdot \Delta y = \sum_b^c v = V_c - V_b$$

donde y es el área de una figura elemental del diagrama de las masas y V_c y V_b el área del diagrama desde su origen hasta la sección C y B, respectivamente.

Esto quiere decir que una ordenada cualquiera del perfil de los momentos representa, con una dada distancia polar, el área de todo el diagrama de las masas (suma algebraica de las diversas áreas de desmonte y terraplén) comprendidas entre el origen y el punto correspondiente a dicha ordenada.

XIII.- PROPIEDADES DEL DIAGRAMA DE BRUCKNER.

- 1º) La línea de volúmenes es ascendente para los desmontes, y descendente para los terraplenes, o viceversa, según que el polo para el funicular se tome a la izquierda o a la derecha del eje vertical.

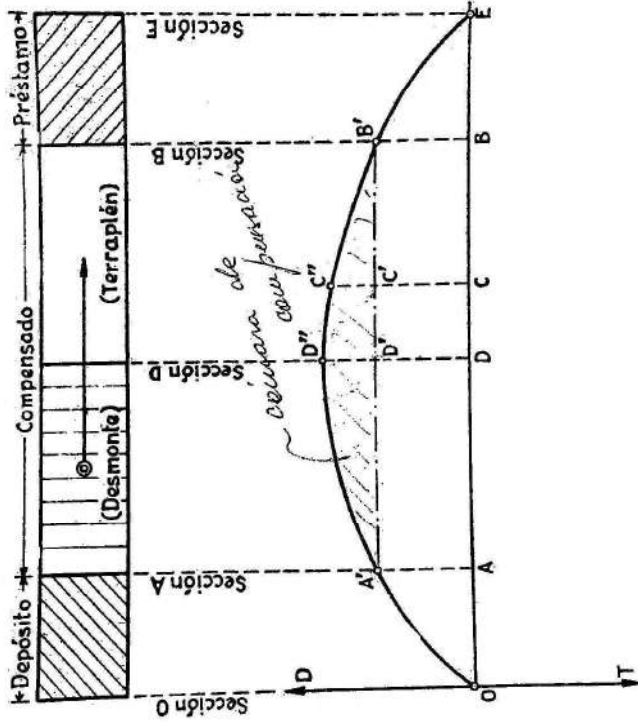


Así por ejemplo la línea de volúmenes entre el origen O y el punto A representa desmontes y entre los puntos A, E y F, representa terraplenes.

2°) La ordenada de un punto cualquiera, con relación al eje fundamental, mide la suma algebraica de los volúmenes de desmonte o terraplén desde el origen".

La ordenada correspondiente al punto A igual a AA' representa el volumen acumulado de desmonte desde el origen hasta el mencionado punto. La ordenada correspondiente al punto E igual a cero significa que la suma algebraica del volumen de desmonte y terraplén es igual a cero, es decir que el volumen de excavación para los desmontes es igual al volumen necesario para construir los terraplenes.

La propiedad mencionada puede hacerse extensiva a otra horizontal cualquiera; así: la ordenada de un punto de la línea de volúmenes con relación a una horizontal dada, mide la suma algebraica de los desmontes y terraplenes a partir de la sección de encuentro de la línea del diagrama



ma con la citada horizontal.

3°) "En cada punto donde la línea de las áreas corte al eje horizontal, corresponde un máximo o mínimo en la curva de volúmenes".

4°) "La diferencia entre dos ordenadas con respecto a una horizontal cualquiera, mide el volumen de desmonte o terraplén disponible entre ellas".

Así, la ordenada C'C" mide el exceso de tierras existente entre las secciones de progresivas A y C.

5°) "Entre las secciones correspondientes a los puntos

de intersección de una horizontal cualquiera con la línea de volúmenes, existe compensación de desmontes y terraplén, y el volumen total de tierras a transportar entre esas dos secciones, será la ordenada máxima con relación a la horizontal considerada".

La parte superior de la figura anterior representa un diagrama en planta, del movimiento de tierras proyectado según la horizontal A'B'.

De acuerdo con dicha horizontal el área A'D'Q'B' se denomina "cámara de compensación" y la ordenada máxima D'D" representa el volumen total de desmonte a transportar para construir el terraplén.

Analizando la figura desde el origen tendremos:

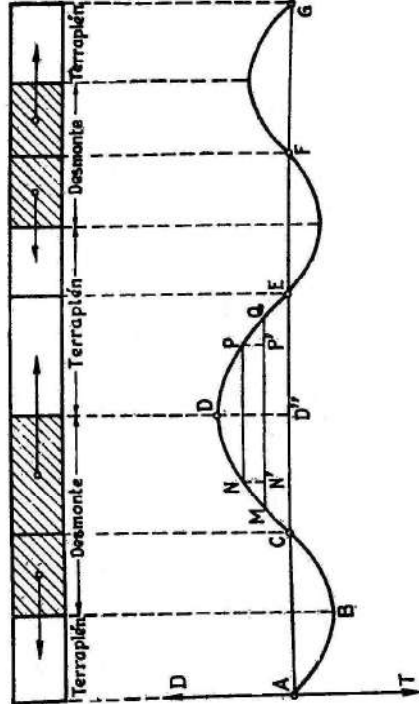
Entre progresivas 0-A: Desmonte, cuyo volumen es-
 tá representado por la ordenada AA' y que al no tener aplicación en el camino debe considerarse como sobrante y constituir un "depósito".

Entre progresivas A-B: Desmonte entre A y D; Terraplén entre D y B, compensados con un volumen a mover representado por la ordenada D'D".

Entre progresivas B-E: Terraplén, cuyo volumen está representado por la ordenada EB' y para el cual existe un faltante de tie-

rra, que debe procurarse de una excavación adicional denominada "préstamo".

6*) "El área de cada "cámara de compensación", correspondiente a una horizontal determinada, mide el momento de transporte de la compensación entre las secciones de intersección de la horizontal, con la línea de volúmenes".



Es decir, que el área A B C mide el momento de transporte de la compensación entre A y C; el C D E, entre C y E, etc. En efecto: en una cámara cualquiera de compensación, C D E, si consideramos dos horizontales infinitamente próximas, N P y M Q, el desmonte elemental, N N', habrá de compensarse con el terraplén P P', transportándolo a una distancia $\frac{N P + M Q}{2}$; el área del trapecio M N P Q representará el momento de transporte del volumen elemental N N'. El área C D E, integral del área del trapecio elemental, representará

el momento de transporte del volumen de tierra D D', entre las secciones C y E.

Hendremos por lo tanto, llamando A a la distancia media de transporte

$$\text{Area (C D E)} = D D' \times A \therefore A = \frac{\text{Area C D E}}{D D'}$$

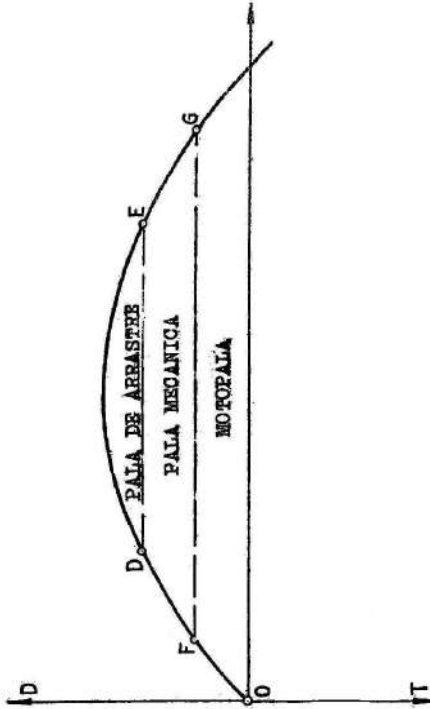
O sea, que la distancia media de transporte será igual al área de la onda dividida por la ordenada máxima o lo que es lo mismo a la base del rectángulo equivalente al área C D E y que tiene por altura a D D', volumen de tierras a transportar.

XIV.- LINEA HORIZONTAL SEGUN LA CUAL LA DISTRIBUCION DE TIERRAS ES DE COSTO MINIMO.

Sabemos que los diferentes medios de transporte de suelos tienen un radio máximo de acción, del cual, económicamente no es conveniente pasar. Así por ejemplo, fijamos aproximadamente: 100 metros para las palas de arrastre, 500 metros para las palas mecánicas, 1500 metros para las motopalas y camiones para distancias mayores.

Si en una determinada cámara se van a emplear los tres medios de transporte primeramente mencionados y se trazan las horizontales que corten a la curva de volúmenes en los puntos D E y F G, distancias máximas para el transporte de tierras con palas de arrastre y palas mecánicas, respectivamente, el transporte deberá ejecutarse de la siguiente manera:

Entre las secciones D y E, con palas de arrastre; entre las secciones F y G, con palas mecánicas y el resto con motopalas.



Esto significa que a cada tipo de equipo corresponde una "horizontal de distribución" que hace mínimo el costo de excavación y transporte de suelos. O sea:

$$C_E \cdot V + C_T \cdot V \cdot d = \text{mínimo}$$

siendo:

C_E = Costo unitario de excavación (\$/m³)

C_T = Costo unitario de transporte (\$/Hm³)

V = Volumen de tierra a considerar (m³)

d = Distancia excedente de transporte (Hm)

Así podemos observar que en las figuras (1) y (2) para una misma línea de volúmenes se han proyectado horizontales de distribución diferentes, según el tipo de equipo que se prevé utilizar.

Para la horizontal de distribución de la figura (1) debe cumplirse que:

$$C_E < C_T \cdot d$$

y para la figura (2) que:

$$C'_E > C'_T \cdot d'$$

El proyectista no conociendo "a priori" el equipo que se utilizará en la obra, deberá proyectar las horizontales de distribución en base a un "equipo ideal" que será con el que se obtendrá el máximo rendimiento y economía.

Generalmente, en obra se ajustan las horizontales de distribución de proyecto, de acuerdo con el equipo de que dispone el contratista de las obras, que en la gran mayoría de los casos difiere del equipo ideal.

Pasemos ahora a considerar el método para proyectar las horizontales de distribución de mínimo costo. En efecto, sea una horizontal A B C D E F G que da una compensación determinada entre los puntos A y B, B y C, etc; las áreas S_1, S_2, S_3, \dots medirán los momentos de transporte en las respectivas cámaras de compensación, y estas áreas multiplicadas por los costos unitarios de transporte c_1, c_2, c_3, \dots , los costos totales en cada una de ellas; el total del transporte será, por lo tanto:

$$C = c_1 \cdot S_1 + c_2 \cdot S_2 + \dots$$

Si cambiamos la horizontal de compensación, moviendo la línea A G, una magnitud infinitamente pequeña Δh , hasta A' G', las áreas correspondientes a S_1, S_3 y S_5 habrán sufrido un aumento de:

$$\Delta h \times A \times B; \Delta h \times C \times D; \Delta h \times E \times F$$

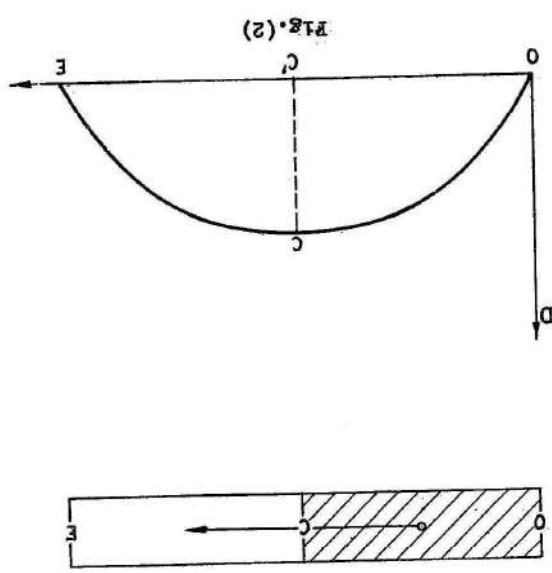


Fig. (2)

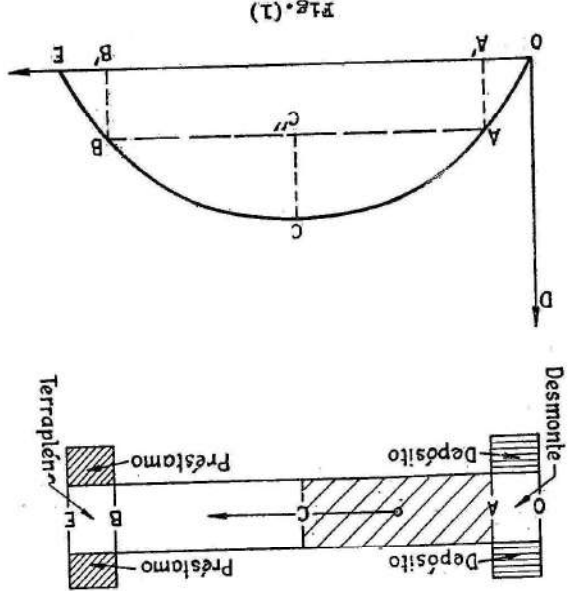


Fig. (1)

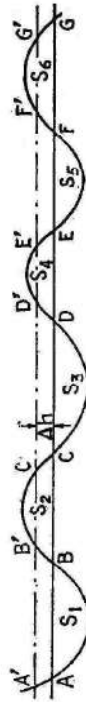
Y los momentos de transporte, S_2, S_4, S_6 , una disminución de:

$$\Delta h \times B \times C; \Delta h \times D \times E; \Delta h \times F \times G$$

Es definitiva el movimiento de la horizontal habrá producido:

$$\text{Aumento: } \Delta h (A \times B \times c_1 + C \times D \times c_3 + E \times F \times c_5)$$

$$\text{Disminución: } \Delta h (B \times C \times c_2 + D \times E \times c_4 + F \times G \times c_6)$$



Y la variación del costo será:

$$\Delta C = \Delta h (A \times B \times c_1 + C \times D \times c_3 + E \times F \times c_5 - B \times C \times c_2 - F \times G \times c_6)$$

Y la condición de que el costo sea mínimo obliga a que:

$$\frac{\Delta C}{\Delta h} = 0$$

o sea en definitiva que:

$$A \times B \times c_1 + C \times D \times c_3 + E \times F \times c_5 = B \times C \times c_2 + D \times E \times c_4 + F \times G \times c_6$$

Si los costos de los transportes dentro de cada una de las cámaras de compensación son distintos, la fórmula anterior será la que determine la horizontal de costo mínimo.

Si para todas las cámaras de compensación el valor unitario del transporte es el mismo, entonces la horizontal de costo mínimo será la que cumpla la condición de que:

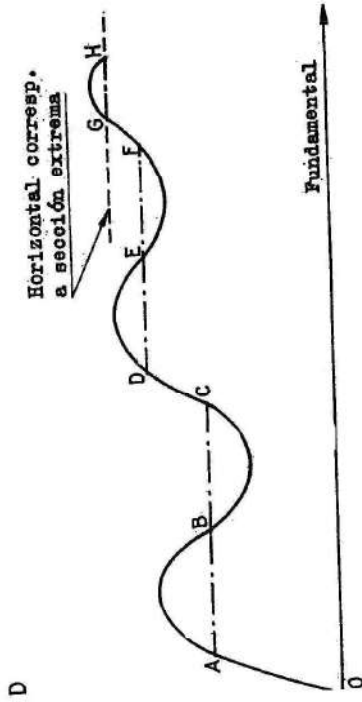
$$A \times B + C \times D + E \times F = B \times C + D \times E + F \times G$$

es decir que la suma de las bases de los valles sea igual a la suma de las bases de los montes.

Lo expuesto anteriormente llevó a CORINI a enunciar las reglas prácticas para el trazado de horizontales de distribución, que llevan su nombre y que trascribimos a continuación:

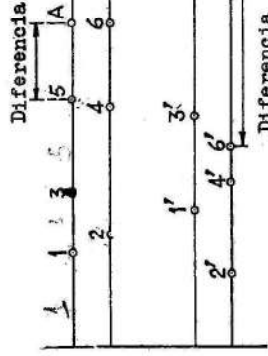
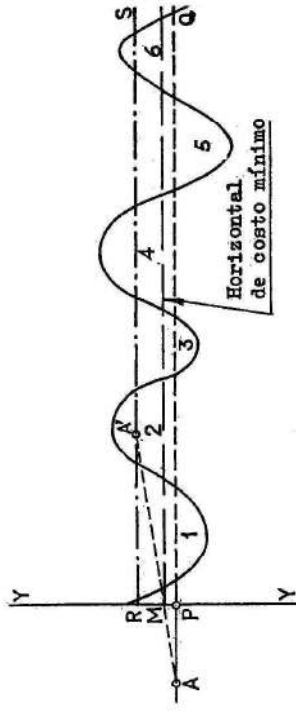
REGLAS DE CORINI

- 1º) Dado el diagrama de Bruckner se trazará la horizontal correspondiente a la sección extrema. La horizontal de distribución principal deberá estar comprendida entre dicha horizontal extrema y la fundamental.
- 2º) Se trazarán si fuera posible diversas horizontales de compensación comprendiendo cada una un monte y un valle de base igual, formando, una escala continua, creciente o decreciente.
- 3º) Cuando no sea posible obtener lo indicado en la regla 2º, se trazarán una o más horizontales comprendiendo más montes y más valles, tales que la suma de las bases de los montes sea igual a la suma de las bases de los valles. Si hay más de una horizontal estas deben formar escalas ascendentes o descendentes.



En la figura anterior, las horizontales de distribución están comprendidas entre las horizontales que pasan por el origen (fundamental) y la sección extrema. En la horizontal A C los segmentos AB-BC y en la horizontal D F, los segmentos DE-EF y forman una escala ascendente con la horizontal G H, cumpliéndose así, en este caso las tres reglas enunciadas por Corini.

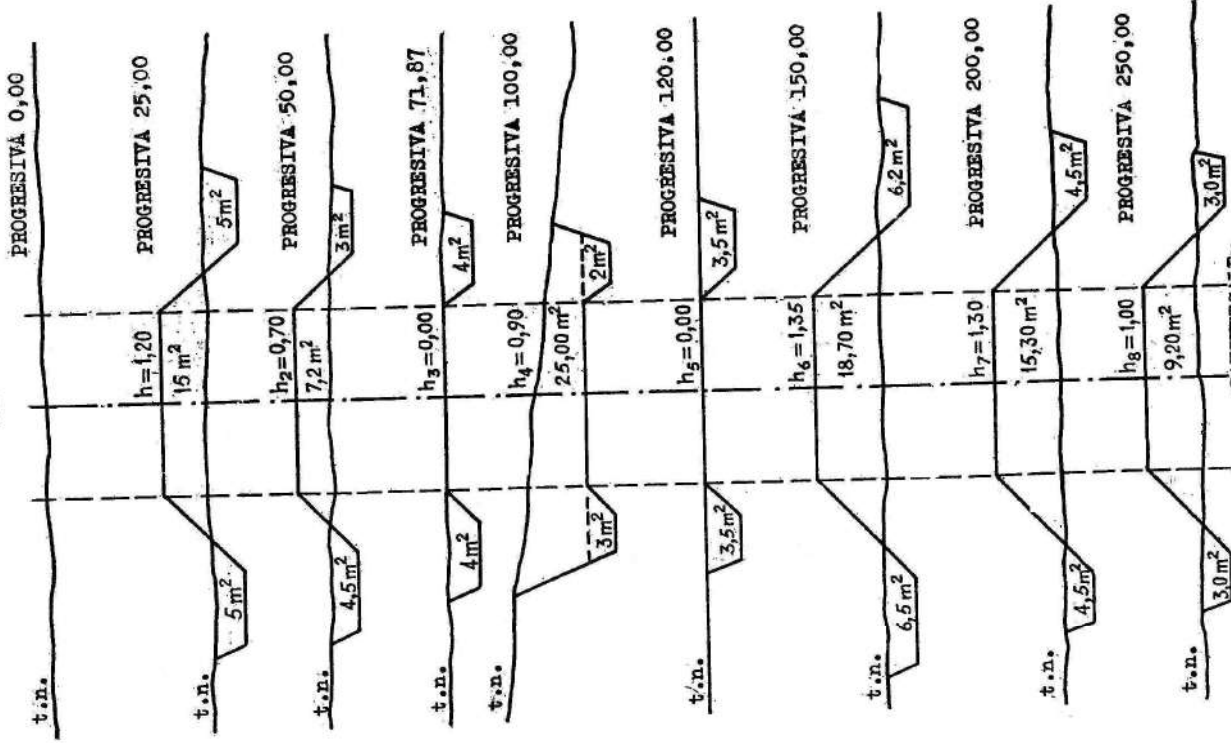
Para el caso de que el costo de transporte unitario sea igual para todas las cámaras, la determinación de la horizontal de costo mínimo, puede hacerse gráficamente, en efecto: se traza una horizontal cualquiera P Q en la cual la suma de las bases de los valles es menor que la correspondiente a la suma de las bases de los montes, según se ha determinado gráficamente, en la parte inferior de la figura, esa diferencia es 5-A que se lleva en P A.



Determinación Gráfica de la diferencia entre suma de bases de montes y valles.

Se mueve la horizontal de compensación a otra posición, R S y la diferencia hallada gráficamente es 6'-A', que se lleva en sentido contrario del anterior, en R A'.

Repetiendo varias veces la operación quedará determinada la curva de error, que cortará al eje de las ordenadas en el punto M, que dará la horizontal buscada. En la práctica, la curva de error se puede sustituir por la recta A A''.



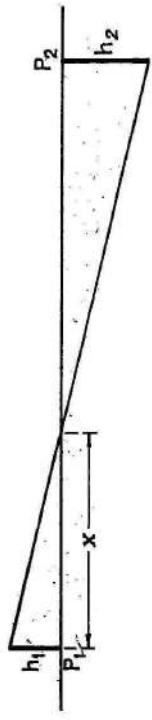
XV.- EJEMPLO PRACTICO DE LA DETERMINACION DEL DIAGRAMA DE BRUCKNER.

Tomemos una sección de un proyecto comprendida entre progresivas 0,00 y 150,00 y sean los perfiles transversales de la lámina anterior los correspondientes a cada uno de los puntos nivelados.

Cuando se pase de una sección en terraplén a otra en desmonte, como se ha supuesto en el ejemplo, entre progresivas 50 y 100, y entre progresivas 100 y 150, es necesario determinar la progresiva de la sección con cota roja nula.

Llamando "punto de paso" al punto en que se verifica esa condición y designando con P₁ la progresiva de la sección en terraplén y con P₂ la de la sección en desmonte, con x la distancia de P₁ al punto de paso y admitiendo pendientes constantes tanto para la rasante como para el terreno natural, tendremos:

$h_1 = \text{cota roja sección en terraplén}$
 $h_2 = \text{cota roja sección en desmonte}$



$$\frac{P_2 - P_1}{h_1 + h_2} = \frac{x}{h_1}$$

$$x = \frac{P_2 - P_1}{h_2 + h_1} \cdot h_1$$

reemplazando valores tendremos:

$$x = 0,70 \cdot \frac{50}{1,60} = 21,87$$

21,87 + 50,00 = 71,87 progresiva del punto de paso buscado.

Obtenidos todos los perfiles transversales correspondientes a cada punto nivelado y los perfiles en los puntos de paso, procederemos a calcular las superficies en cada uno de ellos, correspondientes a terraplenes (T), cunetas (C) y desmontes (D).

La determinación se efectúa generalmente con planímetro y el cálculo del volumen de suelo comprendido entre dos progresivas mediante el procedimiento de la media de las áreas.

El cuadro siguiente ilustra claramente sobre el ordenamiento del cálculo y el procedimiento a seguir.

Debe destacarse que cuando por razones topográficas no sea necesario trabajar con perfiles transversales, las secciones correspondientes de terraplén, desmonte o cunetas, se tomarán directamente de tablas, previamente calculadas.

El cuadro citado es en realidad el cómputo métrico del movimiento de suelos, discriminando la compensación de extracción lateral, como la compensación con transportes longitudinales. La sumatoria $\sum_{Exc.}$ nos dará el volumen total de suelo a excavar y la sumatoria $\sum_{Terr.}$ el

PLANTILLA DE CÁLCULO - DIAGRAMA DE BRUCKNER

Diferencias	VOLUMENES		Distancias	SECCIONES				SECCIONES				Cotas Rojas	Diferencias	
	Terr.	Exc.		D	C	D	C	D	C	D	C			
-137,50	262,50	125,00	7,50	25,00	-	5,00	7,50	25,00	5,00	-	10,00	15,00	0,00	0,00
-307,25	277,50	218,75	8,75	25,00	-	8,75	11,10	25,00	8,75	-	7,20	15,00	0,70	5,00
-247,98	169,49	110,22	7,75	21,87	-	7,75	3,60	21,87	7,75	-	7,50	0,00	±1,87	±1,87
+286,48	182,84	-	-	351,62	-	6,50	-	28,13	12,50	-	8,00	0,00	0,00	0,00
+559,28	295,50	-	-	250,00	-	6,00	-	250,00	12,50	-	5,00	25,00	0,90	16,00
+370,00	370,00	-	-	20,00	-	6,00	-	20,00	12,50	-	7,00	0,00	0,00	12,00
-647,50	542,50	1,90,00	10,85	50,00	-	9,85	17,00	50,00	10,85	-	12,70	18,70	0,00	150,00
-88,22	850,00	850,00	12,25	50,00	-	10,85	17,00	50,00	12,25	-	9,00	15,30	1,30	240,00
-482,50	612,50	612,50	7,50	50,00	-	7,50	12,25	50,00	7,50	-	6,00	9,00	1,00	250,00
-570,72	857,50	857,50	9,20	570,72	-	9,20	15,30	570,72	9,20	-	9,20	15,30	1,00	250,00
	3.201,42	2630,70												

ii Terr. = Terraplén Compactado
Coeficiente Compactación = 1,4

$$3.201,42 - 2.630,70 = 570,72 \text{ m}^3$$

La diferencia entre ambos nos dará el volumen de exceso o defecto total de suelos y deberá ser igual a la última cifra consignada en la columna de "Acumuladas" cuya representación gráfica es precisamente la curva de volúmenes o diagrama de Bruckner.

El diagrama se dibujará tomando la misma escala horizontal que la del perfil longitudinal, es decir que, en correspondencia con la abscisa de cada progresiva, levaremos en una escala que resulte conveniente el valor del volumen total acumulado hasta esa progresiva, que es el que está indicado en la última columna del cuadro anterior.

Hemos dibujado el diagrama de Bruckner correspondiente al ejemplo que estamos desarrollando. Aunque se trate de una sección de muy poca longitud, a efectos de ilustración hemos trazado las horizontales de distribución 0-8 y 9-11 y consignado en la parte inferior del dibujo las operaciones a efectuar.

Determinación gráfica de la distancia media de transporte.

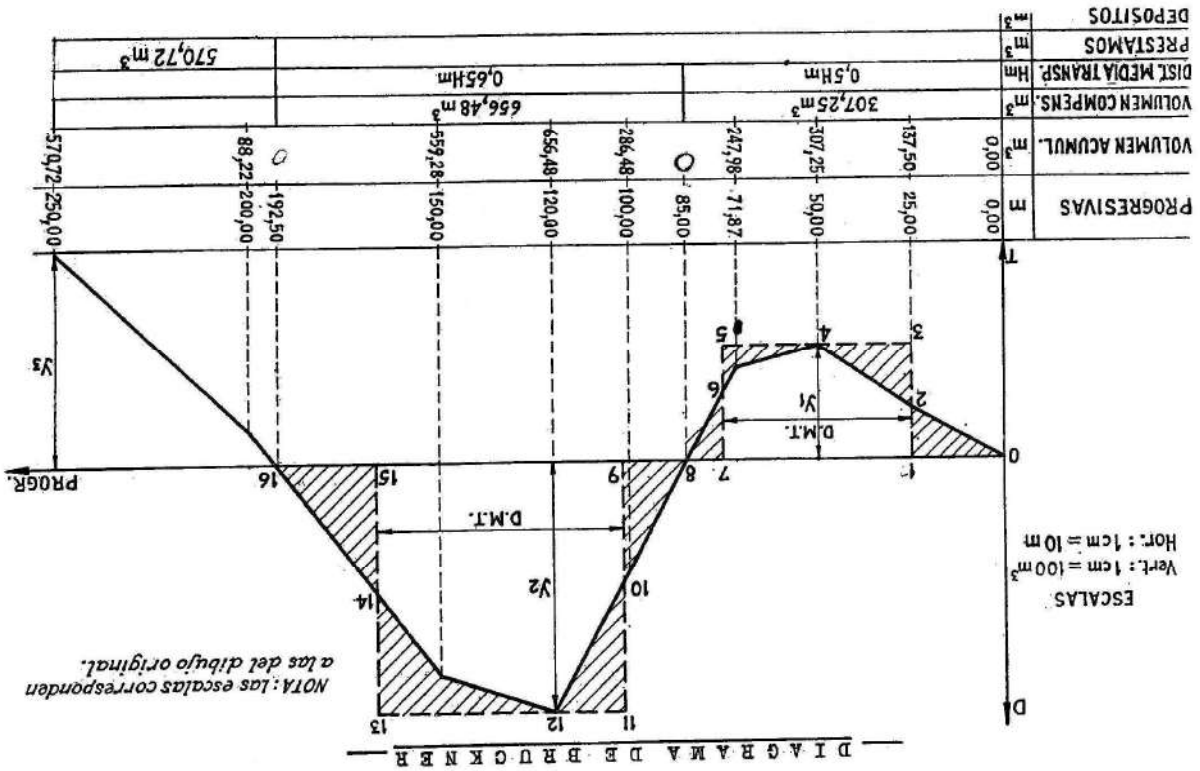
Dada la cámara de compensación 0-4-8 de la figura anterior, se asimila la superficie de dicha cámara a la del rectángulo 1-3-5-7. Para ello se traza por 4 una paralela a la fundamental y las verticales 1-3 y 7-5 de manera tal que las figuras rayadas sean estimativamente iguales, o sea:

$$0-1-2 = 2-3-4 \text{ y}$$

$$4-5-6 = 6-7-8$$

Ahora bien, siendo:

$$\text{D.M.T.} = \frac{\text{Area de la Onda}}{Y_{\text{máx.}}}$$



XVI.- DIAGRAMA DE LAS AREAS MODIFICADO

Un procedimiento que reemplaza al diagrama de Bruckner para el cálculo del movimiento de suelos y su transporte es el denominado Diagrama de Areas Modificado. Es en realidad con pequeñas variantes, y con el mismo fundamento técnico el diagrama de áreas anteriormente explicado.

El diagrama de las áreas modificado es el que actualmente utiliza la Dirección Nacional de Vialidad y la mayoría de los Organismos Viales Provinciales para el cálculo del movimiento de suelos, pues se trata de un método de aplicación rápida y sencillo y que permite obtener una aproximación perfectamente aceptable en este tipo de cálculos.

Debemos destacar que una vez trazada la rasante tentativa, en campaña, es necesario un procedimiento rápido que nos permita establecer si con dicha rasante el movimiento de suelos está compensado o mejor dicho que la excavación de suelos y sus transportes sean de un costo mínimo.

El diagrama de áreas modificado nos permite ir modificando la rasante tentativa, hasta conseguir la definitiva que responda al concepto expresado de máxima economía.

El realizar varios tanteos de rasante y aplicar el diagrama de Bruckner a cada uno de ellos es una tarea muy ardua y aún mayor cuando no se dispone de máquinas de calcular, con las cuales no siempre se cuenta en campaña. Para obviar en gran parte estos inconvenientes es que se ideó el diagrama de áreas modificado que permite estimar los volúmenes de suelo a mover y sus distancias medias de transporte con mucha aproximación In armista

tendremos, que si el área de la onda es igual a la del rectángulo 1-3-5-7 y la altura igual a $y_{máx}$, la base del rectángulo será la Distancia Media de Transporte buscada.

Este procedimiento permite en forma rápida y simple determinar con mucha aproximación la D.M.F. en las ondas de compensación.

m3 3.201,42

m3 2.237,69

m3 570,72

m3 1.666,97

Entre progresivas:

Extracción Lateral

0,00-85,00(Onda 1).....m3 307,25

85,00-192,50(Onda 2).....m3 656,48

Entre progresivas:

Com transporte

EXCAVACION

Necesidades Totales Terraplenes, según planilla cálculo.....m3 3.201,42

COMPUTO METRICO

Nota: Siendo en el ejemplo dado la D.M.F. menor que la D.C.F. no habría que calcular transporte de suelos, pero a efectos de ilustrar el caso se ha tomado como si fuera D.R.F.

y los resultados obtenidos en la práctica, han motivado la generalización del método, que como se ha expresado es de uso común en nuestros proyectos.

El procedimiento a seguir es el siguiente:

Sobre un eje de abscisas $X-X'$ y en una escala conveniente (generalmente 1:2.500 ó 1:5.000) se llevan las progresivas del proyecto. En correspondencia de cada progresiva y en ordenadas y también en una escala conveniente, segmentos representativos de las áreas correspondientes a las secciones en terraplén y excavación del perfil transversal correspondiente a esa progresiva.

Uniendo entre sí los puntos representativos del terraplén, el área encerrada entre la poligonal así trazada, las ordenadas extremas y el eje de abscisa será el volumen de terraplén proyectado.

Lo mismo uniendo los puntos representativos de excavación tendremos con las ordenadas y el eje de las $X-X'$, el volumen total de excavación proyectado.

En general, los segmentos representativos de terraplén y excavación tendrán, en cada progresiva, una parte común y una parte en exceso (si es mayor el área de excavación) o en defecto (si es mayor el área de terraplén).

Para una mejor ilustración desarrollaremos, aplicando el Diagrama de Areas Modificado, el mismo ejemplo trazado con el Diagrama de Bruckner.

Obtenidos los perfiles transversales de los puntos nivelados y los perfiles en los "puntos de paso", se procede a confeccionar la planilla de cálculo, cuyo modelo se adjunta y que ilustra claramente sobre el ordenamiento de datos y procedimientos a seguir.

PLANILLA DIAGRAMA AREAS MODIFICADO

Observaciones	Apertura Cunetas		Parcial	Total	9+6+8	0.00	0.00	1.20	10.00	15.00	10.00	21.00	10.08	8.00	25.00	5.00	30.00	7.00	7.00	12.70	18.70	15.30	9.00	21.42	12.88	-	6.00	1.00	-	6.00	9.20	6.00	250.00	
	Secc. Desmon	Secc. Cunetas																																
Progre- sivas	Secc.	Secc.	Secc.	Secc.	Secc.	Secc.	Secc.	Secc.	Secc.	Secc.	Secc.	Secc.	Secc.	Secc.	Secc.	Secc.	Secc.	Secc.	Secc.	Secc.	Secc.	Secc.	Secc.	Secc.	Secc.	Secc.	Secc.	Secc.	Secc.	Secc.	Secc.	Secc.	Secc.	Secc.
	2	3	4	5	6+3+4	7+5+0	8	9+6+8																										

Se pasa luego a la preparación del diagrama, utilizando para ello las cifras consignadas en las columnas 7 y 9 de la planilla, siguiendo el procedimiento anteriormente expuesto.

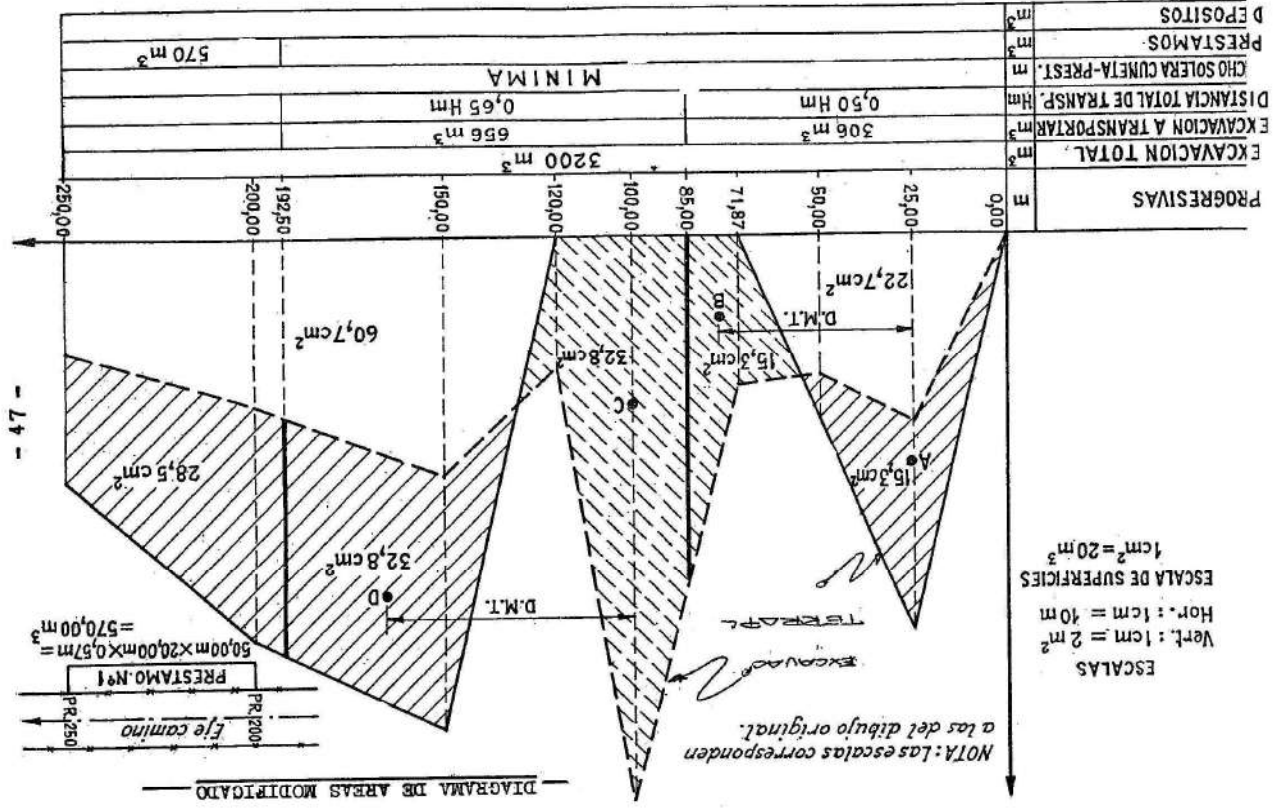
Se obtiene para el ejemplo propuesto el diagrama de la figura siguiente, que analizaremos a continuación: entre progresivas 0,00 y 71,87, la cámara, medida en la escala de superficies correspondiente, limitada por la poligonal de línea llena y el eje de abscisas es representativa del total del volumen de terraplén necesario en esa sección. Análogamente la cámara limitada por la línea punteada es representativa del volumen de excavación.

Ambas cámaras tienen superpuesta una superficie, en blanco en la lámina, y que determina la compensación lateral de tierra, es decir, el volumen de excavación permitirá ejecutar parte del terraplén de esa sección y quedará un volumen remanente, en defecto, determinado por el área de la onda rayada en línea llena, medida en la escala correspondiente.

A continuación entre progresivas 71,87 y 120,00, tenemos a la inversa, una cámara rayada punteada que representa un volumen en exceso de tierra del que podremos disponer para construir terraplén.

Entre progresivas 120,00 y 250,00 tenemos una compensación lateral, en blanco en la figura y una cámara rayada llena que representa un déficit de volumen de suelo.

Ahora bien, el análisis de la figura, nos permite establecer que con el sobrante de suelo de la sección entre progresivas 71,87 y 120,00, podremos cubrir las necesidades de la sección 0,00-71,87 y parte de la correspondiente a la sección 120,00-250,00.



Mediante rápidos tanteos se establecen las verticales que determinan superficies iguales, en nuestro caso a progresivas 85,00-192,50 respectivamente y que limitan a zonas donde puede realizarse compensación longitudinal mediante el transporte de suelos.

En el ejemplo, utilizando toda la tierra disponible, aún queda un déficit de suelo entre progresivas 192,50 y 50,00, que necesariamente debe ser cubierto mediante un préstamo adicional.

La medición de las áreas de las diferentes ondas se efectúa mediante el uso del planímetro.

La Distancia Media de Transporte de un cierto volumen de excavación que pasará a ser utilizado para un terraplén, se determina directamente sobre el diagrama midiendo la distancia entre los centros de gravedad de las áreas representativas de la excavación a transportar y del terraplén a cubrir. La medida se hará en proyección horizontal y en la escala de longitudes.

En el ejemplo desarrollado, la D.M.T. del volumen de tierra que se toma entre progresivas 71,87 y 85,00 pasa a cubrir el terraplén de progresivas 0,00-71,87, estará dada por la distancia entre los puntos A y B medida en la forma indicada. La ubicación de los centros de gravedad se efectúa en forma estimativa.

Como puede observarse, no se cometen errores groseros y la aproximación obtenida está de acuerdo con la exactitud requerida en esta clase de trabajos, ello se comprueba por la comparación de los resultados del Diagrama de las Areas Modificado con los del Diagrama de Bruckner.

Hay casos particularmente destacables por la objeti-

vidad con que pueden resolverse, tal es el ejemplo siguiente: supongamos dibujada la línea de terraplenes y la de excavaciones correspondiente a cuneta mínima. Generalmente en zonas de topografía llana la línea de terraplenes estará por encima de la de excavaciones marcando un déficit de tierra. La solución será entonces abrir la cuneta mínima en la medida necesaria para compensar lateralmente el movimiento de suelos que se producirá cuando ambas líneas, de terraplenes y excavaciones coincidan. Resulta pues muy fácil determinar en cada progresiva cuanto hay que abrir la cuneta mínima para obtener la compensación deseada, que por otra parte es la solución más económica, ya que todo el terraplén se construye con suelo de extracción lateral.

Para estos casos, muy comunes por cierto, deberá leerse la columna 8 de la planilla de cálculo, como así consignar en observaciones si la apertura de cuneta corresponde a "Según necesidades" o "Cuneta máxima" según sea el caso.

Para finalizar conviene destacar que en cada lámina, generalmente cada 2,500 ó 5,000 metros, conviene realizar el siguiente control: la superficie de las cámaras correspondientes a excavación más préstamos debe ser igual a la suma de la de terraplenes más depósitos, o sea:

EXCAVACIONES + PRESTAMOS = TERRAPLENES + DEPOSITOS

COMPUTO MÉTRICO SEGUN DIAGRAMA DE AREAS MODIFICADO

El cómputo métrico del movimiento de suelos con el Diagrama de Areas Modificado se realiza gráficamente, pues no puede observarse en la planilla no se calculan valores de volúmenes de suelo. El procedimiento a seguir es el siguiente:

Necesidades Totales Terraplenes S/Diagrama:

Entre progresivas: 0,00-71,87 38cm2x20m3/cm2 =m3 760,00
" " 120,00-250,00 122,00cm2x20m3/cm2 =m3 2.440,00 m3 3.200,00

EXCAVACION

Extracción Lateral

Entre progresivas:

0,00-250,00 22,7460,7 = 83,4cm2x20m3/cm2 =m3 1.668,00
192,50-250,00 Prestamc. Adicional 50,00x20,00x0,57 =m3 570,00

Col. Transporte

Entre progresivas:

0,00-85,00 15,3cm2x20m3/cm2 =m3 306,00
85,00-192,50 32,8cm2x20m3/cm2 =m3 656,00m3 962,00
m3 3.200,00

TRANSPORTE DE SUELOS

Entre progresivas:

0,00-85,00 m3 306,00x0,50 Hm = ...Hm3 153,00
85,00-192,50 m3 656,00x0,65 Hm = ..Hm3 426,40 Hm3 579,40

Nota: Siendo en el ejemplo dado la D.H.I menor que la D.C.P. no habría que calcular transporte de suelos, pero a efectos de ilustrar el caso se ha tomado como si fuera D.I.P.