

90
2341



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Ingeniería

ASPECTOS FUNDAMENTALES EN EL
MOVIMIENTO DE TIERRAS

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
JORGE ARMANDO LAZOS CHOY



Ciudad Universitaria, D. F.

1985



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

PRODUCCION	1
FACTORES VOLUMETRICOS	3
1.1 Introducción	3
1.2 Volumen en Banco, Volumen en Estado Suelto y Volumen Compacto	4
1.3 Determinación del Coeficiente de Abundamiento y Compactación	8
DUREZA	19
2.1 Introducción	19
2.2 Clasificación de Materiales en Corte de Acuerdo a su Dureza	20
2.3 Atacabilidad. Prospección Sísmica	25
Cuantificación de Volúmenes	48
3.1 Introducción	48
3.2 Cálculo de Areas	49
3.3 Cálculo de Volúmenes	54
Distancias de Acarreo	71
4.1 Introducción	71
4.2 Curva Masa	72

5. TALUDES	87
5.1 Introducción	87
5.2 Definición	88
5.3 Inclinación de los Taludes	88
5.4 Estabilidad de los Taludes	93
5.5 Protección de los Taludes	106
CONCLUSIONES	110
BIBLIOGRAFIA	112

INTRODUCCION

El propósito de este trabajo es el presentar algunos aspectos de tono general sobre el movimiento de tierras; enfocado preferentemente a los alumnos que cursan la materia Construcción III, asignatura impartida en la facultad de ingeniería de la UNAM.

El capítulo 1 trata sobre los factores volumétricos, obtención de los coeficientes de abudamiento y compactación de los diferentes tipos de suelos.

El capítulo 2 menciona algunas de las clasificaciones que existen sobre la dureza de los materiales de acuerdo a la dificultad en su extracción. Asimismo se describe el método de refracción sísmica utilizado en la determinación de la facilidad de explotación de canteras, localización de bancos de agregados, entre otros usos.

El capítulo 3 constituye una recopilación y ordenamiento de los diferentes métodos usados en la determinación de áreas y volúmenes de material removido o por remover en trabajos de movimiento de tierras.

El análisis de las distancias de acarreo de material, así como el desarrollo de la teoría de la curva masa se discuten en el capítulo 4.

El capítulo 5 se ha enfocado al estudio de los taludes que han de adoptar las estructuras de tierra, se expone en forma general aspectos sobre su estabilidad y protección, de igual forma se presentan los taludes recomendables en cortes de acuerdo al tipo de material que se trate.

Por último se presentan las conclusiones del trabajo y bibliografía consultada.

CAPITULO 1

1. FACTORES VOLUMETRICOS

1.1 Introducción

En todo trabajo de movimiento de tierras es de vi tal importancia el conocer algunas de las propiedades físi cas del material con el que se va a trabajar.

Estas propiedades tienen un efecto directo sobre la facilidad o dificultad del manejo de tierras, y por en de sobre la selección del equipo, así como sobre las pro ducciones del mismo.

Dicho material puede variar desde extremadamente pegajoso hasta una arcilla esponjosa o bien el material -suelto o la roca sólida.

Así pues, dentro del proceso de toma de decisio- nes para seleccionar el equipo de construcción idóneo, es necesario conocer el estado o condición en que se encuen- tra el material que se desea excavar, acarrear o colocar, así como también se requiere saber como se ha de manejar

éste; también se debe tomar en consideración todos aquellos equipos que existen en el mercado y que son susceptibles de desarrollar el trabajo de excavación, acarreo o colocación en cuestión.

1.2 Volumen en Banco, Volumen en Estado Suelto y Volumen Compacto

Cuando se perturba el estado natural de un material al excavar, acarrear o colocar un suelo o bien cuando se deteriora un macizo rocoso, sufre cambios considerables en su volumen.

Esto implica que en los trabajos de movimiento de tierras se puede encontrar el material en alguno de los tres estados o condiciones siguientes:

1.2.1 Volumen en Banco

El volumen en banco es el volumen del material medido "in situ" o bien en estado natural, es decir, en el banco de préstamo, en la zanja, en el canal, o en el corte antes de su explotación. Este es el volumen base con fines de medición y pago en la etapa de explotación del material.



Material en Banco

1.2.2 Volumen Suelto

El volumen en estado suelto es el volumen del material después de que ha sido quitado de su estado natural, es decir, cuando se detona la roca o se excava la tierra de su lecho natural, utilizando cualquier equipo o procedimiento constructivo y se deposita en montones, camiones o escrepas.

De esta forma el material sufre una expansión denominada ABUNDAMIENTO y entonces se le llama material "suelto".



Material en Estado Suelto

1.2.3 Volumen Compacto

El volumen compacto o volumen de relleno, es el volumen que presenta el material después de que ha sido colocado y sometido a un proceso mecánico de reducción volumétrica o de COMPACTACION por medio de presión - estática, amasamiento, impacto o vibración.

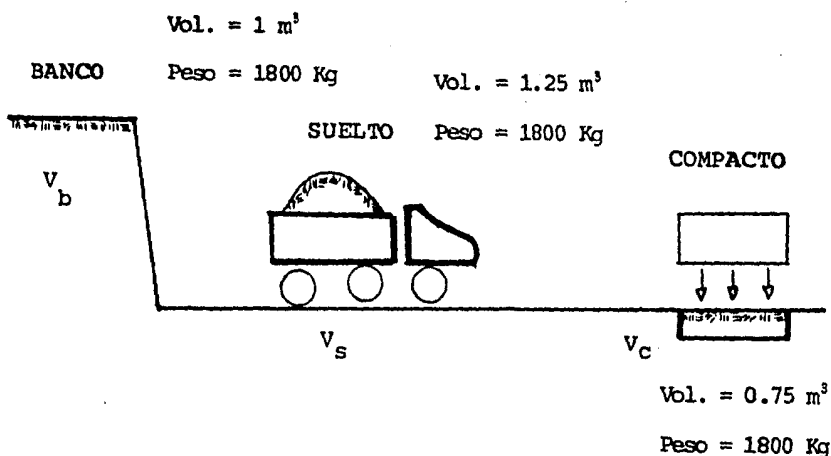
Este término se aplica a cualquier material colocado en un terraplén o área de relleno con cualquier propósito. En la mayoría de los casos, el material así --

compactado acusará una contracción o disminución de volu
men, en comparación con su medida en el banco.



Material Compacto

La siguiente figura muestra en forma esque
mática y a manera de resumen, los conceptos expuestos en
los párrafos anteriores:



donde:

V_b = Volumen en Banco

V_s = Volumen Suelto

V_c = Volumen Compacto

1.3 Determinación del Coeficiente de Abundamiento y de Compactación

Como se vió en párrafos anteriores, se define al abundamiento como el incremento del volumen del material debido a su explotación y éste se expresa como un porcentaje del volumen en banco. La medida de abundamiento variará en forma considerable entre un material y otro.

Ahora bien, si consideramos un material que sigue el comportamiento siguiente:

$$V_s > V_b > V_c$$

donde: V_b = volumen en banco
 V_s = volumen suelto
 V_c = volumen compacto

tendremos que:

$$\% \text{ Abundamiento} = \left(\frac{V_s - V_b}{V_b} \right) \times 100 = \left(\frac{V_s}{V_b} - 1 \right) \times 100$$

Ahora, cuando se coloca tierra en un relleno y se compacta por medio de presión estática, amasamiento, impacto o vibración, usualmente se tendrá un volumen menor en comparación con el estado natural. Esta reducción de volumen del material en estudio se le denomina compactación y puede ser expresada en porcentaje en función de los volúmenes en banco y compacto de la siguiente forma:

$$\% \text{ Compactación} = \left(\frac{V_c - V_b}{V_b} \right) \times 100 = \left(\frac{V_c}{V_b} - 1 \right) \times 100$$

Una vez definidos el porcentaje de abundamiento y de compactación, estamos en disposición de determinar el coeficiente de abundamiento y de compactación:

C.A. = Coeficiente de Abundamiento

$$C.A. = 1 + \frac{\% \text{ Abundamiento}}{100} \dots a$$

sustituyendo en a el % Abundamiento tendremos:

$$C.A. = 1 + \frac{(V_s / V_b - 1) \times 100}{100} = \frac{V_s}{V_b}$$

análogamente:

C.C. = Coeficiente de Compactación

$$C.C. = 1 + \frac{\% \text{ Compactación}}{100} \dots b$$

sustituyendo en b el % Compactación tenemos:

$$C.C. = 1 + \frac{(V_c / V_b - 1) \times 100}{100} = \frac{V_c}{V_b}$$

Cabe aclarar, que debido a la dificultad de cuantificar el material en banco, se acostumbra a hacer la -- conversión en el papel de m³ sueltos que se están acarrear_ do a m³ en banco, esto se hace operando la expresión del -

coeficiente de abundamiento (C.A.).

Estas expresiones de C.A. y C.C. se pueden manejar en función del peso volumétrico del material; entendiéndose por peso volumétrico de un cuerpo o material al peso de la unidad de volumen de ese cuerpo.

$$\text{Peso Volumétrico } (\gamma) = \text{peso } (w) / \text{volumen } (v)$$

En base a lo anterior, el material de acuerdo al estado en que se encuentre presenta los siguientes pesos volumétricos:

γ_b = peso volumétrico del material en banco

γ_s = peso volumétrico del material en estado suelto

γ_c = peso volumétrico del material en estado compacto

$$\gamma_b = w / V_b \dots \underline{c}$$

$$\gamma_s = w / V_s \dots \underline{d}$$

$$\gamma_c = w / V_c \dots \underline{e}$$

Cabe aclarar que el peso del material será el mismo (siempre y cuando el contenido de humedad de dicho material permanezca constante), independientemente del

estado en que se encuentre, esto es:

$$W_b = W_s = w_c = w$$

$$V_b \neq V_s \neq V_c$$

De acuerdo a la definición de peso volumétrico sabemos que:

$$\gamma_b = w / v_b \dots f \quad ; \quad \gamma_s = w / V_s \dots g$$

de f

$$w = \gamma_b V_b \dots h$$

de g

$$w = \gamma_s V_s \dots i$$

igualando h e i

$$\gamma_b V_b = \gamma_s V_s \dots j$$

despejando en j el γ_b

$$\gamma_b = \gamma_s V_s / V_b \dots k$$

pero $V_s / V_b = C.A. \dots l$

entonces sustituyendo en k a l tenemos la expresión del peso volumétrico en banco del material en función de su peso volumétrico suelto y del coeficiente de abundamiento:

$$\gamma_b = \gamma_s \times C.A.$$

de la misma forma:

$$\gamma_b = w / V_b \dots \underline{m} \quad \gamma_c = w / V_c \dots \underline{n}$$

de m

$$w = \gamma_b V_b \dots \underline{o}$$

de n

$$w = \gamma_c V_c \dots \underline{p}$$

igualando o y p

$$\gamma_b V_b = \gamma_c V_c \dots \underline{q}$$

despejando de q γ_b

$$\gamma_b = \gamma_c V_c / V_b \dots \underline{r}$$

pero:

$$V_c / V_b = C.C. \dots \underline{s}$$

entonces sustituyendo en r a s tenemos finalmente la expresión que determina el peso volumétrico en banco del material en cuestión en función de su peso volumétrico compaco

to y del coeficiente de compactación:

$$\gamma_b = \gamma_c \times C.C.$$

Debido a la dificultad de cuantificar los volúmenes en campo, se acostumbra obtener el abundamiento en función de los pesos volumétricos, que son de más fácil obtención.

Partiendo de la expresión del porcentaje de abundamiento:

$$\% \text{ Abundamiento} = \left(\frac{V_s - V_b}{V_b} \right) \times 100$$

$$= \left(\frac{V_s}{V_b} - 1 \right) \times 100 \dots \underline{t}$$

además sabemos que:

$$\gamma_b = w / V_b \text{ y } \gamma_s = w / V_s ; V_b = w / \gamma_b \dots \underline{u}$$

$$V_s = w / \gamma_s \dots \underline{v}$$

sustituyendo u y v en t

$$\% \text{ Abundamiento} = \left((w / \gamma_s - w / \gamma_b) / (w / \gamma_b) \right) \times 100$$

$$\% \text{ Abundamiento} = (\gamma_b / \gamma_s - 1) \times 100$$

fórmula que nos facilitará el cálculo del porcentaje de abundamiento.

De igual forma que con el abundamiento, debido a la dificultad de cuantificar los volúmenes en campo, se acostumbra obtener el coeficiente de compactación o -- coeficiente de reducción volumétrica en función de los pe sos volumétricos que son de más fácil obtención. Dicho -- cálculo se lleva a cabo con la expresión que deduciremos a continuación.

Partiendo de :

$$\begin{aligned} \% \text{ Compactación} &= (V_c - V_b / V_b) \times 100 \\ &= (V_c / V_b - 1) \times 100 \dots \underline{w} \end{aligned}$$

además conocemos:

$$\gamma_b = w / V_b \quad \text{Y} \quad \gamma_c = w / V_c ;$$

$$V_b = w / \gamma_b \dots \underline{x} \quad V_c = w / \gamma_c \dots \underline{y}$$

sustituyendo x e y en w

$$\% \text{ Compactación} = \left((w / \gamma_c - w / \gamma_b) / (w / \gamma_b) \right) \times 100$$

$$\% \text{ Compactación} = (\gamma_b / \gamma_c - 1) \times 100$$

A continuación se presentan dos tablas con las características aproximadas de materiales usuales en trabajos de movimiento de tierras.

En la primera tabla se incluyen el peso volumétrico en banco (γ_b) de los materiales incluidos, el % de abundamiento, el coeficiente de abundamiento y por último el peso volumétrico del material en estado -
suelto (γ_s).

La segunda tabla incluye el peso volumétrico en banco (γ_b), el % de compactación, el coeficiente de compactación y por último el peso volumétrico del material en estado compacto (γ_c).

MATERIAL	Y _b Kg por m ³ en banco	% de Abundamiento	Coefficiente de Abundamiento	Y _s Kg por m ³ suelto
Arcilla en Banco	1750	39	1.39	1260
Arcilla y grava secas	1600	38	1.38	1155
Arcilla y grava mojadas	1830	38	1.38	1320
Antracita	1510	34	1.34	1120
Carbón Bituminoso	1350	35	1.35	1000
Tierra Común y margas secas	1560	25	1.25	1250
Tierra Común y margas mojadas	2000	25	1.25	1600
Grava de 0.6-5.0 cm seca	1890	13	1.13	1680
Grava de 0.6-5.0 cm mojada	2250	13	1.13	2000
Yeso	2800	75	1.75	1600
Mineral de Hierro: hematites	2900	18	1.18	2460
Mineral de Hierro: magnetita	3280	18	1.18	2780
Piedra Caliza	2610	68	1.68	1550
Arena suelta, seca	1600	13	1.13	1420
Arena húmeda, compacta	2070	12	1.12	1850
Arenisca	2550	69	1.69	1510
Roca Volcánica (basalto)	2890	65	1.65	1750

Tabla 1a

MATERIAL	γ_b Kg por m ³ en banco	% de Compactación	Coefficiente de Compactación	γ_c Kg por m ³ compacto
Arena suelta, seca	1600	-12	0.88	1818
Grava seca	1890	-12	0.88	2147
Arena húmeda	2070	-14	0.84	2464
Grava mojada	2250	-14	0.84	2678
Limo y arena limosa	1600	-17	0.83	1928
Tierra común seca	1550	-20	0.80	1937
Tierra común mojada	2000	-20	0.80	2500
Arcilla en banco	1750	-25	0.75	2333

Tabla 1b

CAPITULO 2

2. DUREZA

2.1 Introducción

En la ejecución de los trabajos de movimiento de tierras es de gran importancia el conocer la dureza, el -- orden de sucesión, así como el espesor de las capas del -- subsuelo.

La índole de las capas encontradas influye en el modo de ejecución por adoptar, en la pendiente que ha de darse a los taludes, el tipo de máquinas a emplear y por tanto el precio del movimiento de tierras; hasta puede hacer modificar el trazado en las obras de vías de comunicación, tales como carreteras, ferrocarriles, canales, etc.

Por ejemplo, la presencia de bancos de roca de gran espesor en una zona que deba ser atravesada en gran longitud por un tramo de carretera cuyo proyecto imponga la ejecución de profundos cortes puede justificar la elección de otro trazado de mayor desarrollo, pero que no .-

necesite para ejecutarlo, más que la remoción de tierras flojas.

2.2 Clasificación de Materiales en Corte de Acuerdo a su Dureza

Al efectuar un corte en un terreno determinado, éste acusará mayor o menor dificultad en su extracción y carga dependiendo de la dureza y por ende la resistencia que presente dicho terreno.

Las dependencias gubernamentales que realizan trabajos de movimiento de tierras han emitido una serie de especificaciones de construcción en donde se contempla la clasificación de los materiales de excavación, de acuerdo con la dificultad que presentan para su extracción y - carga.

Entre dichas especificaciones destacan las de PEMEX (Petróleos Mexicanos) y las de SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes), las cuales citan lo siguiente:

2.2.1 Especificaciones PEMEX

2.2.1.1 Material Tipo I

Se entenderá por material tipo I, la tierra, arena, grava, limo, arcilla suave o bien aquellos materiales que puedan ser removidos con el uso de la pala de

mano.

2.2.1.2 Material Tipo II

Se entenderá por material tipo II, la arcilla dura, tepetates de dureza media, rocas blandas intemperizadas o bien todos aquellos materiales - que puedan ser aflojados económicamente con el uso de zapapico.

2.2.1.3 Material Tipo III

Se entenderá por material tipo III, la roca fija que se encuentre en mantos de dureza y textura que no pueda ser aflojada y resquebrajada económicamente con el uso de zapapico y que sólo pueda removerse con el uso de explosivos, cuñas o dispositivos mecánicos de otra índole.

2.2.2 Especificaciones SCT

2.2.2.1 Material A

Es el material blando o suelto, que puede ser eficientemente excavado con escrepa de capacidad adecuada para ser jalada con tractor de orugas, de 90 a 110 caballos de potencia en la barra, sin auxilio de tractores empujadores. Además se consideran como material

A, los suelos poco o nada cementados con partículas hasta de 7.5 cm. Ejemplos representativos de este tipo de material, son los suelos agrícolas, los limos y las arenas.

2.2.2.2 Material B

Es el que por la dificultad de extracción y carga, sólo puede ser excavado eficientemente por tractor de orugas con cuchilla de inclinación variable de 140 a 160 caballos de potencia en la barra, o con pala mecánica de capacidad mínima de 1 m³, sin el uso de explosivos, o bien que pueda ser aflojado con arado de 6 ton, jalado con tractor de orugas. Además se considera como material B las piedras sueltas menores de 75 cm y mayores de 7.5 cm. Ejemplos representativos de este tipo de material son las rocas muy alteradas, conglomerados medianamente cementados, areniscas blandas y tepetates.

2.2.2.3 Material C

Es aquél que por su dificultad de extracción, sólo puede ser excavado mediante el empleo de explosivos; además se consideran como material C, las piedras sueltas con una dimensión mayor de 75 cm. Ejemplos representativos de este tipo de material son las rocas basálticas, las areniscas y conglomerados fuertemente cementados.

tados, calizas, riolitas, granitos y andesitas sanas.

Para efectos de clasificación de un material, se toma en cuenta la dificultad que haya presentado para su extracción y carga, asignando dichas condiciones al correspondiente rubro o tipo de material, mencionándose siempre los tres tipos de materiales, con el fin de determinar claramente de cual se trata.

A continuación se presentan en forma de tabla algunos ejemplos representativos de clasificación de materiales:

MATERIAL	A	B	C
1. Tierra	100	0	0
2. Tierra y Piedras Pequeñas	80	20	0
3. Roca de Basalto	0	0	100
4. Roca Intemperizada con Piedras Grandes	0	60	40
5. Material X	50	50	0
6. Material Y	0	50	50

El ejemplo número 1 se trata de un suelo poco o nada cementado, con partículas menores de 7.5 cm, se clasifica 100-0-0 correspondiendo la primera cifra al material A y los ceros a los materiales B y C.

Para un material que presente mayor dificultad de extracción que el material A, pero menor que el material B, se debe apreciar la clasificación intermedia que le corresponda, asignándole el porcentaje de materiales A y B de acuerdo con su mayor o menor dificultad de extracción y carga; el ejemplo 5 es un material precisamente intermedio, de igual forma el ejemplo 6 es un material en condiciones semejantes que se encuentra entre los materiales B y C.

Si el corte por clasificar esta compuesto por materiales de diferente grado de dificultad para su extracción y éstos muestran separación definida, cada material se clasifica por separado, tomando en cuenta los volúmenes parciales; posteriormente, se computa la clasificación general resultante para el volumen total, - considerando siempre los tres tipos de material A, B y C.

Cuando el corte por clasificar esta formado por material C, alternado en capas o con bolsas de otros de menor clasificación, en proporción tal que el material C constituye por lo menos el 75% del volumen total, el conjunto se considera como material C. Sólo en aquellos casos en que la disposición de los materiales y

y el espesor de las capas sea tal que permite atacarlos con eficiencia aisladamente, los distintos volúmenes se clasifican por separado, aún cuando el volumen del material C sea igual o mayor que el 75% del volumen total del corte por clasificar.

2.3 Atacabilidad. Prospección Sísmica

2.3.1 Introducción

Atendiendo a su etimología, la geofísica es la ciencia que estudia la física de la tierra. Como ocurre con otras ciencias, la geofísica se subdivide en geofísica pura y geofísica aplicada.

La geofísica aplicada, llamada también Prospección Geofísica es el arte de aplicar las ciencias físicas al estudio de la parte más superficial de la corteza terrestre que puede ser explotada por el hombre.

En este orden de ideas, la prospección geofísica cuenta con una serie de métodos encaminados al estudio del subsuelo.

En Ingeniería Civil, los métodos sísmicos, frente a los otros métodos de prospección geofísica encuentran un amplio campo de aplicación.

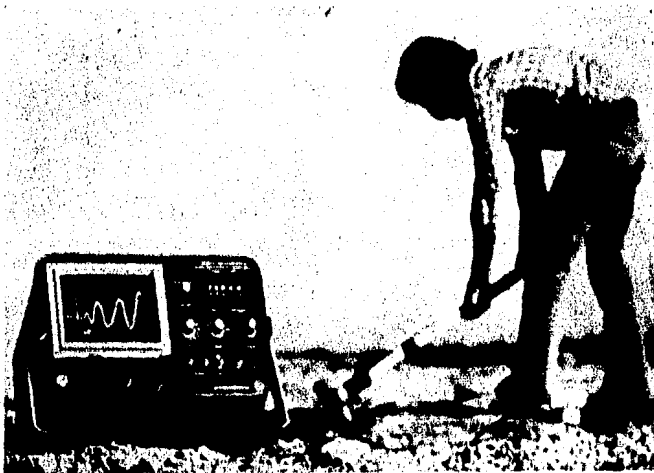
Los métodos sísmicos se dividen en dos clases: de reflexión y de refracción y consisten fundamente

talmente en producir una detonación y detectar los tiempos de llegada de las ondas generadas, una vez refractadas o reflejadas en las distintas formaciones geológicas, pudiendo con esto llegar a una imagen muy aproximada de la naturaleza del terreno.

El método de reflexión es el más empleado en prospección petrolífera y esto es debido fundamentalmente a que con una sola explosión pueden ser observadas reflexiones hasta profundidades de 6000 m. La técnica de reflexión presenta la desventaja de que es más lenta y costosa que la mayoría de los restantes métodos.

El método de refracción es el más utilizado en ingeniería civil, en donde se requiere localizar material firme que sirva de apoyo a las obras proyectadas, ya sea una presa, una carretera, etc.. Como dicho material debe encontrarse a una profundidad relativamente pequeña, del orden de decenas de metros o menos, el método de reflexión no es útil ya que dicho método está enfocado a estudios de gran profundidad. Además los equipos empleados en la técnica de refracción son mucho más ligeros que los utilizados en prospección petrolífera, generalmente sólo poseen 12 detectores, frente a los 24 o más empleados en aquella. En algunos modelos de sencillez evidente, la onda sísmica se genera mediante un golpe de martillo y se detecta con un sólo geófono o detector de las ondas sísmi

cas producidas, que se va desplazando adecuadamente.



2.3.2 Método de Refracción Sísmica

2.3.2.1 Propagación de las Ondas Refractadas

En el terreno de la geofísica aplicada, el método de refracción es un método indirecto y consiste, según se ha comentado anteriormente en producir ondas sísmicas en superficie, que se propagan en todas direcciones, refractándose cuando encuentran un medio de propagación diferente al inicial y volviendo asimismo a la su-

perficie.

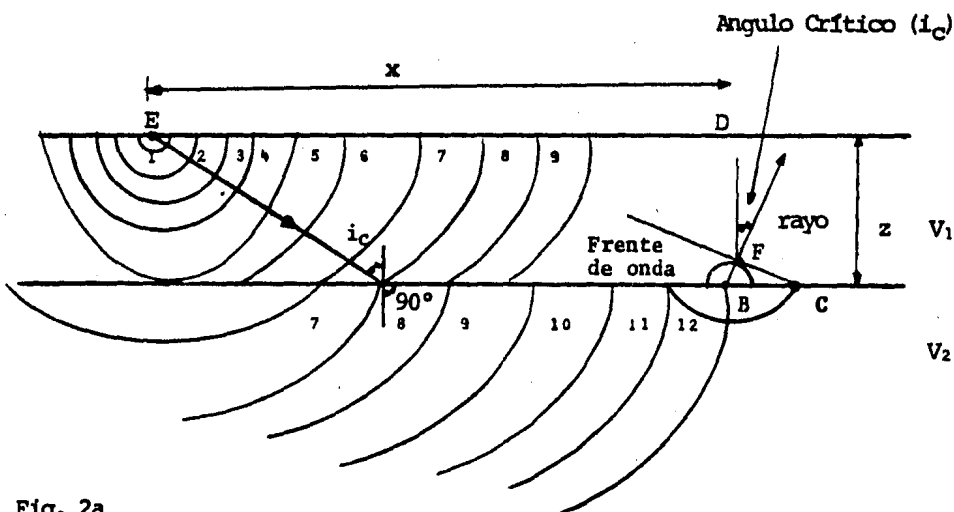


Fig. 2a

Para comprender la forma como se transmiten las ondas refractadas, es necesario considerar el caso general de un subsuelo constituido por dos medios horizontales, con propiedades elásticas uniformes, separadas por una superficie horizontal a una profundidad z . La velocidad de las ondas sísmicas longitudinales en la primera capa es V_1 y en la segunda V_2 , siendo $V_2 > V_1$. El mecanismo de propagación de las ondas refractadas lo podemos resumir en los siguiente puntos:

1. Se genera una onda sísmica en E (ver fig. 2a). La energía se propaga en frentes de onda semiesféricos.
2. En el punto D se coloca un instrumento

detector a una distancia x del punto E.

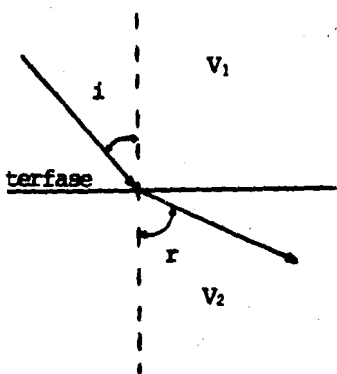
3. Si x es pequeña, la onda que se propaga horizontalmente en el medio superior llegará primero. Si x es grande, la onda que se propaga por la interfase de los dos estratos alcanzará a la onda directa.

4. Cuando los frentes de onda esféricos chocan con la interfase, donde la velocidad de propagación cambia, la energía se refracta de acuerdo a la ley de Snell, que dice:

UNA ONDA AL ATRAVESAR UN CONTACTO, CUYOS MEDIOS TENGAN VELOCIDADES DE PROPAGACION DIFERENTES, v_1 Y v_2 , ES REFRACTADA DE TAL MANERA QUE SE VERIFICA LA RELACION:

$$\frac{\text{Sen } i}{\text{Sen } r} = \frac{v_1}{v_2}$$

donde:



i = ángulo de incidencia formado por la normal y el rayo incidente

r = ángulo de refracción formado por la normal y el rayo refracto

v_1 = vel. de propagación de la onda elástica en el primer estrato

v_2 = " " en el segundo estrato

5. En algún punto A de un frente de onda, el rayo comienza a desplazarse a lo largo de la superficie de separación, debido a que en ese punto la tangente a la esfera del medio inferior es perpendicular a la superficie de separación y el rayo es siempre normal al frente de onda.

6. Los frentes de onda de la segunda capa se desplazan con mayor rapidez que los de la primera. Esta diferencia de velocidad genera nuevas perturbaciones a lo largo de la interfase propagándose al medio superior - con una velocidad V_1 .

7. La onda volverá a la superficie del suelo formando el ángulo crítico con la vertical.

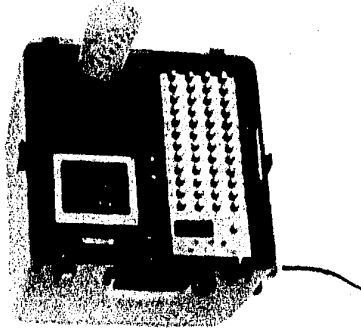
2.3.2.2 Práctica del Método de Refracción

El equipo necesario en la práctica del método de refracción está constituido fundamentalmente por:

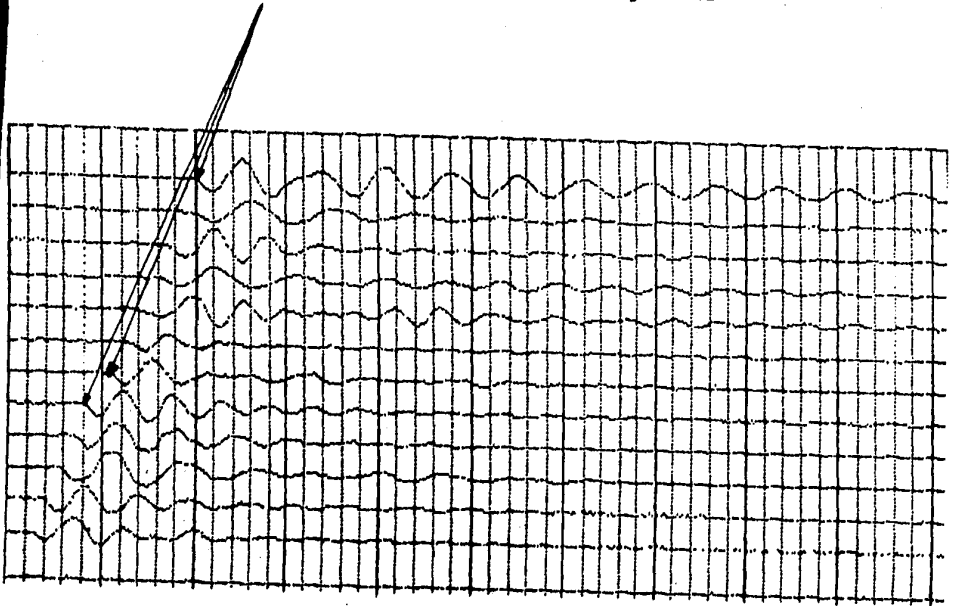
a) GEOFONOS. Llamados también detectores o sismómetros, son dispositivos que se entierran o bien, se colocan sobre la superficie y transforman las oscilaciones sísmicas del suelo en señales eléctricas; cabe señalar que el geófono sólo responde a la componente vertical del movimiento del suelo. En trabajos de ingeniería civil se utilizan generalmente 12.

b) AMPLIFICADORES Y FILTROS. Generalmente los sistemas de simógrafos emplean amplificadores entre los geófonos y las unidades registradoras, así como una serie de filtros que impiden que las ondas superficiales y los ruidos de otro tipo, como los del viento interfieran en las refracciones.

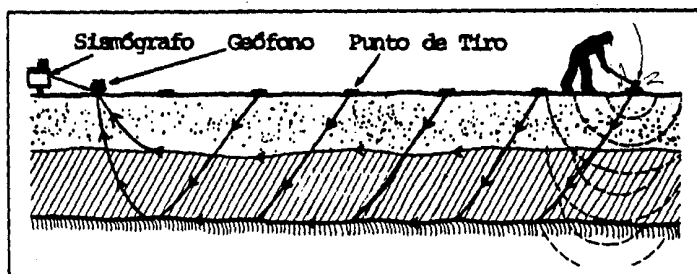
c) APARATO REGISTRADOR. Este dispositivo cuenta con un elemento oscilográfico que registra las señales de salida provenientes de los amplificadores en un papel fotográfico de registro, denominado sismograma, en éste se marca con claridad los primeros arribos de energía a los geófonos. Los sismogramas cuentan con una serie de divisiones que son líneas de tiempo que permiten determinar el intervalo entre el instante que se provocó la perturbación y los primeros arribos de energía a los geófonos. En trabajos de corta extensión (en distancias de 300 a 600 m) difícilmente se llega a registrar el segundo de duración, por lo general se obtienen lecturas del orden del milésimo de segundo.



Primeros arribos de energía a los geófonos



A continuación se presenta el cuadro resumen de las actividades que requiere realizar una cuadrilla de trabajo en la práctica del método de refracción. Cabe aclarar que esta cuadrilla elemental se incrementará en número en la medida que los sitios de exploración presenten una mayor dificultad de acceso.



TOPOGRAFO*	PEON*	PEON*	INGENIERO*
<p>Localiza los pozos de tiro, traza y nivela los puntos donde se colocarán los geófonos.</p>	<p>Tiende el cable de detectores y regresa conectándolos.</p>	<p>Hace las perforaciones correspondientes y ceba las cargas</p>	<p>Hace conexiones en el aparato registrador, ajusta los amplificadores y filtros para cada una de las trazas.</p>
	<p>Observa uno de los puntos de tiro y vigila que no se acerque nadie al punto de explosión; checa que no se presenten fallas en la tronada.</p>	<p>Observa uno de los puntos de tiro y vigila que no se acerque nadie al punto de explosión; checa que no se presenten fallas en la tronada</p>	<p>Detona las cargas e imprime el sísmograma en donde señala los tiempos de arriba y específica:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fecha de realización de la prueba - Proyecto - Punto de tiro - Tiempo de registro - Longitud de tendido

* Existe constante comunicación por radio entre los miembros de la cuadrilla de trabajo

2.3.2.3 Interpretación de los Resultados Obtenidos en la Práctica del Método de Refracción

Una vez que se tienen los tiempos de las primeras llegadas del sismograma resultante de la prueba de refracción sísmica, lo más útil y conveniente es asentar estos datos en un gráfico tiempo-distancia, representando en las abscisas las distancias entre explosión y detector y en las ordenadas los tiempos de las primeras llegadas. Para el caso de un subsuelo formado por capas homogéneas, la curva tiempo-distancia constará de segmentos lineales (ver fig. 2b).

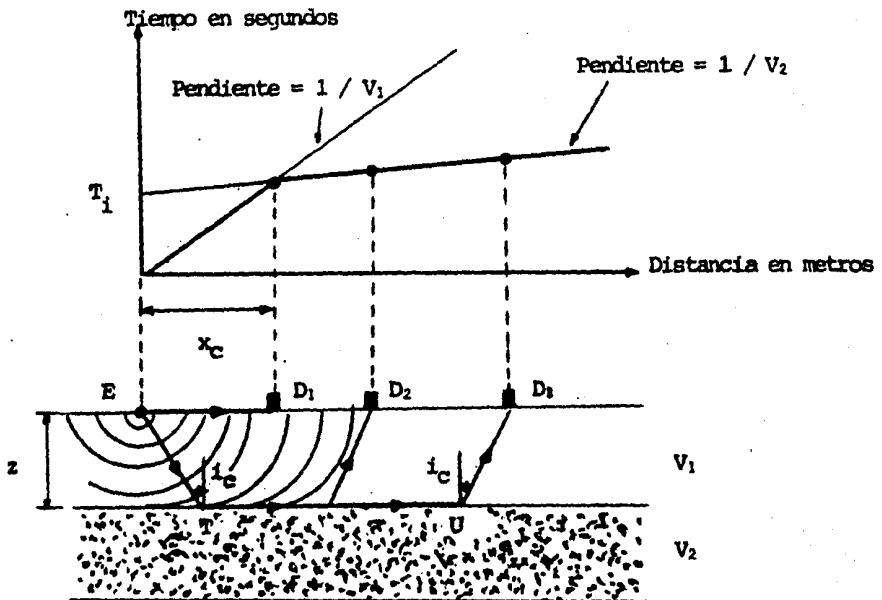


Fig. 2b

De la ley de Snell:

$$\frac{\text{Sen } i}{\text{Sen } r} = \frac{V_1}{V_2}, \text{ pero sen } r = \text{sen } 90^\circ = 1$$

$$\text{Sen } i = \frac{V_1}{V_2}$$

$$i_c = \text{sen}^{-1} \frac{V_1}{V_2}$$

Como se puede observar, para el geófono D_1 el paso directo a través del medio superior es el más corto, para los detectores D_2 y D_3 , la onda o paso refractado es el más corto. Cabe aclarar que de las líneas rectas trazadas podemos deducir, conociendo la pendiente, las velocidades de propagación de las ondas longitudinales V_1 y V_2 .

El paso siguiente es determinar la profundidad del medio refractor o interfase.

Para este efecto, continuando con el caso de dos estratos horizontales representados en la figura 2b, cuyas velocidades de propagación de las ondas longitudinales V_1 y V_2 , corresponden al primero y segundo medio respectivamente, separados por una interfase a una profundidad z tenemos:

2.3.2.3.1 Tiempo de Llegada

La onda directa de E a D_1 (ver fig. 2b) se propaga con una velocidad V_1 , entonces el tiempo que tarda en llegar la onda directa al geófono D_1 desde el punto de tiro será:

$$T_1 = \frac{x_1}{V_1}$$

Ahora bien, la onda refractada que sale de E y llega a D_1 , tendrá una trayectoria constituida por 3 recorridos: ET, TU y UD_1 .

Para éste análisis recurriremos al uso de las tres expresiones siguientes:

$$\text{Sen } i_c = V_1 / V_2$$

$$\text{Cos } i_c = (1 - V_1^2 / V_2^2)^{1/2}$$

$$\text{Tan } i_c = \frac{\text{Sen } i_c}{\text{Cos } i_c} = \frac{V_1}{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}$$

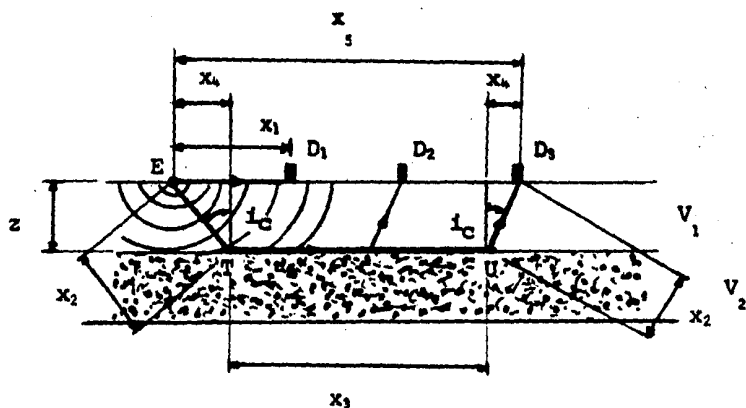


Fig. 2c

El tiempo empleado en

desarrollar la trayectoria ET, TU y UD, será:

$$T_2 = T_{ET} + T_{TU} + T_{UD},$$

a) T_{ET}

De la figura 2c, tenemos

$$T_{ET} = x_2 / V_1 \dots 1 \quad x_2 = z / \cos i_c \dots 2$$

sustituyendo 2 en 1

$$T_{ET} = z / V_1 \cos i_c$$

b) T_{TU}

De la figura 2c, tenemos

$$\text{Sen } i_c = x_4 / x_2, \quad x_2 = z / \cos i_c$$

$$\text{sen } i_c = x_4 / (z / \cos i_c)$$

$$x_4 = z \text{ sen } i_c / \cos i_c = z \tan i_c$$

$$x_3 = x_5 - 2x_4 = x_5 - 2z \tan i_c$$

$$T_{TU} = x_3 / V_2 = (x_5 - 2z \tan i_c) / V_2$$

c) T_{UD_3}

$$T_{UD_3} = T_{ET}$$

$$T_{UD_3} = z / V_1 \cos i_c$$

finalmente:

$$T_2 = T_{ET} + T_{TU} + T_{UD_3}$$

$$T_2 = z / V_1 \cos i_c + (x_5 - 2z \tan i_c) / V_2 + z / V_1 \cos i_c$$

$$T_2 = 2z / V_1 \cos i_C - 2z \operatorname{sen} i_C / V_2 \cos i_C$$

$$+ x_s / V_2 \dots \underline{3}$$

sabemos que

$$\operatorname{sen} i_C = V_1 / V_2 \quad \rightarrow \quad V_2 = V_1 / \operatorname{sen} i_C \dots \underline{4}$$

sustituyendo 4 en 3

$$T_2 = 2z / V_1 \cos i_C - 2z \operatorname{sen} i_C / (V_1 \cos i_C / \operatorname{sen} i_C)$$

$$+ x_s / V_2$$

$$T_2 = 2z / V_1 \cos i_C - 2z \operatorname{sen}^2 i_C / V_1 \cos i_C$$

$$+ x_s / V_2 \dots \underline{5}$$

factorizando 5

$$T_2 = (2z / V_1 \cos i_C) (1 - \operatorname{sen}^2 i_C) + x_s / V_2 \dots \underline{6}$$

además

$$\operatorname{sen}^2 i_C + \cos^2 i_C = 1$$

$$1 - \operatorname{sen}^2 i_C = \cos^2 i_C \dots \underline{7}$$

sustituyendo 7 en 6

$$T_2 = (2z / V_1 \cos i_C) (\cos^2 i_C) + x_s / V_2$$

$$T_2 = x_5 / V_2 + 2z \cos i_c / V_1 \quad \dots \underline{8}$$

sustituyendo en 8 la siguiente expresión:

$$\cos i_c = \sqrt{1 - V_1^2 / V_2^2} = \sqrt{1 - (v_1/v_2)^2} = \sqrt{V_2^2 - V_1^2} / V_2$$

tenemos finalmente

$$T_2 = x_5 / V_2 + 2z \sqrt{V_2^2 - V_1^2} / V_1 V_2 \quad \dots \underline{A}$$

Expresión que nos determina el tiempo de llegada de la on
da sísmica al detector.

para $x = 0$

$$T_i = 2z \sqrt{V_2^2 - V_1^2} / V_1 V_2 \quad \dots \underline{B}$$

2.3.2.3.2 Distancia Crítica

Observando la figura

2b notamos que a una distancia crítica x_c las dos rectas se cortan; a distancias menores la onda directa se propa
ga por la capa superior del primer estrato con una velocid
dad V_1 , a distancias mayores que x_c la onda refractada por
la parte superior del segundo estrato llega primero que la
onda directa.

2.3.2.3.3 Profundidad del Estrato Superior

Despejando z de B

$$z = (T_1 / 2) (V_2 V_1 / \sqrt{V_2^2 - V_1^2})$$

T_1 lo podemos obtener de A en función del tiempo de llegada, la distancia del punto de explosión al detector, así como de la velocidad de propagación de las ondas longitudinales del segundo estrato.

En este orden de ideas, sustituyendo B en A:

$$T_2 = (x_s / V_2) + T_1$$

$$T_1 = T_2 - (x_s / V_2)$$

O bien T_1 puede obtenerse gráficamente de la figura 2b. La profundidad puede calcularse en función de la distancia crítica conociendo que los tiempos

$$T_1 = x_c / V_1$$

$$T_2 = x_s / V_2 + (2z \sqrt{V_2^2 - V_1^2}) / V_1 V_2$$

son iguales en x_c (ver fig. 2b), por tanto:

$$x_1 / v_1 = x_5 / v_2 + (2z \sqrt{v_2^2 - v_1^2} / v_1 v_2)$$

$$x_1 = x_5 = x_c$$

$$x_c / v_1 = x_c / v_2 + (2z \sqrt{v_2^2 - v_1^2} / v_1 v_2)$$

$$z = (1/2) (x_c v_1 v_2 / \sqrt{v_2^2 - v_1^2}) (1/v_1 - 1/v_2)$$

haciendo las simplificaciones respectivas tenemos finalmente:

$$z = (x_c / 2) \sqrt{(v_2 - v_1) / (v_2 + v_1)}$$

Expresión con la cual podemos determinar la profundidad del primer estrato a una distancia crítica x_c .

En base a las velocidades de propagación de las ondas longitudinales es posible conocer el tipo de material que constituye el subsuelo. A continuación se presenta en una tabla los rangos aproximados de las velocidades de propagación de las ondas longitudinales para materiales representativos encontrados en la corteza terrestre:

M A T E R I A L

V E L O C I D A D

(m / seg)

Material superficial intemperizado	305 - 610
Grava o arena (seca)	468 - 915
Arena (húmeda)	610 - 1830
Agua (depende de la temp. y cont. de sal)	1430 - 1680
Agua de mar	1460 - 1530
Arenisca	1830 - 3970
Esquistos	2750 - 4270
Creta	1830 - 3970
Piedra caliza	2140 - 6100
Sal	4270 - 5190
Granito	4580 - 5800
Rocas metamórficas	3050 - 7020
Capa meteorizada	300 - 900
Aluviones	350 - 1500
Arcillas	1000 - 2000
Margas	1800 - 3200
Yeso	3000 - 4000
Conglomerados	2500 - 5000
Anhidrita	3000 - 6000
Dolomias	5000 - 6000
Gneiss	3100 - 5400
Cuarcitas	5100 - 6100
Gabros	6700 - 7300
Diabasas	5800 - 7100

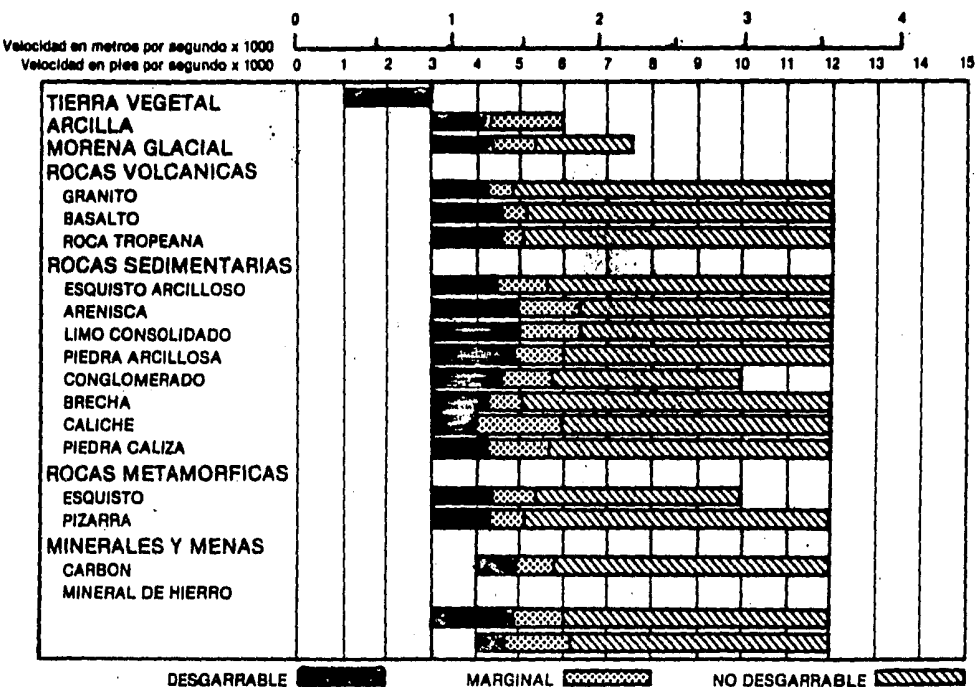
En conclusión, una vez realizada la práctica de refracción, estamos en disposición de trazar la gráfica tiempo-distancia respectiva, que nos ayudará en la determinación de las velocidades de propagación V_1 y V_2 , que a su vez serán aplicadas para conocer la profundidad de la primera capa, sustituyendo dichas velocidades en la expresión respectiva, así como en la determinación del tipo de material constituyente de los estratos que conforman el subsuelo en estudio.

2.3.2.4 Aplicación del Método de Refracción Sísmica

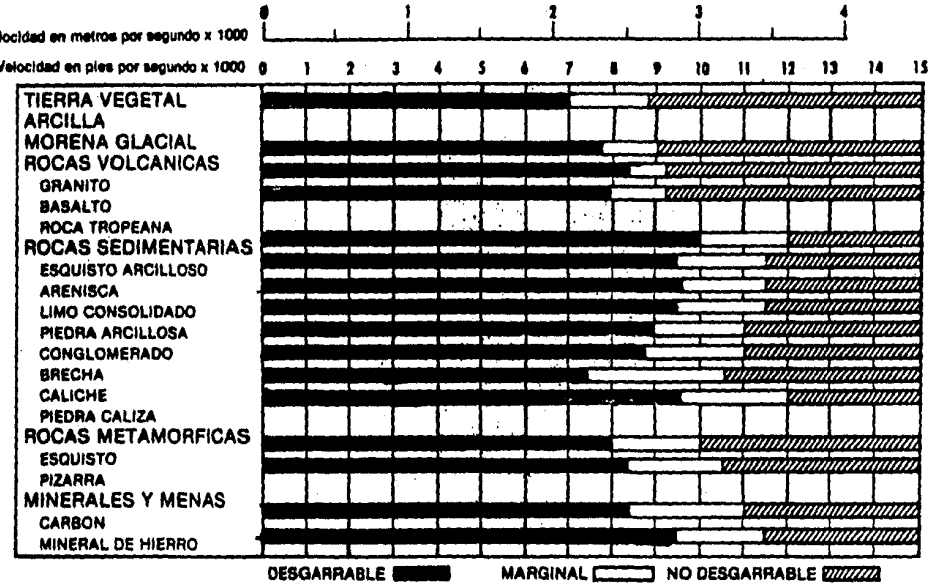
Como se mencionó anteriormente, en trabajos de ingeniería civil, el método de refracción sísmica encuentra un amplio campo de aplicación en la detección de accidentes estructurales (fallas, fracturas, etc.), así como en la localización de bancos de agregados, en la facilidad de explotación de canteras, y en general en todos aquellos estudios tendientes a conocer en forma adecuada las características del subsuelo que servirá de apoyo a las obras de ingeniería civil.

Las gráficas de arabilidad presentadas a continuación, son un ejemplo de aplicación del método de refracción en ingeniería civil; estas fueron ela_

boradas por Caterpillar Tractor Co., Peoria Illinois y se basan en estudios en gran variedad de suelos.



* Rendimiento del Desgarrador D7G



* Rendimiento del Desgarrador D10

CAPITULO 3

3. CUANTIFICACION DE VOLUMENES

3.1 Introducción

Es práctica común, determinar aún en los trabajos más pequeños de movimiento de tierras una gran variedad de áreas y volúmenes de material, como por ejemplo, en trabajos de cortes y rellenos en la construcción de caminos, en la excavación de zanjas y canales, en la construcción de diques, etc.

El punto de partida disponible son los planos, o directamente las notas de campo; a partir de una correcta interpretación de ellos, se calculan, generalmente con -- aproximación al metro cuadrado y al metro cúbico, las áreas y volúmenes de material por colocar o excavar; factores de suma importancia en la estimación de cantidades de obra por ejecutar.

3.2 Cálculo de Areas

Frecuentemente en trabajos de movimiento de tierras se requiere conocer el área de una figura ya sea con fines de presupuesto o bien en el cálculo de algún volumen. Los métodos más utilizados en el cálculo de áreas son los siguientes:

3.2.1 Cuenta de Cuadros

Un método sencillo en el cálculo de áreas de figuras irregulares consiste en cubrirlas con un papel milimétrico transparente y contar el número de cuadros con tenidos dentro de ella (ver fig. 3a). Se comienza por los centímetros cuadrados completos, que representan metros -- cuadrados. Después se cuentan las fracciones de centímetros cuadrados agrupándolas para formar centímetros cuadrados completos, cubriendo así, el área total por calcular.

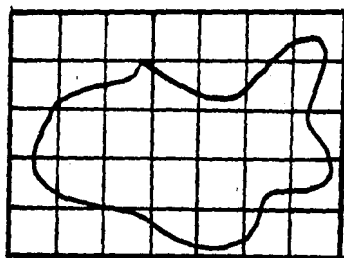


Fig. 3a

3.2.2 Método del Trapecio

Este método consiste en dividir el área en estudio en fajas de igual anchura (x); se supone que los extremos de las ordenadas al lindero están unidas por líneas rectas, formándose una serie de trapecios cuyas bases son las distancias y las alturas son el intervalo común - (x) (ver fig. 3b). Por tanto, el área del primer trapecio es $x (h_1 + h_2)/2$, del segundo es $x (h_2 + h_3)/2$, etc., sumando todas las áreas, se obtiene la siguiente expresión para el área total A , en la que n es igual al número de ordenadas:

$$A = x \left(\frac{h_1 + h_n}{2} + (h_2 + h_3 + \dots + h_{n-1}) \right)$$

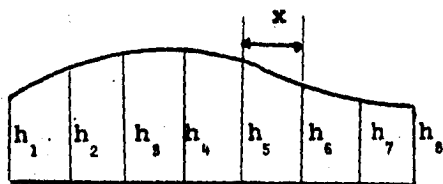
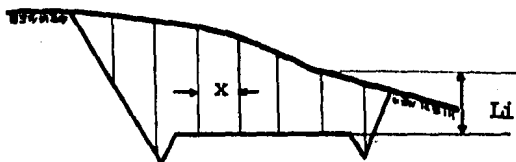


Fig. 3b.

En el cálculo de áreas de secciones transversales de caminos, que posteriormente serán utilizadas para determinar los volúmenes de tierras por mover, se emplea un procedimiento similar al método del trapecio. Consiste en dividir la superficie en fajas del mismo ancho mediante líneas verticales con una separación (x) igual entre todas (ver fig. 3c). Mientras más cercanas sean las separaciones de las líneas verticales, será mayor la aproximación que se obtenga de este método.



• SECCION TRANSVERSAL DE UN CAMINO

Fig. 3c

El área de la sección anterior se obtiene con la expresión:

$$A = x \cdot \Sigma L$$

donde:

- A = Área de la sección transversal (m^2)
- x = Separación constante entre líneas vert.
- ΣL = Suma de las long. de las líneas vert.

En perfiles verticales dibujados en escala 1 a 100 la separación entre líneas verticales (x), generalmente se da de 3 mm, por tanto, si cada centímetro corresponde a un metro, estos 3 mm representan 0.3 m. Así la multiplicación del valor (x) por la suma de las líneas verticales quedará en metros cuadrados al considerar los centímetros de longitud de las líneas verticales como metros.

3.2.3 Cálculo de Areas con Planímetro Polar

El área de un plano o de un mapa puede encontrarse directamente por medio del planímetro polar. Este instrumento permite determinar al instante el área de una figura cerrada dibujada, siguiendo el perímetro y leyendo el resultado en un contador (ver fig. 3d).

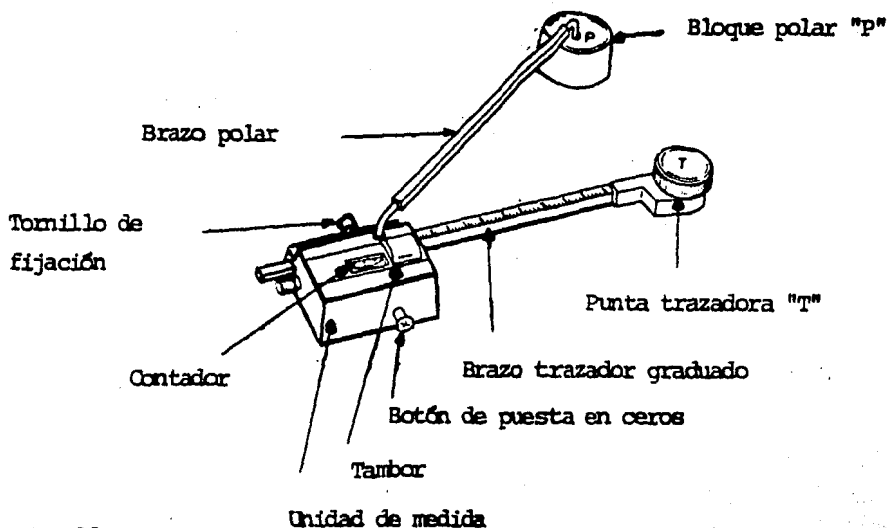


Fig. 3d

Sus elementos esenciales son un punto de anclaje o polo "P", un brazo polar, un brazo graduado con lupa e índice de medición "T", y un contador rodante, cuyas graduaciones se hallan sobre un pequeño tambor. Este contador se puede colocar en cero apretando un botón que tiene con este objeto. El brazo graduado se ajusta dependiendo de la escala del plano. Los brazos del planímetro están ajustados de modo que una revolución del contador mida un área de 100 cm^2 ; el contador puede leer directamente centésimos de revolución y un vernier permite llevar la medida a los milésimos de revolución.

Para usar el planímetro, el polo se coloca en una posición fuera del área a calcular y la punta trazadora se pone sobre el planímetro. Se presiona el botón de puesta en cero, el instrumento queda marcando 0.000 revoluciones. La punta trazadora se desplaza cuidadosamente a lo largo del perímetro hasta regresar al punto inicial; la pieza rodante girará y se deslizará. Al terminar esta operación se toma la lectura del contador por medio de la escala y del vernier de la pieza rodante. Se repite el procedimiento dos o más veces para garantizar un resultado exacto y confiable.

Suponiendo que la lectura haya sido 3.350 revoluciones, el área sería:

$$1 \text{ revolución} = 100 \text{ cm}^2$$

$$3.350 \text{ revolución} = x \text{ cm}^2$$

$$3.350 \text{ rev.} \times 100 \text{ cm}^2 / 1 \text{ rev.} = 335 \text{ cm}^2$$

Si el plano se encuentra a una escala --
1:500, el área real es:

$$1:500 \rightarrow 1 \text{ cm} = 500 \text{ cm}$$

$$1 \text{ cm}^2 = 500 \times 500 = 250\,000 \text{ cm}^2$$

$$1 \text{ cm}^2 = 25 \text{ m}^2$$

por lo tanto:

$$1 \text{ cm}^2 = 25 \text{ m}^2$$

$$335 \text{ cm}^2 = x \text{ m}^2$$

$$(335 \text{ cm}^2 \times 25 \text{ m}^2) / 1 \text{ cm}^2 = 8375 \text{ m}^2$$

3.3 Cálculo de Volúmenes

Las obras de ingeniería civil, donde se llevan a cabo movimientos de grandes volúmenes de tierra son múltiples: carreteras, aeropuertos, presas, distritos de riego, etc.

Como el cálculo del volumen se basa en las áreas, los métodos de cálculo expuestos anteriormente para tal fin, se pueden emplear en la cuantificación de volúmenes de material removido o por remover en trabajos de movimiento

to de tierras.

En general, para efectos de este trabajo clasificaremos los trabajos de movimiento de tierras en dos grupos:

- a) Movimiento de tierras de gran longitud y poca anchura; cortes y rellenos para carreteras, vías férreas, canales, etc.
- b) Movimiento de tierras a gran escala; depósitos, plataformas, estacionamientos, etc.

3.3.1 Movimiento de Tierras de Gran Longitud y Poca Anchura

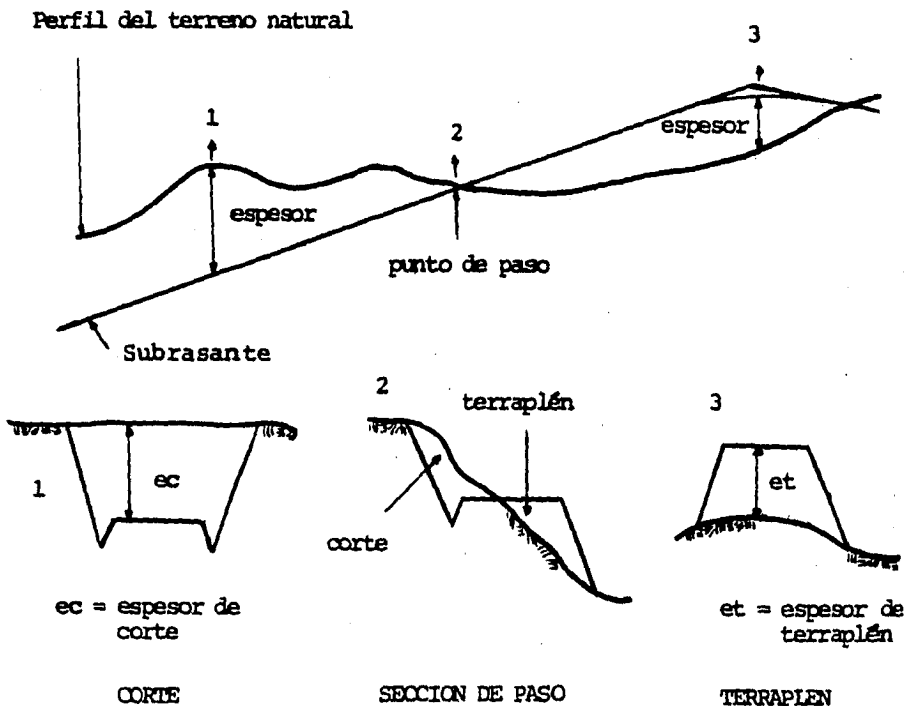
Todos los proyectos de construcción de carreteras implican volúmenes de excavación (corte) y relleno (terraplén).

Para calcular los volúmenes de corte y terraplén previos a la construcción es necesario fijar la subrasante longitudinal (entendiéndose por subrasante el perfil del eje de las terracerías terminadas), para posteriormente determinar las áreas de las secciones transversales a cada cierta distancia (ver fig. 3e). Una distancia usual entre las estaciones es de 20 m, y es la que generalmente se elige para facilitar los cálculos, pero en algunas ocasiones es necesario tomar secciones intermedias si el perfil longitudinal es muy irregular entre las secciou

nes de las estaciones fijadas, disminuyendo con esto considerablemente, los errores en los volúmenes calculados.

Fig. 3e

• SECCIONES TRANSVERSALES DE UN CAMINO



Las áreas de las secciones transversales en estudio se calculan con alguno de los métodos descritos en los párrafos anteriores. Una vez determinadas las áreas se calculan los volúmenes de material, por el método del promedio de áreas extremas o mediante la fórmula del prismo_

de.

3.3.1.1 Método del Promedio de Areas Extremas

El método del promedio de áreas extremas es el método más sencillo para calcular volúmenes entre dos secciones transversales separadas por una distancia D y consiste en multiplicar dicha distancia por el promedio de sus áreas para obtener el volumen, es decir:

$$V = (B + b / 2) \cdot D \dots \underline{1}$$

donde:

V = Volumen entre las estaciones 1 y 2 (m³)

B = Area de la sección transversal de la terracería en la estación 1 (m²)

b = Area de la sección transversal de la terracería en la estación 2 (m²)

D = Distancia entre estaciones (m)

En teoría este método no es exacto a menos que las dos áreas extremas sean iguales, tal afirmación se demuestra de la siguiente forma:

El método de áreas extremas es un método aproximado, una fórmula más exacta es:

$$V = \frac{D}{3} (B + b + \sqrt{B \cdot b}) \dots \underline{2}$$

fórmula utilizada para obtener el volumen de una pirámide trunca, pero que resulta poco práctica en su aplicación. Si igualamos la fórmula aproximada 1 con la más exacta 2 encontramos:

$$(B + b / 2) D = \frac{D}{3} (B + b + \sqrt{B \cdot b}) \dots \underline{3}$$

$$2B + 2b + 2 \sqrt{B \cdot b} = 3B + 3b$$

$$2 \sqrt{B \cdot b} = B + b$$

$$B - 2 \sqrt{B \cdot b} + b = 0$$

$$(\sqrt{B} - \sqrt{b})^2 = 0$$

$$B = b \dots \underline{4}$$

Es decir, que la fórmula aproximada es más exacta solamente cuando las áreas extremas son iguales. Posiblemente para terrenos muy abruptos será necesario hacer algunas correcciones, o en su defecto utilizar otro método para calcular el volumen.

3.3.1.2 Método del Prismoide

El método del prismoide es un procedimiento perfeccionado para calcular volúmenes, éste da

resultados más precisos que los obtenidos por el método del promedio de áreas extremas.

El prismoide es un sólido de bases planas, paralelas y lados que son superficies planas (ver fig. 3f).

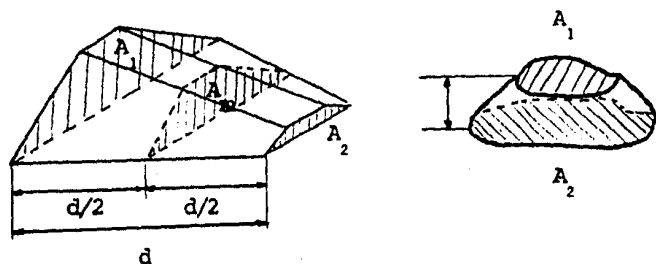


Fig. 3f

PRISMOIDES

El volumen de un prismoide esta dado por la fórmula:

$$V = \frac{d}{6} (A_1 + 4A_m + A_2)$$

donde:

V = Volumen (m^3)

d = Distancia entre las dos estaciones que sirven de base al prismoide (m)

A_1 y A_2 = Areas de las secciones extremas (m^2)

A_m = Area de la sección intermedia (m^2)

Cabe aclarar que el área de una sección intermedia no será igual a la media de las dos áreas extremas, sino que se calcula promediando las dimensiones homólogas de las secciones extremas.

La aplicación de la fórmula del --prismoide a secciones de terracería es algo laboriosa, por que hay que obtener las dimensiones medias de las secciones extremas antes de poder calcular el área de la sección intermedia.

En conclusión, es justificado el empleo del método del prismoide cuando difieren mucho entre sí las áreas de las secciones extremas. Generalmente los valores obtenidos con el método del prismoide son menores que los calculados por el método del promedio de áreas extremas. Al contratar una excavación debe especificarse claramente el sistema de cálculo que se ha de seguir; de otra forma el contratista puede reclamar (y obtener), el beneficio que representa el utilizar el método del promedio de áreas extremas.

3.3.2 Movimiento de Tierras a Gran Escala

Cuando se trata de encontrar el volumen de material por remover en trabajos de movimiento de tierras a gran escala tales como plataformas, grandes depósitos, -almacenes, estacionamientos, etc. se pueden utilizar dos.

métodos:

- a) Cálculo de volúmenes a partir de puntos de nivel
- b) Cálculo de volúmenes a partir de curvas de nivel

3.3.2.1 Cálculo de Volúmenes a Partir de Puntos de Nivel

Supongamos que se tiene una configuración como la que se muestra en la figura 3g, y que se quiere construir una plataforma en la elevación 104 para la instalación de unos almacenes en obra; los lados de la excavación se consideran verticales.

La manera de cuantificar los volúmenes de corte y terraplén es procediendo como se indica en la figura 3h. Al examinar la figura, vemos que hay zonas donde se necesitará cortar y en otras donde se tendrán que hacer rellenos para alcanzar la cota de proyecto. Se ha trazado entre los límites de la plataforma una retícula de cuadrados de 50 m por lado, que definen 28 prismas de base $50 \times 50 = 2500 \text{ m}^2$.

Algunos de estos prismas, como por ejemplo el número 9 (ver fig. 3i), corresponden a una zona donde el 100% de material tendrá que cortarse.

De este prisma, al igual que de todos los demás se puede, por interpolación, determinar las cotas o elevaciones de sus vértices (ver fig. 3h).

Resulta entonces, que el volumen de corte del prisma 9 será igual, en forma aproximada a:

$$V \text{ prisma} = \text{Area} \times \text{Altura Promedio}$$

onde la altura promedio esta determinada por:

$$h \text{ prom.} = (h_1 + h_2 + h_3 + h_4) / 4$$

$$h_1, h_2, h_3, h_4 = \text{alturas de los vértices}$$

Otros prismas, como por ejemplo el número 26 (ver fig. 3i), corresponden a una zona de terraplén. El volumen de relleno puede determinarse exactamente igual que en el caso de los prismas en los que se tiene -- 100% de corte.

Una tercera situación se presenta cuando en un mismo prisma se tiene parte de corte y parte de terraplén (como en el número 28). En estos casos es necesario determinar por interpolación las distancias "X" e "y" que permitirán determinar el área del trapecio base para calcular el volumen.

Con esta información se puede, por simple suma, calcularse finalmente los volúmenes totales de corte y terraplén. Es recomendable utilizar un formato

como el que se muestra en la fig. 3j para ordenar los resultados obtenidos:

cuadro No.	volumen	
	CORTE	TERRAPLEN
1		
.		
.		
.		
n		

Volumen de Corte _____ m³

Volumen de
Terraplén _____ m³

Fig. 3j

Al desarrollarse esta metodología
nótese que:

1. Se han supuesto taludes verticales para la plataforma.

2. A medida que la retícula se haga más cerrada se obtendrá un mayor grado de aproximación en la determinación de los volúmenes, sin embargo el trabajo para hacerlo también aumentará, lo cual en la práctica no se justifica.

3. La precisión de este método depende de la equidistancia entre las curvas de nivel y la exactitud con que estén dibujadas estas curvas. Cuanto mayor sea la escala y menor la equidistancia entre curvas, mayor será la precisión en el cálculo de los volúmenes.

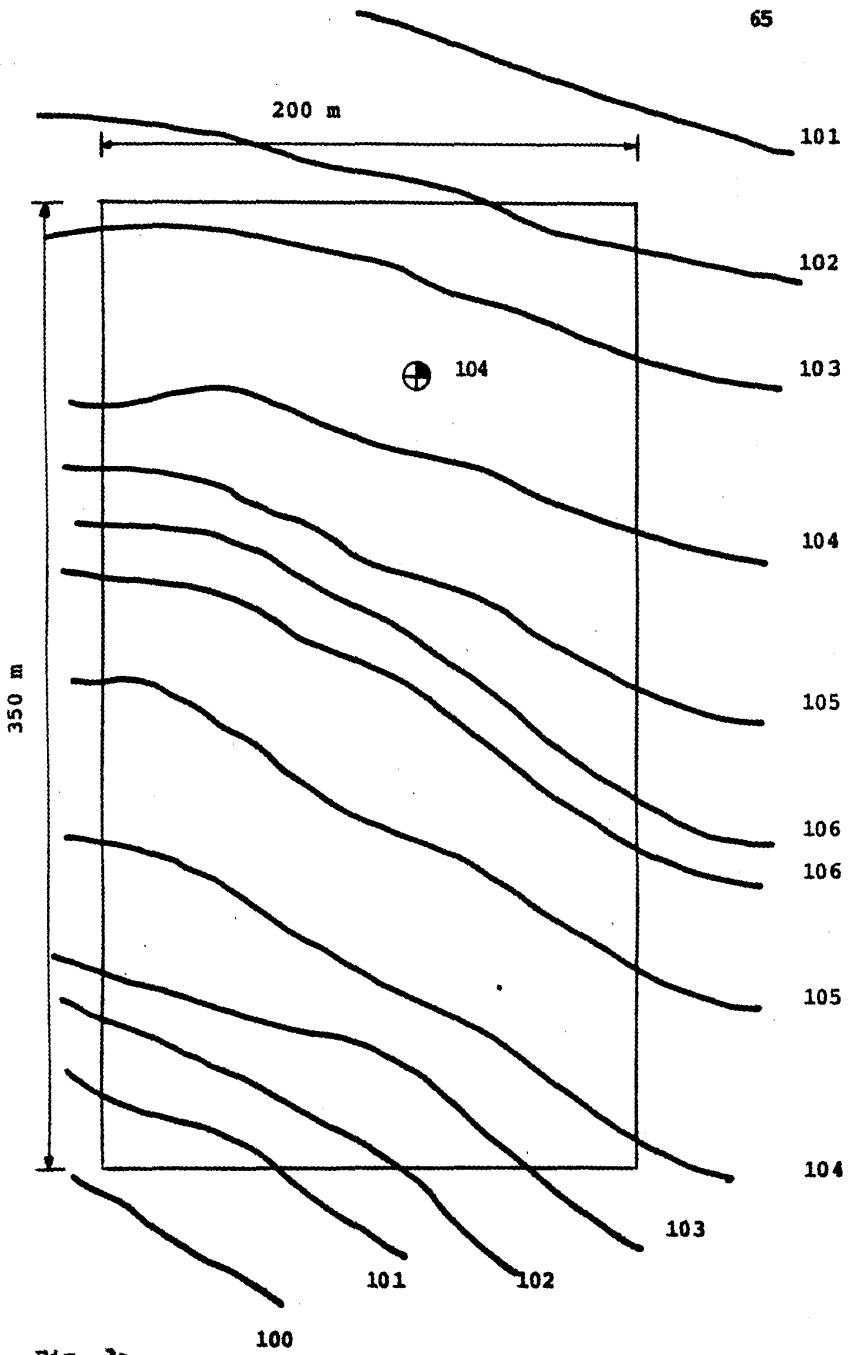


Fig. 3g

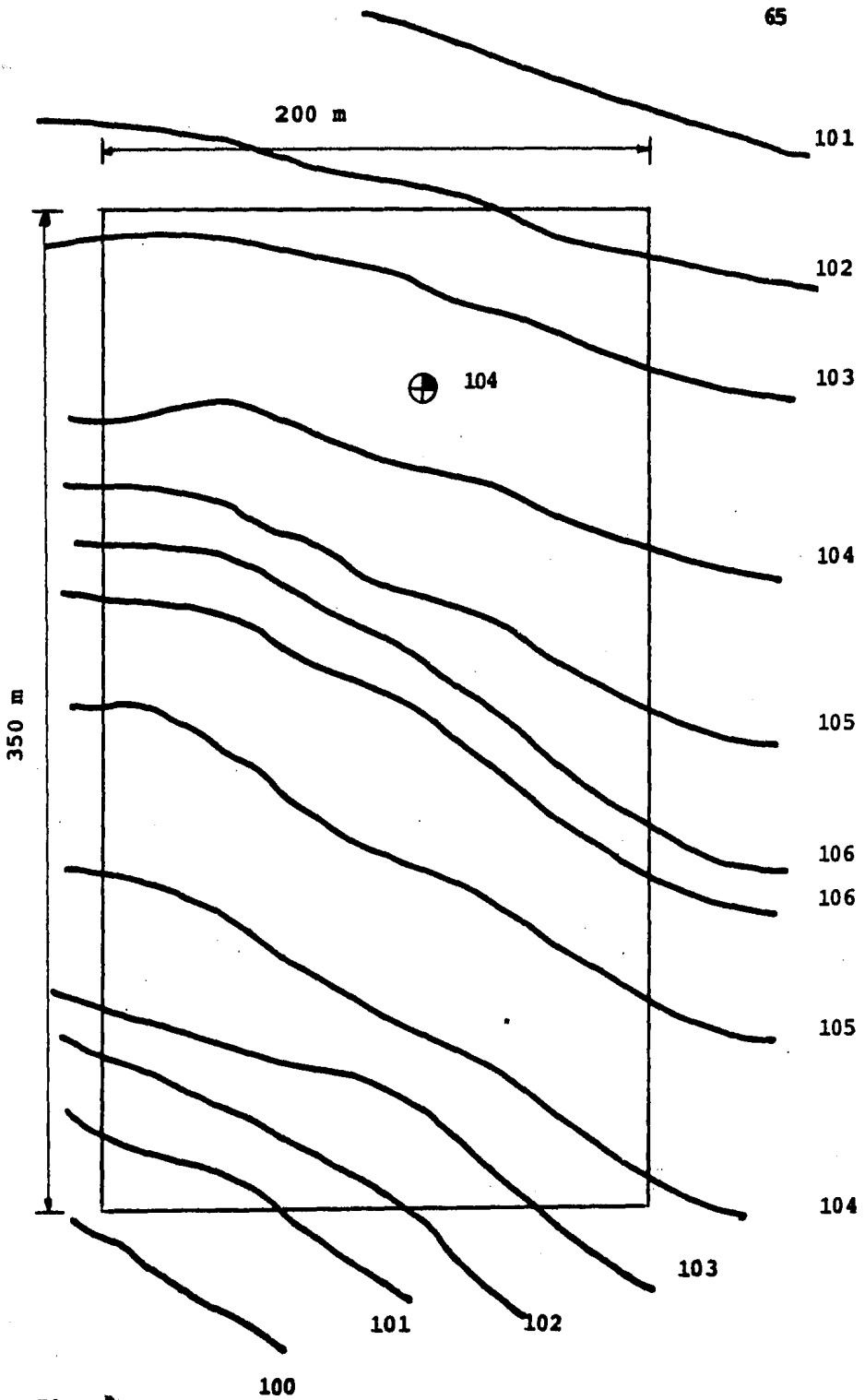


Fig. 3g

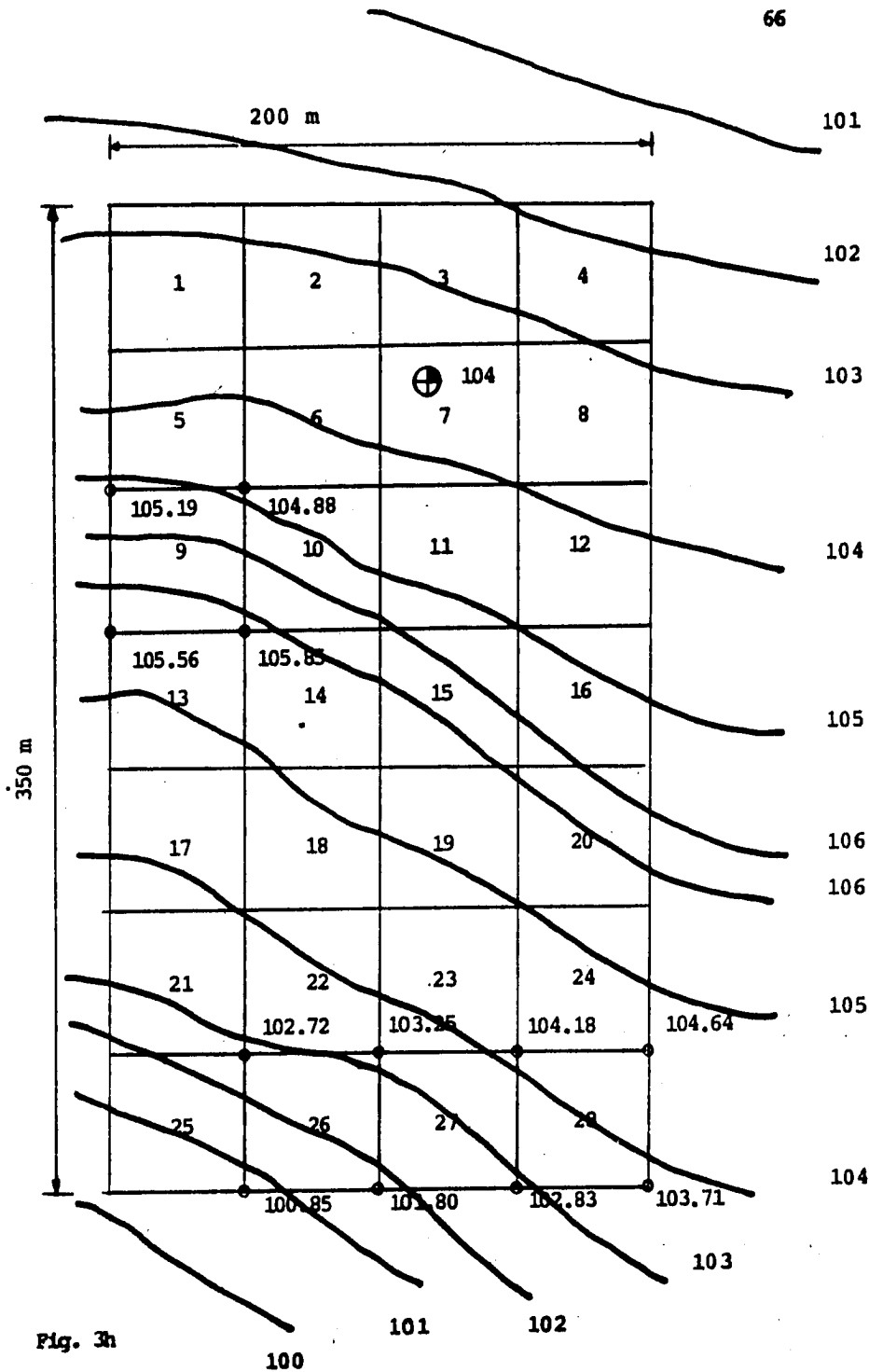
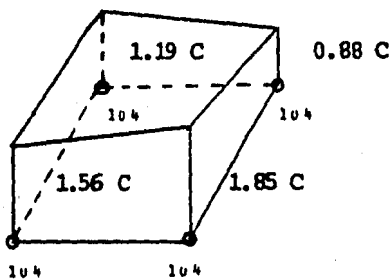
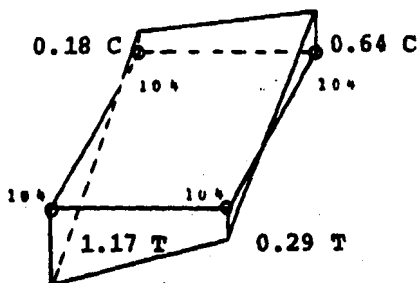


Fig. 3h

CUADRO 26

TERRAPLEN

CUADRO 9

CORTE

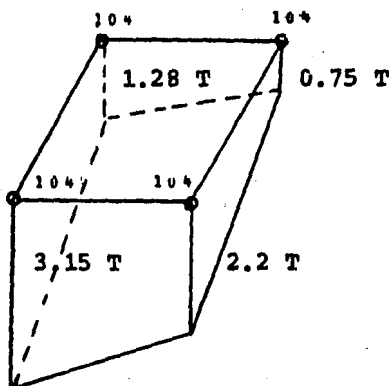
CUADRO 28CORTE Y
TERRAPLEN

Fig. 31

3.3.2.2 Cálculo de Volúmenes a Partir de Curvas de Nivel

La cuantificación del volumen de material por extraerse de un lugar, dejando una superficie - predeterminada se puede llevar a cabo con el auxilio de curvas de nivel.

Este método considera que las áreas contenidas dentro de dos curvas de nivel sucesivas, forman una serie de franjas o prismoides cuyo espesor es el intervalo entre las curvas de nivel (ver fig. 3k). Las áreas se pueden calcular por medio de alguno de los métodos citados anteriormente.

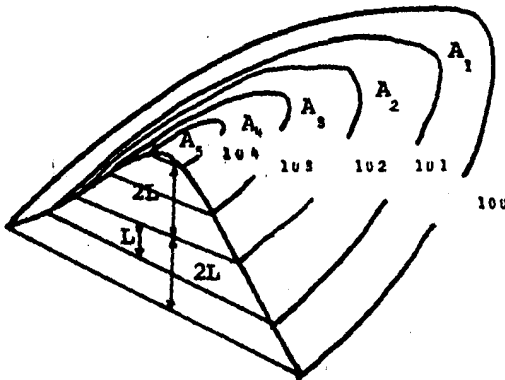


Fig. 3k

L = Intervalo entre curvas de nivel

A_1 = Área delimitada por la curva de nivel

El volumen de dichos prismoides puede hallarse por aplicaciones sucesivas de la regla del prisma.

Se toman las áreas de tres curvas; el área de la curva central se toma como sección media. En el caso de la figura 3k tendremos:

$$V = \frac{2L}{6} (A_1 + 4A_2 + A_3) \quad \text{volumen entre las curvas 100 m y 102 m}$$

$$V = \frac{2L}{6} (A_3 + 4A_4 + A_5) \quad \text{volumen entre las curvas 102 m y 104 m}$$

sumando estos resultados tendremos el volumen entre los niveles 100 m y 104 m:

$$V = \frac{2L}{6} (A_1 + 4A_2 + A_3) +$$

$$\frac{2L}{6} (A_3 + 4A_4 + A_5)$$

$$V = \frac{L}{3} (A_1 + A_5 + 2A_3 + 4(A_2 + A_4))$$

La parte de la colina situada encima de la cota 104 (ver fig. 3k), no se consideró en los anteriores cálculos. Su volumen se calcula por medio del sólido geométrico más cercano, el cual será casi siempre un cono o una pirámide, cuyo volumen esta dado por:

$$1/3 \text{ (área de la base) } \times \text{ (altura)}$$

Análogamente al método de cálculo de volúmenes a partir de puntos de nivel, la precisión de los resultados depende fundamentalmente de la diferencia de nivel entre las curvas; en general a menor intervalo, tendremos una mayor exactitud en el volumen cuantificado.

CAPITULO 4

4. DISTANCIAS DE ACARREO

4.1 Introducción

El éxito del diseño de un camino no se basa únicamente en obtener un resultado satisfactorio al ajustarse a las especificaciones sobre drenaje, curvatura, pendientes, etc., sino que también es de suma importancia el lograr la máxima economía posible en el movimiento de tierras. Economía que se alcanza relleno y excavando exclusivamente lo indispensable, así como acarreado los materiales la menor distancia y de preferencia cuesta abajo.

El análisis de las cantidades de excavación y de relleno, su movimiento y compensación se lleva a cabo mediante un diagrama llamado curva masa. Método sencillo que sólo requiere del conocimiento de los principios básicos de la aritmética.

4.2 Curva Masa

La curva masa es un diagrama dibujado en ejes cartesianos donde las abscisas representan el cadenamiento -- (distancias) y las ordenadas los volúmenes acumulativos de las terracerías.

Este diagrama se dibuja en el mismo papel donde se dibujó el perfil del terreno y se proyectó la subrasante (ver fig. 4a).

Para graficar el perfil se usan dos escalas: una vertical 1:50 y una horizontal 1:2000. La razón en el uso de dos escalas diferentes, se justifica para resaltar las irregularidades del terreno. La curva masa tendrá la misma escala horizontal del perfil, y para la vertical se utiliza generalmente 1 cm = 200 metros cúbicos, pero puede escogerse otra en caso de que los volúmenes representados sean cuantiosos.

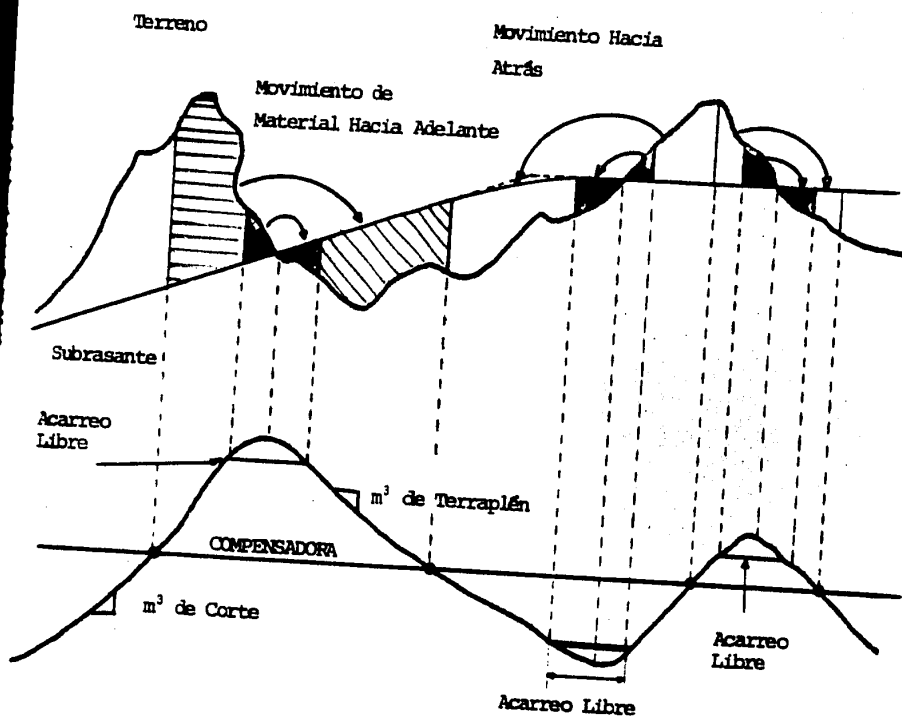
PERFILCURVA MASA

Fig. 4a

4.2.1 Propiedades de la Curva Masa

1. Entre los límites de una excavación, la curva crece de izq. a der.; cuando hay terraplén decrece.
2. En las estaciones donde hay cambio de excavación a relleno (línea de paso), habrá un máximo y viceversa.
3. Cualquier línea horizontal que corte a la curva, marcará puntos consecutivos entre los cuales habrá compensación, es decir, que entre ellos el volumen de corte iguala al de terraplén.
4. La diferencia de ordenadas entre dos puntos, representará el volumen de terracería dentro de la distancia comprendida entre esos dos puntos.
5. Cuando la curva queda encima de la línea horizontal compensadora que se escoge para ejecutar la construcción, los acarreos de material se harán hacia adelante, y cuando la curva quede abajo, los acarreos se harán hacia atrás.
6. El área comprendida entre la curva masa y una horizontal cualquiera compensadora, es el producto de un volumen por una distancia

cia, y nos representa el volumen por la longitud media de acarreo, lo que se expresa en metros cúbicos-estación (en este caso el término "estación" no se refiere a un punto, sino al tramo de 20 m entre estaciones consecutivas cerradas, pues en el lenguaje de -- vías de comunicación se dice por ejemplo, que entre un punto y otro hay ocho estaciones, o sea 160 m, con lo cual se facilita la nomenclatura y los cálculos).

4.2.2 Procedimiento de Cálculo

Los pasos a seguir para determinar la curva masa son los siguientes:

1. Se proyecta la subrasante sobre el dibujo del perfil del terreno.
2. Se determina en cada estación, o en los puntos que lo ameriten, los espesores de -- corte o de terraplén.
3. Se dibujan las secciones transversales topográficas (secciones de construcción).
4. Se dibuja la plantilla del corte o del terraplén con los taludes escogidos según el tipo de material, sobre la sección topo

gráfica correspondiente, quedando así dibujadas las secciones transversales del camino.

5. Se calculan las áreas de las secciones transversales del camino por cualquiera de los métodos ya conocidos.
6. Se calculan los volúmenes abundando los cortes según el tipo de material.
7. Se suman algebraicamente los volúmenes de cortes y terraplenes.
8. Los valores anteriores se ordenan en una tabla como la que se muestra en la figura 4c.
9. Finalmente se dibuja la curva masa con los valores anteriores (ver fig. 4d).

ESTA- CION	Elevaciones		Espesores		Areas		A ₁ + A ₂		Semi- dis- tan- cia	Volumen		Coef. de Abund.		Volúmenes Abundados		Suma Alg. Vols. Ab.		CURVA MASA
	Terre- no	Sub Rasan- te	C	T	C	T	C	T		C	T	C	T	C	T	+	-	
2 + 680	64.80	66.60		1.80		18.2												10000
700	66.00	66.80		0.80		8.9		27.1	10.0		271				271		271	9729
720	67.80	67.00	0.80		4.5		4.5	8.9	10.0	45	89	1.2		54	89		35	9694
734	68.55	67.14	1.41		7.1		11.6		7.0	81		1.2		97			97	9791
740	68.20	67.20	1.00		5.2		12.3		3.0	37		1.2		44			44	9835
760	66.60	67.40		0.80		1.4	5.2	1.4	10.0	52	14	1.2		62	14		48	9883
780	65.70	67.60		1.90		22.0		23.4	10.0		234				234		234	9649
800	66.81	67.80		0.99		6.4		28.4	10.0		284				284		284	9365
820	68.90	68.00	0.90		5.2		5.2	6.4	10.0	52	64	1.2		62	64		2	9363
840	70.70	68.20	2.50		8.3		13.5		10.0	135		1.2		162			162	9525
850	70.92	68.30	2.62		11.8		20.1		5.0	100		1.2		120			120	9645
860	70.10	68.40	1.70		8.7		20.5		5.0	103		1.2		124			124	9769
880	68.15	68.60		0.45		2.4	8.7	2.4	10.0	87	24	1.2		104	24	80		9849
900	67.00	68.80		1.80		6.3		8.7	10.0		87				87		87	9762
920	68.40	69.00		0.60		2.8		9.1	10.0		91				91		91	9671
940	70.00	69.20	0.80		4.1		4.1	2.8	10.0	41	28	1.2		49	28	21		9692
960	70.59	69.40	1.19		5.7		9.8		10.0	98		1.2		118			118	9810
980	70.21	69.60	0.61		3.4		9.1		10.0	91		1.2		109			109	9919
3 + 000	69.02	69.80		0.78		3.1	3.4	3.1	10.0	34	31	1.2		41	31	10		9929
020	67.40	70.00		2.60		11.4		14.5	10.0		145				145		145	9784

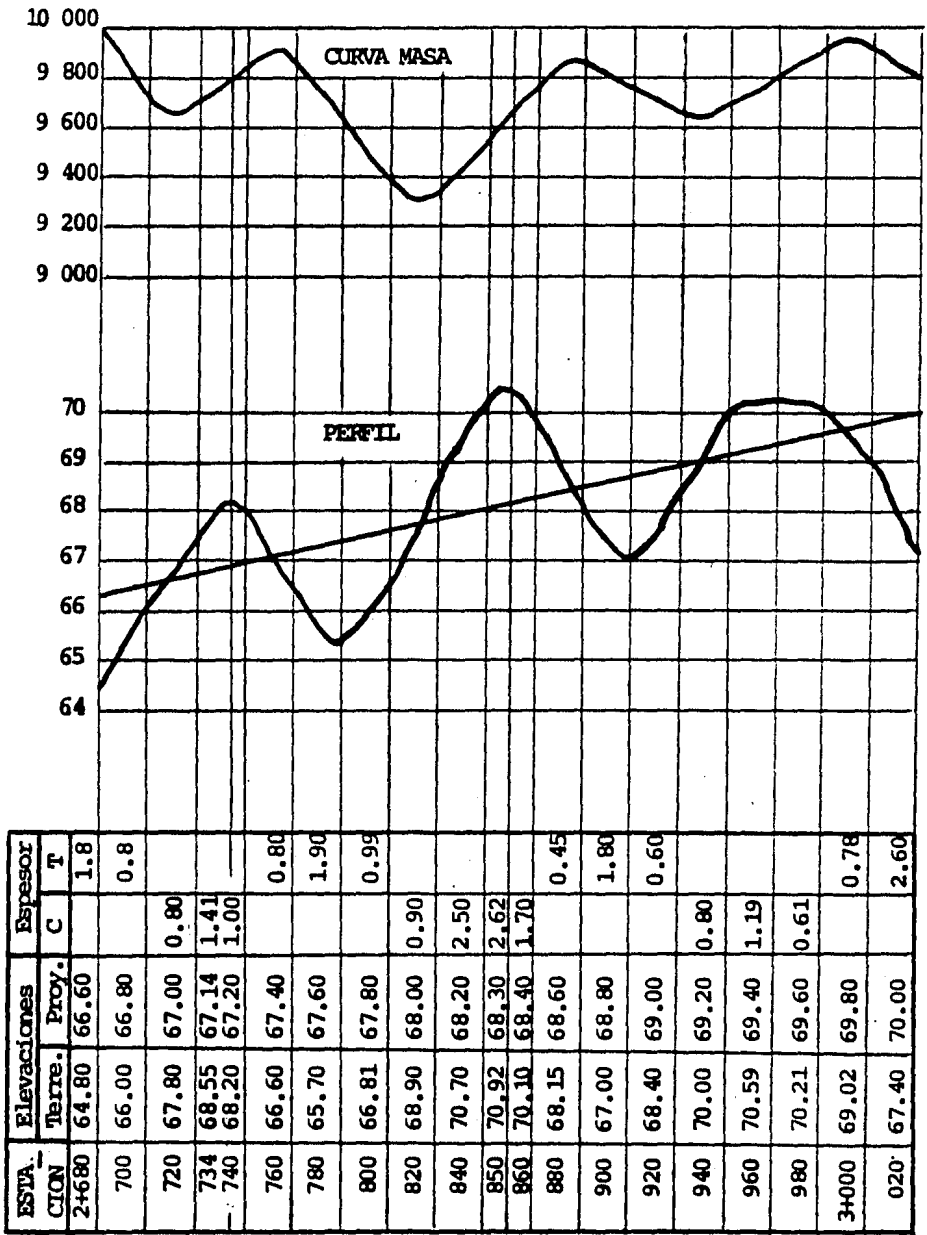


Fig. 61

4.2.3 Objetivos de la Curva Masa

Los objetivos principales de la curva masa son:

- a) Compensar volúmenes
- b) Fijar el sentido de los movimientos del material
- c) Fijar los límites de acarreo libre
- d) Calcular los sobreacarreos
- e) Controlar préstamos y desperdicios

4.2.3.1 Compensar Volúmenes

Como se mencionó anteriormente, - cualquier línea horizontal que corte a la curva, marcará puntos consecutivos entre los cuales habrá compensación, es decir, que entre ellos el volumen de corte iguala al de terraplén.

En general, la línea de compensación que da los acarreo mínimos, es aquella que corta el mayor número de veces a la curva masa.

En el análisis de un tramo se pueden trazar varias compensadoras. Entre dos compensadoras habrá tramos sin compensación. En dichos tramos, si la curva asciende, habrá un volumen exedente que no se empleará para rellenar, denominado DESPERDICIO, y si la curva desciende, será un tramo en donde hace falta material para el

terraplén, es decir, al no poderse obtener de la excavación, es necesario traerse de otro lado, volumen denominado PRESTAMO (ver fig. 4b).

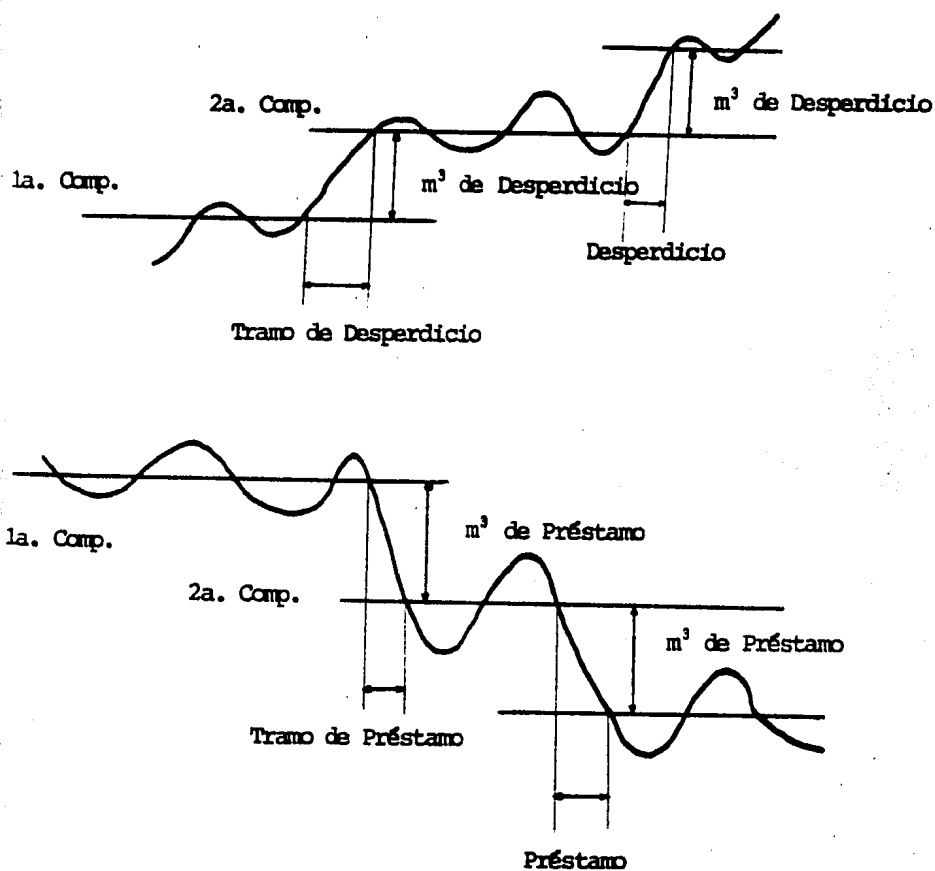


Fig. 4b

4.2.3.2 Fijar el Sentido de los Movimientos del Material

La quinta propiedad de la curva masa indica que cuando la curva queda encima de la línea horizontal compensadora que se escoge para ejecutar la construcción, los acarrees de material se harán hacia adelante, y cuando la curva queda abajo, los acarrees serán hacia atrás.

4.2.3.3 Fijar los Límites de Acarreo Libre

Cuando se manejan volúmenes de consideración en la construcción de terracerías, la longitud de acarreo para colocar los materiales producto de la excavación, en los terraplenes correspondientes, incide de manera importante en el costo total de dicha operación. Se ha adoptado en la práctica, debido a que en estos casos se presentan variaciones considerables en la longitud de acarreo del material excavado, el considerar dentro del precio de la excavación, el acarreo del material hasta una distancia determinada denominada DISTANCIA DE ACARREO LIBRE. Distancia que se ha fijado de 20 m, es decir, una estación.

En conclusión, el acarreo libre se considera como el movimiento de tierras cuyo valor económico esta contenido dentro del precio de excavación y no va más allá de 20 m, según especificaciones oficiales contenido

das en el manual de proyecto geométrico de carreteras de SAHOP, actual SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes).

El acarreo libre se representa con una horizontal en la zona inmediata a los máximos o mínimos del diagrama de masas; la cantidad de material removido es dada por la ordenada de la horizontal al punto más alto; o más bajo en su caso de la curva en cuestión.

4.2.3.4 Calcular los Sobreacarreos

Se denomina sobreacarreo a la distancia que se transportan los materiales ya sea del corte o de un préstamo a mayor distancia que la del acarreo libre.

Según las especificaciones se considera sobreacarreo al movimiento de material que va de 20 a 120 metros por medio de tractor.

A la distancia que hay del centro de gravedad del corte o préstamo al centro de gravedad del terraplén que se forma con ese material, se le resta la distancia de acarreo libre para tener la distancia media de sobreacarreo y se valúa en estaciones de 20 m y décimos de estación.

Es decir:

$$DHS = \frac{|C_G \text{ corte} - C_G \text{ terraplén}| - 20}{20} \quad (\text{est.})$$

El valor del sobreacarreo se obtiene multiplicando dicha distancia por los metros cúbicos de la excavación, medidos en la misma excavación, y por el precio unitario correspondiente del metro cúbico por estación.

Por otra parte, dentro de la construcción se aceptan otros dos tipos de acarreo:

- a) Acarreo Corto
- b) Acarreo Largo

Se considera acarreo corto al movimiento de material con escrepa, de 120 a 520 metros.

Para conocer la distancia de acarreo corto se utiliza la fórmula siguiente:

$$DAC = \frac{|C_G \text{ corte} - C_G \text{ terraplén}| - 20}{100}$$

Esta distancia tendrá como unidades el hectómetro. El acarreo corto resultará entonces de multiplicar la distancia por el volumen y se considerarán como unidades m³-hectómetro.

A partir de 520 m el movimiento de tierras se considera acarreo largo, y deberá ser efectuado con cargador frontal y camiones.

La distancia para el acarreo largo se evalúa con la siguiente expresión:

$$DAL = \frac{|C_G \text{ corte} - C_G \text{ terraplén}| - 20}{1000}$$

Esta distancia tendrá como unidades el kilómetro. Por lo tanto el acarreo largo será el producto de la distancia por el volumen y se maneja en m³-Km.

Es conveniente mencionar que las especificaciones establecidas en el manual de proyecto geométrico de carreteras de SAHOP, actual SCT, en cuanto a los rangos de distancia para los distintos tipos de acarreo, se han fijado de acuerdo a datos estadísticos obtenidos en obras pasadas.

4.2.3.5 Controlar Préstamos y Desperdicios

Existen dos métodos para formar un terraplén: uno sobreacarreando el material del corte y el otro, con el material del préstamo. Si el primero resulta más económico que el segundo, conviene sobreacarrear; pero si el segundo resulta más económico, sin lugar a dudas conviene prestar y desperdiciar el producto del corte.

Para poder elegir si es más conveniente tomar los materiales de un préstamo o sobreacarrear los de un corte, es necesario determinar la distancia con la que el costo del sobreacarreo resulta igual al costo del préstamo para formar un mismo volumen de terraplén.

La distancia económica de sobreacarreo se obtiene de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{DISTANCIA DE} &= \frac{\text{Costo del m}^3 \text{ del préstamo}}{\text{Costo del sobreacarreo por m}^3} \\ \text{SOBREACARREo} & \text{ y por estación de 20 m} \\ &= X \text{ estaciones} \end{aligned}$$

Por lo tanto el número de metros a los cuales se puede sobreacarrear será de:

$$(X \text{ estaciones}) \cdot (20 \text{ m/estación}) = Y \text{ metros}$$

Aumentándole a esta distancia los 20 metros de acarreo libre, se tienen $Y + 20$ metros, como la máxima distancia a la que se puede acarrear de un corte, ya que más allá de esta distancia conviene más que el contratista traiga material de un préstamo.

Por último, cabe mencionar que en la actualidad, con el uso de la computadora, la curva masa se ha vuelto una herramienta poderosa en el análisis de cantidades de excavación y relleno, movimiento (acarreos) y compensación racional.

CAPITULO 5

5. TALUDES

5.1 Introducción

La ejecución de los movimientos de tierras, es una de las ramas más importantes de las obras civiles.

Los movimientos de tierra forman la parte principal de gran número de obras, especialmente en la construcción de vías de comunicación (carreteras, ferrocarriles, túneles, canales, etc).

Este tipo de trabajos implican en la mayoría de los casos, la ejecución de cortes y terraplenes, cuya función es la de proporcionar una faja de apoyo al pavimento en carreteras y aeropistas o a la superestructura de la vía férrea.

En la construcción de cortes y terraplenes es necesario el considerar los taludes adecuados que se deben de dar de acuerdo al tipo de material con el

que se esta trabajando, de tal forma que la estructura en cuestión cumpla con los requerimientos de estabilidad establecidos.

En la medida que se den taludes al material, con un rango de seguridad aceptable, se evitarán problemas de derrumbes que pueden ocurrir durante la construcción, o después de que se ha terminado la obra, - causando con ello, pérdidas de vida o heridas, por ejemplo entre los que construyen o utilizan un camino, o bien la destrucción de maquinaria de construcción e interrupción del tránsito por largos periodos.

5.2 Definición

Se entiende por taludes cualesquiera superficies inclinadas respecto a la horizontal, que hayan de adoptar permanentemente las estructuras de tierra, ya sea en forma natural o como consecuencia de la intervención humana en una obra de ingeniería. Desde este punto de vista, los taludes se dividen en naturales (laderas) o artificiales (en el caso de cortes y terraplenes).

5.3 Inclinación de los Taludes

Los taludes que limitan los movimientos de tierra deben de tener cierta inclinación con la hori-

zontal para mantenerse en equilibrio estable (ver fig. 5a). Se define esta inclinación bien por el valor del ángulo α del talud con la horizontal o por el valor:

$$\cot \alpha = B / H \quad \text{o} \quad \tan \alpha = H / B$$

El ángulo de inclinación α debe ser inferior a cierto límite que es el ángulo de talud natural del terreno, llamado también ángulo de reposo (ver tabla 5b), talud que es el que toma por sí mismo el material abandonado a la acción prolongada de los agentes atmosféricos.

El ángulo del talud natural depende esencialmente de la naturaleza del terreno y su grado de consistencia. Es más grande para los terrenos naturales in situ (taludes de excavación en terreno natural) que para los terrenos transportados (taludes de excavación en terreno transportado, talud de terraplén).

Al referir un talud es común utilizar la siguiente notación:

Talud $x : 1$

Donde x es la medida horizontal y la medida vertical generalmente toma el valor de la unidad (1). Represen_

tándose gráficamente lo anterior como se muestra en la figura 5a.

El conocimiento del ángulo de reposo y la determinación del ángulo de inclinación α son indispensables:

a) Para el estudio de los proyectos de movimiento de tierras, para fijar los perfiles y determinar la cubicación de los movimientos de tierra o la superficie de expropiación que son tanto más grandes, cuanto menor es el ángulo α .

b) Durante la ejecución, para dar a los taludes una inclinación correcta compatible con una buena estabilidad de las obras.

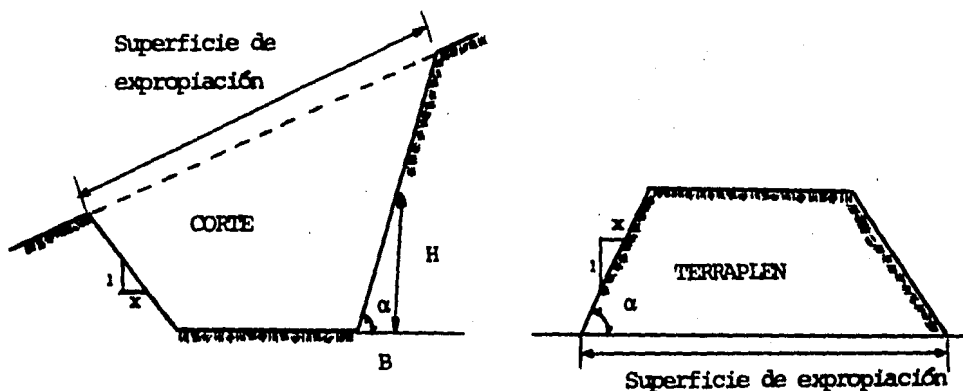


Fig. 5a Inclinación de los taludes

La experiencia y práctica demuestran que el ángulo de reposo es mayor para terrenos secos o ligeramente húmedos que para terrenos muy húmedos o impregnados de agua; siendo aún menor para terrenos enteramente sumergidos.

ANGULOS DE REPOSO APROXIMADOS

MATERIAL	TALUD HORIZONTAL-VERTICAL	ANGULO DE REPOSO
Arcilla Seca	1.3 : 1	38°
Arcilla Húmeda	2.0 : 1	27°
Tierra Seca	1.3 : 1	38°
Tierra Húmeda	2.0 : 1	27°
Grava de Río	1.7 : 1	30°
Roca Fracturada Suave	1.5 : 1	34°
Roca Fracturada Dura	1.3 : 1	38°

Referencia: CATERPILLAR TRACTOR Co.

Tabla 5b

La tabla 5c muestra el valor del ángulo de inclinación α (Así como el valor redondeado de $\tan \alpha = H / B$) adoptado generalmente para los taludes.

En la práctica estos valores representan los mínimos por debajo de los cuales no es prudente descender.

T E R R E N O	Talud de excavación en terrenos naturales				Talud de excavación en terrenos transportados Talud de Terraplén			
	Terrenos Secos		Terrenos Sumergidos		Terrenos Secos		Terrenos Sumergidos	
	α	$\tan \alpha$	α	$\tan \alpha$	α	$\tan \alpha$	α	$\tan \alpha$
Roca dura	80°	5/1	80°	5/1	45°	1/1	45°	1/1
Roca blanda o fisurada	55°	3/2	55°	3/2	45°	1/1	45°	1/1
Detritus rocosos, gujarros	45°	1/1	40°	4/5	45°	1/1	40°	4/5
Tierra adherente mezclada con piedra y tierra vegetal	45°	1/1	30°	1/2	35°	2/3	30°	1/2
Tierra arcillosa, arcilla, marga	40°	4/5	20°	1/3	35°	2/3	20°	1/3
Grava, arena gruesa no arcillosa	35°	2/3	30°	1/2	35°	2/3	30°	1/3
Arena fina no arcillosa	30°	1/2	20°	1/3	30°	1/2	20°	1/3

Tabla 5c

Los valores dados para terrenos sumergidos corresponden a taludes bajo el agua o enteramente saturados de agua por abundantes infiltraciones.

Los valores correspondientes a terrenos secos deben utilizarse en movimientos de tierras fuera del agua, pero tienen en cuenta la acción normal de las lluvias.

5.4 Estabilidad de los Taludes

Uno de los problemas más complejos que se deben solucionar mediante estudios profundos, es la de terminación de los taludes estables, ya que al someter a una masa de suelo a un proceso de excavación, se rompe el equilibrio natural, dándosele una nueva configuración y además sometiéndola a esfuerzos que antes no ejercían sobre ésta. Para ello hay que tomar en cuenta el tipo de proyecto (carretera, ferrocarril, aeropista o camino), volumen de tránsito a que estará sometido, flujos de agua, erosión de los materiales, grado de fracturamiento en el caso de rocas, etc..

A continuación se describen a groso modo, los tipos de falla más frecuentes en taludes:

5.4.1 Falla por Deslizamiento Superficial

Debido a la acción de la gravedad, las partículas y porciones de suelo constituyentes del talud tienden a deslizar hacia abajo, proceso lento que tiende a destruirlo.

Una señal de este tipo de falla lo representan la inclinación de arboles y postes, desplazamientos relativos, grietas, etc.

5.4.2 Falla por Movimiento del Cuerpo del Talud

En los taludes se puede presentar movimientos bruscos que afectan a masas de suelo de consideración, denominadas fallas por movimiento del cuerpo del talud, las cuales pueden ser de dos tipos:

5.4.2.1 Falla por Rotación

Son fallas que presentan movimientos rápidos con desplazamientos a lo largo de una superficie de falla curva que se desarrolla en el interior del terraplén (ver fig. 5d).



Fig. 5d

5.4.2.2 Falla por Traslación

Este tipo de falla consiste en movimientos de traslación de consideración en el cuerpo del terraplén sobre superficies de falla básicamente planas, asociadas a la presencia de estratos poco resistentes localizados a poca profundidad (ver fig 5e).

La superficie de falla se desarrolla en forma paralela al estrato débil y se remata en sus extremos por dos agrietamientos, generalmente se producen este tipo de falla en suelos formados por arcillas blandas, arenas finas o limos sueltos.

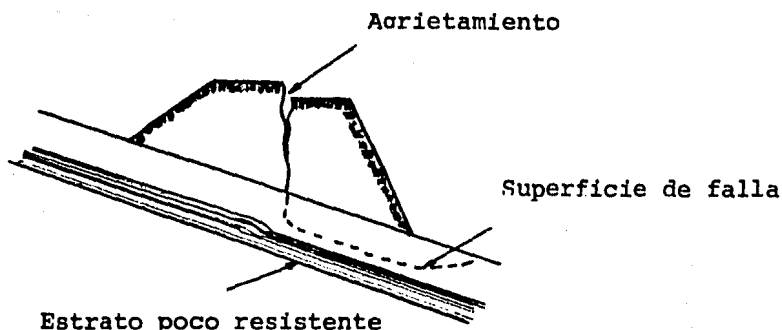


Fig. 5e

5.4.3 Falla por Erosión

En suelos formados por arenas o limos, si se presentan escurrimientos de agua superficiales, provocará el arrastre del material sobre el talud, formando pequeños canales que van en incremento, terminando por destruirlo. Estas fallas de tipo superficiales a veces son provocadas también por la acción del viento.

5.4.4 Falla por Licuación

La falla por licuación consiste en la pérdida rápida de resistencia al esfuerzo cortante temporal o definitiva en los suelos. Tal pérdida condu

ce al colapso a cualquier estructura vial edificada so
bre o hecha de un material que entre en licuación.

Las causas de este tipo de falla son fundamentalmente el incremento de los esfuerzos cortantes actuantes debido al desarrollo rápido de ele
vadas presiones causadas por un sismo o bien por una explosión o un impacto de gran magnitud aunado a los escasos contactos entre los granos constituyentes del suelo. Los materiales en los que se presenta con frecuencia este tipo de fallas son las arcillas satura-
das y las arenas poco compactas, es decir, en los sue-
los fino granulares, de estructura suelta, saturados.

En la secretaría de Obras Públicas (Actualmente Secretaría de Comunicaciones y Transportes), se hacen estudios de estabilidad de taludes en algunos casos en que se suponen críticos, ya que el efectuar el análisis en cada uno de los cortes que se ejecutan en la construcción de una carretera, camino, etc. , es prácticamente inaplicable por lo laborioso del proce-
dimiento, razón por la cual con base en análisis de es-
tabilidad de taludes de materiales tipo y a la experien-
cia, se fija el talud.

Las tablas 5f presentan los taludes recomendables para cortes de diferentes alturas y dife-
rentes tipo de material.

En el caso de terraplenes, se ha observado que es posible obtener una relativa homogeneidad de los materiales, lo que ha permitido hacer el análisis de estabilidad de los mismos para la mayoría de los materiales con que se construyen habiéndose encontrado que un terraplén debidamente construido, es estable con un talud $1.5 : 1$, lo que además facilita la construcción y permite dar una mayor seguridad a los vehículos que transitan que con un talud de menor pendiente. Para terraplenes con altura entre 0 y 0.60 m se recomienda un talud $3:1$, para altura entre 0.60 y 1.20 m de $2:1$ y para alturas mayores de 1.20 m de $0.5:1$.

Tabla 51
Taludes recomendados en cortes

TIPO DE MATERIAL	TALUD RECOMENDABLE				OBSERVACIONES
	Hasta 5 m	De 5 a 10 m	De 10 a 15 m	Mayor de 15 m	
Granito sano y masivo.					Desopetar a 1/2:1 la parte interperizada de la bay.
Granito sano fisurado en bloques.					Amacinar taludes según la disposición de los bloques.
Granito exfoliado, grandes bloques empacados en arena.					No se considera recomendable la construcción de bermas en el cambio de talud.
Granito exfoliado, grandes bloques empacados en arcilla arenosa.					Se recomienda construir banquetas con el objeto de recibir en ellas los pequeños desprendimientos que normalmente se presentan.
Granito totalmente intemperizado (tucuruquay).					Si el producto de la intemperización del granito es arena fina, limosa o arcillosa, se recomienda proyectar banquetas de 1 m para cortes hasta de 15 m y de 3 m para cortes mayores.
Dioritas.	Se recomienda tomar en cuenta las mismas observaciones que se hacen para los granitos, dependiendo del grado de intemperismo de la roca.				
Andesita fisurada, sin alteración.					Se recomienda amacinar siguiendo los planos de fisuramiento.
Andesita fracturada y poco alterada.					Se puede construir bermas de 1 m al cambiar talud si la parte inferior del corte no contiene arcilla en las fracturas y áreas entre estradas.
Andesita fracturada y alterada.					Se recomienda desopetar con talud 1:1 la parte superior talud alterada, si existe. Bajo de agua deberá proyectarse un sub-drenaje adecuado.

Tabla 5f
(Continuación)

TIPO DE MATERIAL	TALUD RECOMENDABLE				OBSERVACIONES
	Hasta 5 m	De 5 a 10 m	De 10 a 15 m	Mayor de 15 m	
Basaltos sanos o fracturados en grandes bloques, con sistemas de fracturamiento a 90° horizontal y verticales.					Se recomienda aplanar siguiendo los planos de fracturamiento, tal como descopetar a 1:1 la parte interperforada.
Dielmas sanos poco fracturados.					Se recomienda aplanar.
Basaltos fracturados, sanos.					Descopetar 1/2:1 la parte superior del corte, si el fracturamiento es muy intenso. Si hay una capa interperforada descopetar 1:1.
Basaltos fracturados en bloques de todos tamaños.					Si los fragmentos están sueltos y sin suelo, o empacados en arcilla o limo suave con flujos de agua.
Basaltos fracturados en bloques de todos tamaños.					Si los fragmentos están empacados en arcilla firme sin que existan flujos de agua.
Basaltos muy fracturados y en proceso muy avanzado de intemperización.					En zonas muy lluviosas se recomienda construir al pie del talud una barqueta de 1 m para cortes hasta de 15 m y de 2.0 m para cortes mayores de 15 m.
Cerritos basálticos intercalados con rocas piroclásticas y arenitas.		Se recomienda definir el contacto entre el basalto y las rocas piroclásticas para darle a cada uno su talud correspondiente. Las rocas piroclásticas requieren talud de 1:1 si se encuentran sueltas o de 3/4:1, si se encuentran compactas o con materiales muy gruesos.			
Tufo de lava.					Si el tamaño de la grana fino y está suelta, se propone aplicar las mismas recomendaciones que para el resto de las piroclásticas.
Tufo, tobas lavasolías, andalíticas, riolíticas o basálticas, sanas o ligeramente fracturadas.					Si existe intemperización en la parte superior del corte, se recomienda descopetar el corte a 1/2:1.
Tufo, tobas lavasolías, andalíticas, riolíticas o basálticas, sanas o ligeramente fracturadas.					Si existe un flujo de agua interperforado, se recomienda construir bermas de 0.5 m a la mitad de la altura, interperforadas.

Tabla 5f
(Continuación)

TIPO DE MATERIAL	TALUD RECOMENDABLE				OBSERVACIONES
	Hasta 5 m	De 5 a 10 m	De 10 a 15 m	Mayor de 15 m	
Tobas, tobas brechoídes, riolíticas, andesíticas o basálticas poco intemperizadas.					Se recomienda descopetar a 3/4:1 la parte superior si el fracturamiento o intemperismo es intenso.
Tobas, tobas brechoídes, riolíticas, basálticas o andesíticas muy intemperizadas.					Cambio de talud a la mitad de la altura en cortes mayores de 15 m.
Lutita dura y resistente, con echado casi horizontal, poco fracturada.					No construir contracueretas si no son bien impermeabilizadas. Descopetar a 3/4:1 la parte superior más intemperizada.
Lutita suave de resistencia media muy fracturada.					No construir contracueretas si no son bien impermeabilizadas. Descopetar 1:1 la parte superior más intemperizada.
Areniscas azules fuertemente cementadas, estratificación mal definida horizontal o a favor del corte.					Descopetar 3/4:1 la parte muy intemperizada.
Areniscas poco cementada, muy alterada con flujos de agua.					Descopetar 1:1 la parte superficial muy intemperizada.
Conglomerado brechoíde bien cementado con matriz arcillosa o calcárea.					Se recomienda aplanar eliminando todos los fragmentos sueltos.
Conglomerado pobremente cementado con matriz arcillosa.					Si la matriz arcillosa se encuentra saturada o sometida a fuertes cambios de humedad, se recomienda para cortes mayores de 10 m construir banquetas de 1 m y bermas de 4 m a la mitad de la altura.
Caliza fracturada con echado casi a favor del corte con estratificación gruesa o mal definida.					Se recomienda descopetar 1:1 la parte superior alterada o muy fracturada.
Calizas suaves con estratificación fina horizontal o a favor del corte.					Descopetar 1:1.

Tabla 5f
(Continuación)

TIPO DE MATERIAL	TALUD RECOMENDABLE				OBSERVACIONES
	Hasta 5 m	De 5 a 10 m	De 10 a 15 m	Mayor de 15 m	
Caliza intemperizada con flujo de agua.					Proyectar subdrenaje contracuetas impermeables.
Caliza sana con echado contra el corte entre 90° y 45°, con lubricante arcilloso entre estratos.	Dar el talud correspondiente al echado. Si la roca está muy fracturada, proyectar bermas impermeabilizadas de 4 m a la mitad de la altura. Contracuetas impermeables.				
Caliza muy fracturada e intemperizada.					Contracuetas impermeables.
Caliza sana poco fracturada con echado contra el corte entre 30° y 45°.					Se puede considerar como si el echado fuera horizontal.
Caliza muy poco intemperizada y fracturada, con echado entre 45° y 30° contra el corte.					Descopetar la zona más fracturada a 1:1. Contracuetas impermeabilizadas.
Pizarra.	Mismas recomendaciones que para caliza.				
Aglomerado medianamente compacto con finos no plásticos.					Contracuetas impermeabilizadas. Para cortes mayores de 10 m construir banquetas de 1.0 m en el pie del talud.
Aglomerado medianamente compacto con finos plásticos.					Contracuetas impermeabilizadas. Para corte mayor de 10 m proyectar bermas de 2 m a la mitad de la altura y para corte mayor de 15 m aumentar el ancho a 4 m.
Arenas limosas y limos compactos.					Descopetar 1:1 la parte superior más intemperizada. Si son materiales fácilmente erosionables deberá proyectarse talud de 1:1 y proteger con pasto.
Arenas limosas y limos poco compactos.					Contracuetas impermeables. Descopetar a 1:3:1 a la parte más intemperizada. Para cortes mayores de 15 m proyectar banquetas de 3 m al pie del talud.

Tabla 5f
(Continuación)

TIPO DE MATERIAL	TALUD RECOMENDABLE				OBSERVACIONES
	Hasta 5 m	De 5 a 10 m	De 10 a 15 m	Mayor de 15 m	
Arenas limosas y limas muy compactas (tepetate).					Descopetar la parte superior suelta.
Arcillas poco arenosas firmes (homogéneas).					Descopetar 1:1 la parte intemperizada. Si existe flujo de agua proyectar subdrenaje.
Arcillas muy suaves expansivas y compresibles.					*Para cortes mayores de 15 m proyectar bermas a la mitad de la altura bien drenada.
Cacón producto de la intemperización de granitos o dioritas.					Cubrir con pasto el talud para cortes mayores de 5 m proyectar bermas de 5 m bien drenada. (altura máxima 16 m)
Arenas limpias poco o nada compactas.	Su ángulo de fricción interna con banqueta de 1.00 m en la base.				Cubrir los taludes con pasto.

*La construcción de la bermas requerirá de una contrapendiente con objeto de drenar el agua por medio de curvas que deberán ser impermeables, pues si no lo son se podría tener una filtración que pondría en peligro la parte interior del corte al establecerse una superficie de falla ocasionada por la disminución de la resistencia al esfuerzo cortante del material por efecto de la filtración.

En general, las fallas que se presentan más frecuentemente son las fallas por rotación, las cuales producen superficies de falla cilíndrica.

El método de análisis que se utiliza para estos casos es el método sueco, método cuya aplicación se extiende a diversos tipos de suelos, a fin de verificar si la estabilidad del terraplén esta garantizada, con un factor de seguridad convenientemente calculado.

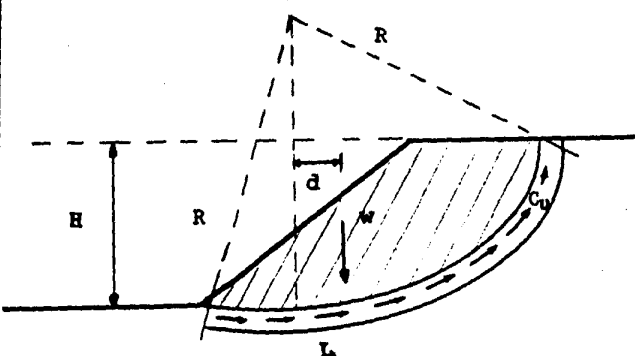
A groso modo el procedimiento que sigue este método es el siguiente:

Se escoge en forma hipotética una superficie de falla y se analiza su factor de seguridad, que resulta de dividir el momento resistente entre el momento motor. El momento resistente forma parte de las propiedades de la superficie de falla, entre ellas la cohesión o fricción que se genera a lo largo de todo su desarrollo y el momento motor lo forma el conjunto de todos los pesos de la masa que suponemos va a deslizar al ocurrir la falla del talud.

En base a la experiencia obtenida se considera como un rango de seguridad adecuado para que exista un funcionamiento adecuado en un talud, el seleccionar un factor de seguridad entre 1 y 2.

Los tipos de suelos en los que se puede aplicar el método sueco son:

- a) Suelos puramente cohesivos ($\phi = 0$)
- b) Suelos con cohesión y fricción
($c \neq 0$ $\phi \neq 0$)
- c) Suelos estratificados



$$M_m = \Sigma wd$$

$$M_r = c_u LR$$

$$M_m = M_r$$

$$\Sigma wd = c_u LR$$

$$F.S. = \frac{c_u LR}{\Sigma wd}$$

5.5 Protección de Taludes

Una vez concluidos los cortes y los terraplenes, es conveniente tomar las medidas necesarias para proteger los taludes y en general el terreno contra las degradaciones superficiales y profundas.

Las degradaciones superficiales se deben principalmente a la acción de la intemperie (lluvia, viento, etc.). Asimismo las degradaciones profundas son originadas por el flujo de agua subterránea.

La primera medida a tomar para prevenir las degradaciones superficiales es recoger el agua superficial mediante cunetas (ver fig. 5g).

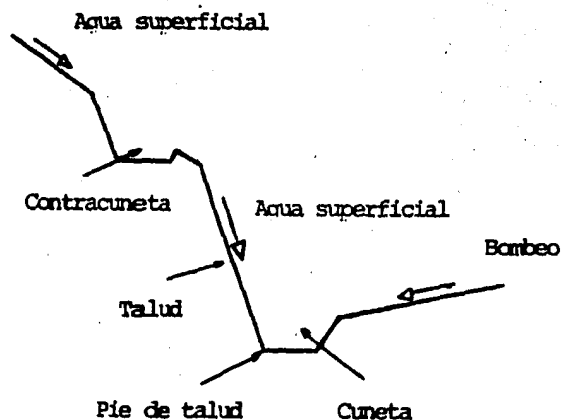


Fig. 5g

Las cunetas y contracunetas son zanjas construidas en lugares convenientes, recubiertas frecuentemente de mampostería o concreto.

La siembra de pasto y plantas en los taludes es otra medida importante para protegerlos de la erosión. La mayor parte de las variedades de plantas protegen la superficie, y los tipos con raíces profundas o entrelazadas pueden soportar algo de los esfuerzos internos.

Cuando la tierra de los taludes no se presta al crecimiento de la vegetación, se le adicionará una capa de tierra vegetal sujeta mediante surcos formados con escarificador (ver fig. 5h).

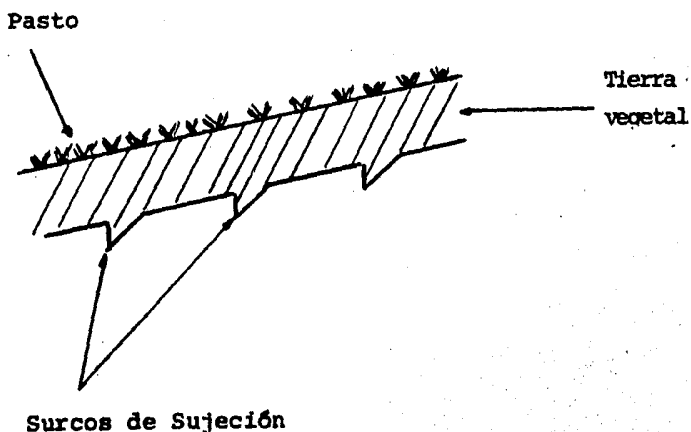


Fig. 5h

El tipo elegido de vegetación dependerá del suelo en el que se plantará y el tipo de vegetación disponible en la localidad.

El revestimiento de los taludes mediante mampostería es eficaz si la pendiente y el espesor aseguran su estabilidad.

El punto débil de estos revestimientos es la cimentación de su pie; este problema se resuelve con la construcción de muros de contención, ya sea de mampostería o de concreto armado, cuyo diseño y construcción exige un gran cuidado.

En cuanto a las medidas a adoptar para evitar las degradaciones profundas, es decir, el deslave del talud por efecto de las aguas subterráneas, se puede mencionar la construcción de un adecuado sistema de drenaje subterráneo. Se puede tender tubos de diámetro adecuado en los lugares húmedos del talud para interceptar escurrimientos, los cuales se disponen hacia la cuneta del pie del talud, para desalojar en ella el agua captada (ver fig. 5i).

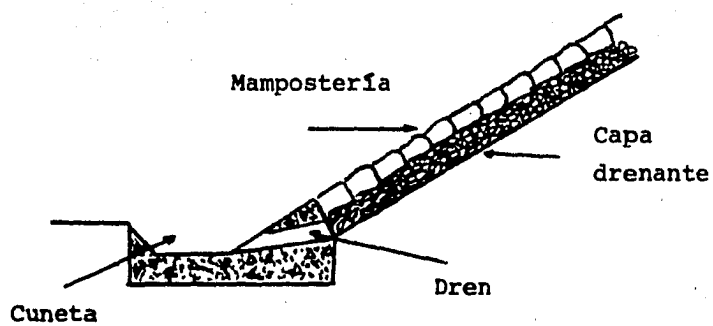


Fig. 5i

CONCLUSIONES

* En general los conceptos tratados en el presente trabajo, no se incluyen o se exponen muy superficialmente en las distintas asignaturas de la carrera de ingeniero civil en la UNAM, ya que dichos conceptos se dan por sabidos. Además de que se carece de un texto que involucre en forma integral los aspectos fundamentales en el movimiento de tierras.

* El conocimiento de los coeficientes de abundamiento y compactación son de gran utilidad en los trabajos de movimiento de tierras en la uniformización de criterios en la cuantificación de volúmenes.

* Las distintas dependencias gubernamentales que realizan trabajos de movimiento de tierras han emitido especificaciones de construcción en donde se contempla la clasificación de los materiales de excavación, de acuerdo a la dificultad que presentan en su extracción.

Dichas clasificaciones, en esencia similares, difieren entre sí debido a que cada una de ellas son emitidas por diferentes dependencias, adecuadas al tipo de trabajos realizados por éstas y a la experiencia obtenida durante la ejecución de las obras realizadas a lo largo de su historia.

Sería conveniente desarrollar un método más objetivo con el fin de uniformizar los criterios actuales de clasificación de materiales.

* Es justificado el empleo del método del prismoide cuando difieren mucho entre sí las áreas de las secciones extremas. Generalmente los valores obtenidos con el método del prismoide son menores que los calculados por el método del promedio de áreas extremas. Al contratar una excavación debe especificarse claramente el sistema de cálculo que se ha de seguir, de otra forma el contratista puede reclamar (y obtener), el beneficio que representa el utilizar el método del promedio de áreas extremas.

BIBLIOGRAFIA

* MAQUINARIA PARA CONSTRUCCION

David A. Day

Ed. Limusa

México, 1978

* METODOS DE PLANEAMIENTO Y EQUIPOS DE CONSTRUCCION

R. L. PEURIFOY

Ed. Diana

México, 1973

* APUNTES DE MOVIMIENTO DE TIERRAS

Departamento de Construcción FI UNAM

México, 1985

* TRATADO DE GEOFISICA APLICADA

José Cantos Figuerola

Madrid, 1974

* TOPOGRAFIA

Montes de Oca

Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A.

México, 1979

* VIAS DE COMUNICACION

Carlos Crespo Villalaz

Ed. Limusa

México, 1980

* MANUAL DE CAMINOS VECINALES

René Etcharren Gutiérrez

México, 1972

* MOVIMIENTO DE TIERRAS

Herbert L. Nichols

Compañía Editorial Continental, S.A.

México, 1981

* MANUAL DE PROYECTO GEOMETRICO DE CARRETERAS

Secretaría de Obras Públicas

México, 1971

* ESPECIFICACIONES GENERALES PARA PROYECTO DE OBRAS

PEMEX

México, 1976

* MECANICA DE SUELOS

Eulalio Juárez Badillo
Alfonso Rico Rodríguez

Ed. Limusa

México, 1982

* LA INGENIERIA DE SUELOS EN LAS VIAS TERRESTRES

Alfonso Rico
Hermilo del Castillo

Ed. Limusa

México, 1982

* TRATADO DE PROCEDIMIENTOS GENERALES DE
CONSTRUCCION

Paul Galabru

Ed. Reverté

Barcelona, 1976

* CATERPILLAR PERFORMANCE HANDBOOK Ed. 15

Caterpillar, Tractor Co.

Peoria, Illinois, 1984