

24: 154



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

JUSTIFICACION ECONOMICA DE LA CONS- TRUCCION DE TUNELES FALSOS EN LA VIA FERREA MEXICO - QUERETARO

T E S I S
Que para obtener el título de
INGENIERO CIVIL
p r e s e n t a

José Alfredo Pérez Hernández



México, D. F.

1986



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.

I N D I C E

INTRODUCCION	1
I. ESTUDIO GEOTECNICO DE CORTES	2
I.1 Generalidades	2
I.2 Geología general	2
I.3 Situación general de estabilidad de los cortes	4
II. ALTERNATIVAS DE ESTABILIZACION DE TALUDES	15
II.1 Antecedentes	15
II.2 Alternativas	17
II.2.1 Cortar y recompactar la capa superficial de los taludes	17
II.2.2 Tender los taludes	17
II.2.3 Construcción de banquetas al pie del talud	18
II.2.4 Construcción de bermas	19
II.2.5 Recubrimiento total del talud	19
II.2.6 Mallas ancladas	20
II.2.7 Túnel falso	21
III. DESCRIPCION DEL PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION DE TUNELES FALSOS.	22
III.1 Excavación del terreno	22
III.2 Construcción del túnel	23
III.3 Arrope del túnel	25

IV.	DESCRIPCION DE OTRAS ALTERNATIVAS AL TUNEL FALSO	27
	IV.1 Túnel tradicional	27
	IV.1.1 Introducción	27
	IV.1.2 Métodos de perforación de túneles en roca	28
	IV.1.3 Métodos de perforación de túneles en terreno excavable sin explosivos	32
	IV.2 Abatimiento de taludes con construcción de bermas	44
	IV.2.1 Introducción	44
	IV.2.2 Operación básica de movimiento de tierras	44
	IV.2.3 Ciclo de trabajo para una operación de movimiento de tierra	47
	IV.2.4 Tipos de equipo para movimiento de tierras	50
V.	OBTENCION DEL COSTO DEL TUNEL FALSO Y DE SUS ALTERNATIVAS. COMPARACION Y DETERMINACION EN UN PROTOTIPO DE LOS PUNTOS DE EQUILIBRIO DEL COSTO.	74
	V.1 Introducción	74
	V.2 Obtención del costo del túnel falso	76
	V.3 Obtención del costo del abatimiento de taludes con construcciones de bermas	86
	V.4 Obtención del costo del túnel tradicional	90
	V.5 Comparación y determinación de los puntos de equilibrio del costo	100
	CONCLUSIONES	103
	BIBLIOGRAFIA	104

I N T R O D U C C I O N

El trazo de la nueva vía férrea México - Querétaro determinó el que se tuviera que atravesar una zona de lomerío en donde fué necesario efectuar cortes en ciertos tramos. Debido al tipo de material de la zona, la superficie de estos cortes se intertemperiza y erosiona muy fácilmente lo cual origina que se presenten derrumbes. El proyecto de esta obra contempla la operación de una vía rápida electrificada por lo que se requiere obtener un comportamiento adecuado de dichos cortes, a fin de permitir poco mantenimiento. Con este fin se propusieron diversas alternativas las cuales se implementaban dependiendo de las características de cada corte y en función de su altura, dándose el caso de que para alturas grandes se optaba por construir un túnel falso como única solución.

En este trabajo se analizan otras alternativas entre las que destaca la alternativa del túnel tradicional, y se determina la altura hasta la cual es conveniente efectuar un corte para construir un túnel falso, y conocer si se justifica ó no el que se hayan construído este tipo de túnel.

CAPITULO I

ESTUDIO GEOTECNICO DE CORTES, VIA FERREA MEXICO-QUERETARO, TRAMO:
HUEHUETOCA-TULA.

I.1 GENERALIDADES.

Con el fin de prever posibles problemas de inestabilidad de taludes, se realizó un reconocimiento geotécnico de los cortes entre el Km. 50 + 000 y el Km. 70 + 680, de la nueva vía férrea en construcción, México, Querétaro, tramo Huehuetoca-Tula.

Los cortes, a excepción de uno solo, son del tipo cajón: tienen alturas que varían de 6 hasta 40 metros, y según los datos obtenidos en la Residencia de Construcción de la Dirección General de Construcción de Vías Férreas en Tula, Hidalgo, sus taludes tienen inclinaciones que van desde $\frac{1}{4} : 1$ hasta $\frac{3}{4} : 1$.

I.2 GEOLOGIA GENERAL.

El tramo que comprende los cortes estudiados se desarrolla sobre una zona de lomerío suave, en la cual pueden diferenciarse dos unidades litológicas.

- a) La primera y la más infrayacente, consiste en una secuencia de arcillas y tobas bentoníticas de color verde amarillento. La secuencia se encuentra estratificada casi horizontalmente, ha sido depositada en un ambiente lacustre - y su cima está señalada por una capa caliza crema, más ó menos gruesa, cuya distribución lateral es poco uniforme.

En algunos casos la unidad descrita ha sido afectada parcialmente por los cortes, apareciendo por lo regular en la base de ellos.

- b) La segunda unidad, la más superior, consta esencialmente de un conjunto de tobas limosas o limo-arenosas suaves, que se distinguen por sus colores claros (café claro, gris amarillento, etc.); las tobas están dispuestas en capas horizontales o con inclinación de unos cuantos grados y tienen 2 m de espesor como promedio.

Dentro del conjunto de tobas destaca la presencia de intercalaciones de tobas alteradas de color café oscuro, que muestran un grado importante de transformación a arcilla; - las intercalaciones tienen espesores que van de 0.20 hasta 0.80 m y constituyen un rasgo persistente en todos los cortes estudiados.

Otra característica que debe mencionarse es la existencia local tanto de horizontes de cenizas y arenas volcánicas - sueltas como de lentes irregulares formadas por boleos y - gravas volcánicas empacadas en arena casi suelta; en muchos casos estas lentes están más bien formadas por boleos y cantos rodados, lo que revela eventualmente un transporte fluvial de los materiales. Es tan manifiesta a veces esta influencia que en algunos cortes se reconocen cauces fluviales antiguos, rellenos por materiales de acarreo o por un nuevo depósito de tobas.

I.3 SITUACION GENERAL DE ESTABILIDAD DE LOS CORTES

En principio, la presencia de materiales dispuestos en capas casi horizontales, la topografía suave y el clima árido en la zona, no favorecen en los cortes la inestabilidad propiamente dicha de masas considerables de material.

El principal problema de estabilidad de los cortes se refiere a la débil resistencia ante fenómenos de erosión o de intemperismo, de los materiales que aparecen en ellos.

El primer problema se refiere a la presencia de intercalaciones de tipo arcilloso (tobas alteradas) dentro del conjunto de -

tobas limosas en el cual se han abierto prácticamente todos los cortes. En particular las intercalaciones de tobas alteradas , cuando son expuestas a la intemperie con taludes fuertes, se agrietan al perder humedad; el agrietamiento que sufren se traduce en una débil resistencia a la acción erosiva natural por lo que dichas intercalaciones se "socavan", creando al mismo tiempo una falta de apoyo en las capas firmes o resistentes sobreyacentes derrumbándose en pequeños bloques o cuñas.

Como segundo problema, se tiene la existencia tanto de lentes de arena y cenizas volcánicas como de lentes formados por gravas y fragmentos de roca empacados en arena casi suelta.

En general, estos materiales tienen un bajo grado de compacidad y llegan a presentar localmente problemas de erosionabilidad; esta situación es más acentuada en las lentes que contienen fragmentos de roca de diversos tamaños, pues al erosionarse la fracción granular fina que los aglutina, los fragmentos caen.

Es necesario hacer notar que durante el reconocimiento efectuado se comprobó la existencia de algunas fallas geológicas afectando a los materiales que aparecen en algunos cortes.

Las fallas presentan planos casi verticales con desplazamientos del orden 2 m., generalmente su posición es esviada - en relación al eje de la línea férrea y no representa riesgo alguno para la estabilidad de los cortes involucrados.

A continuación se describen las características particulares de los cortes en los cuales se encuentran localizados los túneles falsos 1 y 2. Con objeto de ilustrar en forma aproximada la distribución de los materiales existentes, se anexan varias figuras, así como algunas fotografías. Para simplificar la descripción, en el texto se destacan las características más sobresalientes, mientras que en las figuras se indica con mayor detalle dicha descripción. Las figuras ilustran en todos los casos la vista derecha de los cortes en el sentido del cadenamiento.

CORTE DEL KM 63+ 940 AL KM 64 + 100

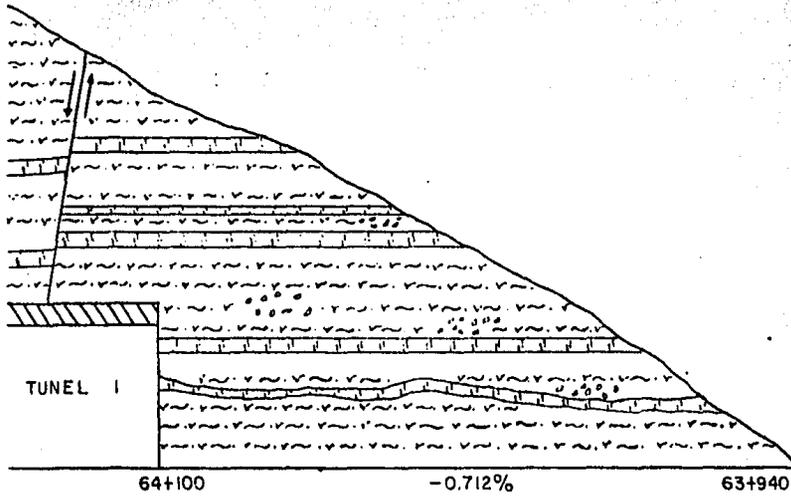
(Portal de entrada del túnel 1)

Altura máxima : 20 a 25 m

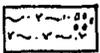
Talud : 3/4 : 1

Descripción litológica.

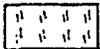
Secuencia de tobas limosas o limo-arenosas medianamente firmes, dispuestas en capas horizontales de 2 a 2.5 m de espesor.



S I M B O L O G I A

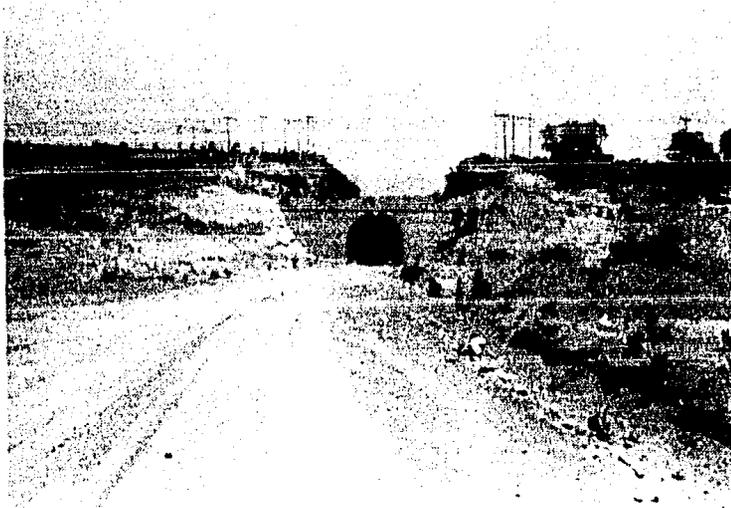


Toba limo-arenosa café pardo, poco a medianamente compacta. Localmente mezclada con algunas gravas y bofeos. Contiene vetillas de caliche. En la base del corte aparece ligeramente húmeda.



Arcilla (Toba alterada) café con tonalidades rosáceas; agrietada y con espesor de 0.40 a 0.80 m. En algunos lugares sin continuidad horizontal.

Dentro de la secuencia se observan intercalaciones arcillosas cuyo espesor varia de 0.40 a 0.80 m; las intercalaciones aparecen separadas entre sí de 2 a 4 m.

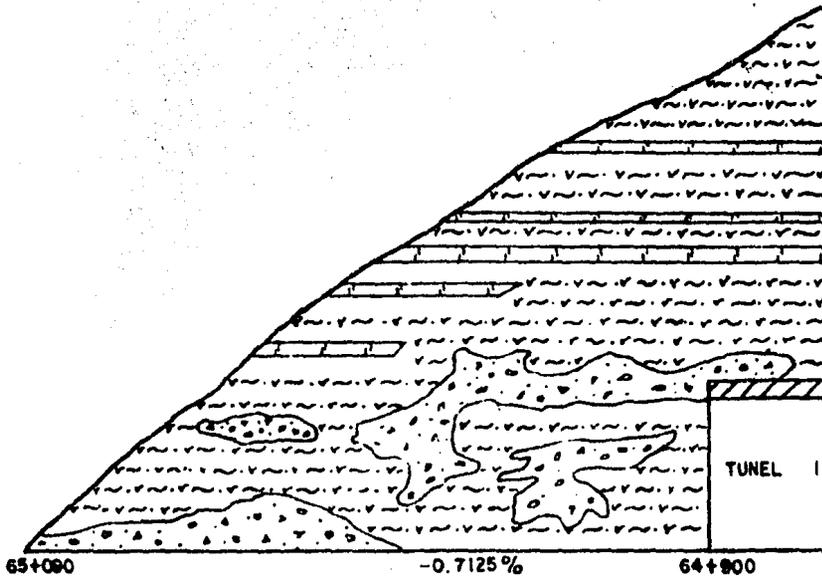


CORTE DE KM 64 + 900 AL KM 65 + 090

(Portal de salida del túnel 1)

Altura máxima : 25 m

Talud: 3/4 :: 1



SIMBOLOGIA



Toba limo-arenosa café claro a beige, poco a medianamente compacta.



Arcilla (toba alterada) café rosada, espesor promedio de 0.50 m; muestra moderada socavación.



Lentes de conchas y gravas empacados en arena limosa o en limo arenoso. Se hallan poco compactas por lo que al erosionarse originan algunos caídos. El tamaño de los fragmentos va de 0.10 a 0.20 m.

Descripción litológica.

En general, materiales tobáceos limo-arenosos de poco a media namente compactos y resistentes a la erosión, dispuestos en horizontes gruesos.

La horizontalidad de los materiales tobáceos casi no se percibe en la mitad inferior del corte, debido a la presencia frecuente de lentes de boleos y gravas empacadas en una arena limosa o en un limo arenoso compacto.

Se observan intercalaciones arcillosas en la mitad superior del corte, separadas verticalmente de 1 a 3 m; el espesor individual de las intercalaciones es de aproximadamente 0.50m.



CORTE DEL KM. 66 + 000 AL KM 66 + 160

(Portal de Entrada del túnel 2)

Altura máxima : 25 m

Talud: 3/4 : 1

Descripción litológica.

Tobas limosas a limo -arenosas, compactas con intercalaciones de arcillas (tobas alteradas) y algunas lentes de grava.

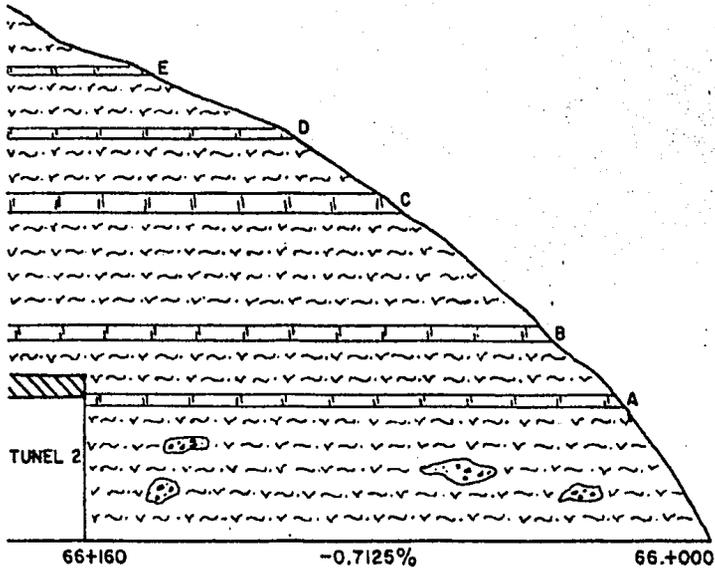
Las tóbas limosas muestran capas horizontales potentes, mientras que las intercalaciones arcillosas son por lo general de 0.30 m de espesor (horizontes A,B, D, E) y solo una de ellas tiene 0.80m (horizonte C).

CORTE DEL KM 66 + 600 AL KM 66 + 710

(Portal de salida del túnel 2)

Altura máxima : 25 m

Talúd: 1/ 2 : 1



S I M B O L O G I A .



Toba limosa e limo-arenosa color café claro a beige, compacta.



Arcilla café rojiza, delgada de 0.30m. de espesor. Solo el horizonte C tiene 0.80m.



Lentes poco compactas de grava empacada en un limo arenoso.

Descripción litológica.

Tobas limosas a limo-arenosas poco a medianamente compactas con intercalaciones de arcilla y lentes de gravas y boleos.

Los materiales están dispuestos en capas horizontales; las tobas muestran espesores de más de 2 m, mientras que las arcillas tienen espesores de 0.20 a 0.40 m.

Las intercalaciones arcillosas particularmente se presentan en la parte media superior del corte a intervalos irregulares de 1 a 2 m.

CAPITULO II

ALTERNATIVAS DE ESTABILIZACION DE TALUDES.

II.1 ANTECEDENTES.

Aunque en términos generales no existe inestabilidad en los taludes de los cortes, la mayor parte excavados en una secuencia de tobas, algunos estratos se intemperizan rápidamente y se erosionan, dejando sin apoyo a los estratos más resistentes que los sobreyacen. Para evitar los caídos que pudieran producirse, se propuso la protección de los estratos más débiles con algún tipo de mampostería; en algunos casos se propuso, cuando los estratos débiles eran de mayor espesor, la construcción de muros al pie del talud, para recibir los pequeños caídos que ocurrieran.

Se estimó que las obras recomendadas evitarían la ocurrencia de derrumbes que pudieran interrumpir la operación de una vía tradicional. Sin embargo, se desea evitar no solo la ocurrencia de pequeños caídos, sino aún la necesidad de una conservación intensa, esperándose que las terracerías se comportaran de una manera tal, que solo se requiera

la limpieza eventual de las cunetas, pues aún lo anterior implicaría ciertas inconveniencias a la operación de una vía rápida - electrificada y que soportará un gran número de trenes diariamente, ya que la presencia de trabajadores y equipos de limpieza en las proximidades pudiera obligar a una modificación en las condiciones de operación de los trenes.

Para lograr que las terracerías mostraran el comportamiento requerido, en el campo se propusieron y analizaron varias alternativas, las cuales se describen en detalle más adelante.

Durante la visita a las obras resultó evidente que los taludes en tobas, aunque se muestran estables, al secarse superficialmente el material la acción del viento desprende partículas del tamaño de las arenas finas y los limos. Este se deposita al pie obstruyendo la cuneta, haciendo necesaria una labor intensa de limpieza. Estos trabajos de limpieza se dificultan enormemente realizarlos a mano, debido a lo estrecho de la zona de trabajo - (muy próximo a la vía) y a la gran longitud de los cortes (hasta 550 a 600 m) lo que obliga al transporte en carretilla de volúmenes globalmente importantes a mucha distancia, para ser depositados fuera de los cortes. Por otra parte, no todos los cortes tienen acceso mediante brechas, lo que obligaría al transporte de personal y herramientas en equipo de vía que implica un serio peligro y una obstrucción al flujo normal de trenes.

II.2 ALTERNATIVAS.

II.2.1 CORTAR Y RECOMPACTAR LA CAPA SUPERFICIAL DE LOS TALUDES.

Se observó que los taludes de los terraplanes no muestran daño alguno y que en su pie no existe material depositado. Lo anterior lleva a la conclusión de que los suelos muy erosionables en su estado natural se vuelven muy estables si se les remoldea y recompacta.

Atendiendo a las observaciones anteriores, se consideró que, en taludes no mayores de 6 ó 8 m, una protección definitiva podría consistir en recortar el material que forma la superficie del talud, en el ancho mínimo que permita el equipo de construcción (3m aproximadamente) y recompactar este material dándole un nuevo talud exterior de 1.5: 1. Con lo anterior se estima que se evitará la erosión superficial y se propiciará en forma natural la forestación.

II.2.2 TENDER LOS TALUDES.

Obviamente una alternativa a la solución anterior sería el tendido de los taludes, haciendo descender su pendiente a inclinaciones entre 1:1 y 1.5 : 1.

En un caso específico, se observó que el comportamiento de un talud que había sido construido con una inclinación de 1:1 mostraba un comportamiento francamente más satisfactorio que los taludes con mayor inclinación. Se considera conveniente implementar esa solución, con taludes 1 : 1, en algún corte cuya altura no sobrepase los 10m.

II.2.3 CONSTRUCCION DE BANQUETAS AL PIE DEL TALUD.

Una solución conceptualmente diferente y aplicable a los taludes que cuenten con accesos para vehículos fuera de vía, es la construcción de una banqueta al pie del talud, el cual podría conservar su inclinación del orden de $\frac{1}{2} : 1$.

La banqueta propuesta habría de tener un ancho, entre cuneta y pie de talud, suficiente para operar un pequeño camión habilitado exprofeso, cuya capacidad fuera del orden de los 2 m³. A este camión podría dotársele de un cucharón cargador, montado en el propio camión. De esta manera podría lograrse operar este equipo en banquetas del orden de los 3 m.

Esta solución se considera conveniente para cortes mayores de los 10 m., ya sea que estos hayan sido excavados en tobas o en basaltos muy fracturados.

En aquellos casos en que el volumen del material que granea del talud sea tan grande que no pueda ser contenido por la propia banqueta e invada la cuneta, podrá complementarse esta solución con la colocación de un muro junto a la cuneta. La altura de dicho muro sería variable en función del volumen de material a retener pero se estima que en ningún caso deberá exceder los 2 m.

II.2.4 CONSTRUCCION DE BERMAS.

En aquellos casos en que el material francamente erosionable se aloja en la parte superior del talud, parece recomendable construir una berma hasta el nivel en que aparece dicho material erosionable. Estas bermas también habrán de poder ser limpiadas, por lo que para la aplicación de ésta solución será condición necesaria la existencia de acceso terrestre al corte. Por otra parte esta solución parece apropiada para cortes mayores de 10 ó 12 m y en los que el contacto entre el material muy erosionable y el material más sano se encuentre a una altura igual o mayor que la mitad del corte; de otra manera parece preferible construir una banqueta al pie del talud, pues debe recordarse que en el caso de las bermas, también deberá protegerse el talud bajo ellas.

II.2.5 RECUBRIMIENTO TOTAL DEL TALUD.

En aquellos cortes altos, mayores de 10 m, cuyos taludes son muy estables aún con inclinaciones muy fuertes, del orden de $\frac{1}{4} : 1$, o bien -

en aquellos cortes en los que en el talud aparecen tobas cubiertas por coladas de basalto en la parte alta, para evitar la excavación de grandes volúmenes de suelo y roca, parece conveniente el recubrimiento total del talud, mediante un enchapado a base de mampostería, tabique o piedra, que proteja definitivamente toda el área de tobas expuesta y evite el granzo.

Cualquiera que sea el tipo de recubrimiento, deberá preverse un sistema de drenaje, que permite la salida del agua, que de otra manera se acumularía tras el recubrimiento. En el caso del tabique o la mampostería, simples ventanas pequeñas, del orden de los 7 x 7 cm, parecerían suficientes si se colocan a no más de un metro una de otra.

II.2.6 MALLAS ANCLADAS.

En los cortes de gran altura, mayores de los 10 ó 12m, excavados en roca medianamente fracturada (espaciamiento de fracturas entre 0.3 y 0.5 m) parece tener posibilidades de éxito la colocación de una malla que mantenga los fragmentos en su lugar.

Esta malla podrá ser del tipo geotextil, con aberturas del orden de los 5 cm y fijada mediante anclas de varillas de 3/8" ó 1/2", espaciadas entre 1.5 y 3 m según el fracturamiento.

Otra opción es el colocar una malla metálica galvanizada tipo ciclón, formada por alambre calibre N° 10 con aberturas de 5 cm, y fijada mediante anclas de varillas de 1" de diámetro por 60 cm. de longitud.

Esta solución evitaría la presencia de fragmentos de roca en las cunetas sin la necesidad de cortar grandes volúmenes de roca para tender taludes o construir banquetas y muros.

II.2.7 TUNEL FALSO.

En aquellos casos en los que se encuentre asociada la inestabilidad de los taludes con una gran altura del corte, probablemente la solución más segura y económica será la construcción de un tunel falso; ésta solución deberá verse como una solución extrema, ya que en sí misma implica un gran costo.

Todas las soluciones anteriores podrán ser combinadas entre sí en un mismo corte, pues a medida que la altura y características de sus taludes varíe de un sitio a otro, seguramente, harán más conveniente cierto tipo de solución.

CAPITULO III

DESCRIPCION DEL PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION DE TUNELES FALSOS.

(Vía doble México - Querétaro).

El procedimiento de construcción de túneles falsos se puede dividir en tres etapas:

- A) Excavación del terreno en el cual se va a alojar el túnel falso.
- B) Construcción del túnel.
- C) "Arrope" del túnel.

A) EXCAVACION DEL TERRENO.

Como se sabe la forma de atacar un terreno depende de las propiedades mecánicas de los materiales que lo constituyen.

En nuestro caso particular el terreno en el cual se van a alojar los túneles falsos está formado por una secuencia de tobas, siéndo éstas, rocas -- que se forman a partir de la litificación de partículas piroclásticas finas principalmente.

Generalmente las tobas son rocas débiles y el problema que presentan es la pérdida de cohesión al intemperizarse. Teniendo en cuenta las - - -

características anteriores, se determina que se tiene un material fácilmente atacable por lo que la excavación se lleva a cabo utilizando tractores de orugas para todos los cortes de los túneles falsos excepto en uno en el cual la excavación se hizo a mano.

La pendiente que se le da al talud del corte es de 1/3: 1 y ésta se le va dando con el propio tractor conforme se avanza en la excavación.

Una vez realizado el corte se procede a hacer las excavaciones para las zapatas del túnel. Estas se hacen a mano de las dimensiones justas, para poder efectuar el colado directamente sobre el terreno sin necesidad de cimbrar y procurando no alterar las condiciones del manto de roca o suelo donde se van a apoyar. El desplante de las zapatas queda 1 m. abajo de la elevación de la rasante.

B) CONSTRUCCION DEL TUNEL.

Una vez que se ha efectuado la excavación se procede a la construcción del túnel para lo cual se comienza colocando el armado de las zapatas y de una parte del muro.

Inmediatamente antes del colado de las zapatas se humedecen el fondo y las paredes de la excavación y se les retira el material que tengan suelto. Se cuele la zapata y una parte del muro hasta una altura de 1.20 m. Longitudinalmente se cuelean 10 m. que es la distancia a la cual van ir co-

locadas las juntas de construcción a lo largo del túnel. Con el siguiente colado que se efectúa se completa toda la sección del túnel, o sea que, abarca la parte restante del muro y arco o bóveda. Para llevar a cabo este colado se coloca una cimbra metálica del tipo móvil la cual está construida con miembros de acero, forrados con placas de acero para dar una superficie, que se conforma a la superficie de la porción del túnel en la cual se está utilizando.

Esta cimbra está formada por dos partes; una interna que es la que va a dar forma al interior del túnel y otra externa la cual va a conformar la parte exterior del túnel. La cimbra está montada sobre ruedas que le permiten moverse sobre rieles y está equipada con gatos ajustables que permiten su expansión hasta colocarla en su posición para colar el concreto, aflojándola después para alejarla del concreto, de manera que pueda moverse hasta una nueva posición.

El colado se hace simétrico respecto a la sección transversal del túnel alternando uno y otro lado.

Finalmente se construyen los portales de acceso los cuales tienen como función el confinar el material de arroyo del túnel.

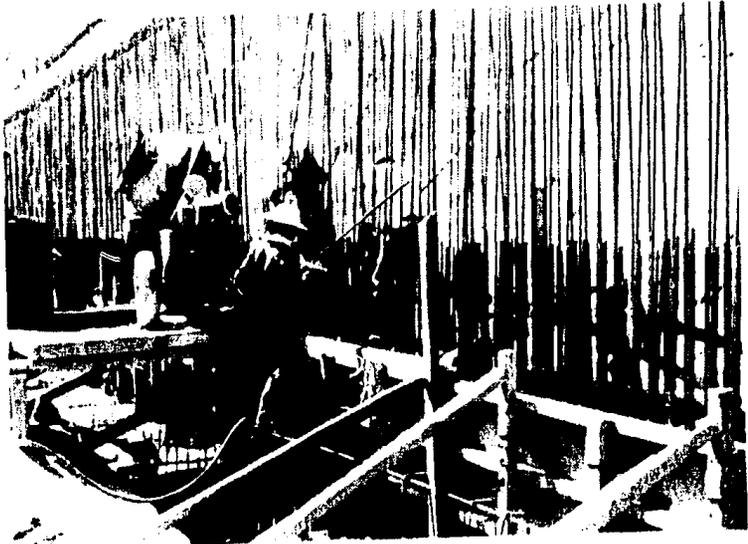
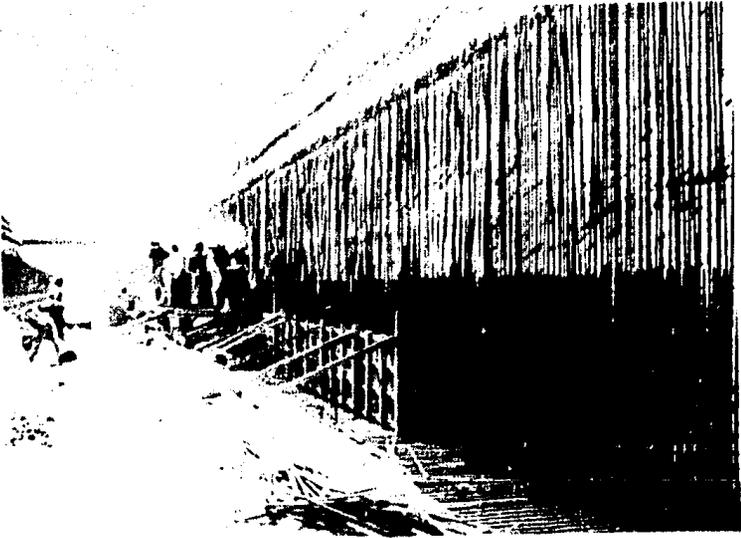
C) ARROPE DEL TUNEL.

El arrope consiste en cubrir el túnel con el producto del material excavado y se efectúa de la siguiente forma:

Para el caso en que el túnel falso va a soportar la carga de vehículos del tipo HS-20, el relleno a los lados del túnel se hace en capas de 30 cm., alternadas en uno y otro lado, compactándolo al 95% de la prueba Proctor Std., hasta el nivel de la clave. A partir de la clave se sigue rellenando y compactando ahora al 90% hasta alcanzar una altura de 3 m.

Al mismo tiempo que se va rellenando a los lados del túnel se va colocando sobre éste un filtro el cual consiste en una capa de 25 cm de espesor formada por fragmentos de roca.

Cuando el túnel no va a soportar ningún tipo de carga el relleno se efectúa a volteo formando capas de 30 cm. en forma simétrica de tal forma que el nivel de relleno a un lado del túnel no sea superior a 1 m. al nivel del relleno en otro lado, y una vez que se alcanza el nivel superior del arco se sigue rellenando ahora en capas de 40 cm., hasta completar el arrope de 1 m. sobre el nivel de éste, el cual se le da únicamente para protección del túnel contra algún caído.



C A P I T U L O I V

DESCRIPCION DE OTRAS ALTERNATIVAS AL TUNEL FALSO.

IV.1 TUNEL TRADICIONAL.

IV.1.1 INTRODUCCION.

Se entiende por construcción de un túnel, el establecimiento de un paso subterráneo accesible desde el exterior por sus dos extremos, cuyo objetivo principal es permitir la circulación. Según esto, se tienen túneles para carreteras, para ferrocarriles, para navegación, para paso de arroyos, ríos y canales. Este trabajo se efectúa avanzando a partir de un número restringido de frentes de ataque y evidentemente la duración de la obra depende del número de frentes de ataque que pueden utilizarse simultáneamente. Es posible crear ataques intermedios descendiendo por pozos hasta la base del túnel, avanzando en galerías a uno y otro lado de estos pozos. Las galerías y los pozos sirven en la construcción de túneles como un medio auxiliar para establecerlos.

En cuanto a la descripción de los métodos de perforación de túneles se harán dos divisiones dependiendo de si el material por atacar requiere el uso de explosivos (roca) o no lo requiere (terreno excavable sin explosivos).

IV.1.2 METODOS DE PERFORACION DE TUNELES EN ROCA,

Históricamente, la selección del método utilizado para perforar un túnel fué impuesta principalmente por el tipo de formación de roca y tamaño de la abertura. Sin embargo, con el desarrollo de equipo moderno, incluyendo perforadora y junbos, hay ahora mucho mayor flexibilidad en el procedimiento que se debe adoptar para cualquier proyecto en particular. Por ejemplo, el método de avance superior y banqueo -- fué casi estándar durante un tiempo en la perforación de túneles grandes en un terreno bueno promedio, en tanto que en la actualidad, el método de frente completa es por mucho el más popular.

El ciclo de excavación,

La secuencia usual de operaciones en el avance de un túnel en roca es la siguiente:

- 1.- Barrenación
- 2.- Carga y Tronado
- 3.- Ventilación
- 4.- Rezaga
- 5.- Ademe

Efecto del período de la acción de puente sobre la secuencia de operaciones.

Si el período de la acción de puente es corto como para permitir el rezagado, es necesario cambiar la secuencia de operaciones y sostener el techo antes de rezagar. Si el período de acción de puente es bastante largo y se excluye el peligro de fallas importantes en la roca durante el período de rezagado, se sigue el ciclo normal y el soporte usualmente se coloca desde el jumbo de perforación. Finalmente si el período de acción de puente es considerablemente largo, el soporte puede ser colocado desde otro jumbo alineado detrás del jumbo de perforación mientras que se sigue barrenando.

Factores que determinan el método de ataque.

La selección del método implica siempre un compromiso entre un intento por facilitar y acelerar la excavación y la necesidad de soportar la roca antes de que esta comience a venirse hacia abajo dentro del túnel. Por lo tanto, el método de ataque depende del comportamiento de la roca y de la dimensión y forma de la sección transversal del túnel.

A continuación se describen cuatro esquemas normalmente utilizados para perforar túneles.

Método de la Frente Completa, Como el nombre lo indica, éste método utiliza una barrenación diseñada para romper la totalidad del área de la sección de la frente en un disparo. Este procedimiento ha sido siempre utilizado para túneles pequeños. Sin embargo, durante años recientes, la introducción de jumbos más grandes y más eficientes, de equipo de rezagado más pesado, han contribuido todos a una aplicación más amplia de la técnica de frente completa. En consecuencia, se emplea ahora para prácticamente todos los túneles sin importar el tamaño, a menos que se encuentren condiciones de terreno extremadamente malas y que ellas necesiten otro método, tales como el de frente superior y banqueo.

Si se encuentran tramos cortos de terreno débil o inestable en un túnel de frente completa, puede ser necesario reducir la profundidad de barrenación para dar no más del avance necesario para acomodar uno o varios marcos de acero o madera.

Método de Frente Superior y Banqueo. Como se mencionó previamente, el método de frente superior y banqueo fué estándar durante muchos años en la mayoría de los túneles y aún se utiliza en terreno débil y en algunos túneles muy grandes.

Consiste en perforar una frente en la parte superior del túnel, la que toma una porción de la altura terminada y la anchura completa. La porción inferior se ataca en uno ó más bancos con barrenos verticales o horizontales.

La frente superior puede perforarse con una barrenación que utiliza cualquiera de las cuñas de tipo estandar. Normalmente, la frente se termina y aún se recubre antes de excavar el fondo.

Método del Túnel Piloto, Este método se ha utilizado en la perforación de muchos túneles grandes. Se perfora un pequeño socavón o túnel piloto por la línea de centros del túnel propuesto, mediante métodos convencionales y, por lo regular, se completa de portal a portal. Los barrenos para el resto del túnel generalmente se perforan en anillos a partir de columnas y barras a medida que se avanza el túnel piloto. Los anillos normalmente están espaciados de 1.20 a 1.5 m y los barrenos se colocan en "abanicos" para que terminen con una separación de 1.0 a 1.20 m entre centros en el perímetro del túnel terminado. Debe proporcionarse una plantilla o algún otro método de control para barrenar con exactitud.

Bajo ciertas condiciones puede ser preferible terminar la excavación de la sección mediante barrenos paralelos a la línea central. Este método presenta ventajas particulares en donde se debe evitar el sobrerompimiento y el sacudimiento de los muros. Con éste método, se cortan estaciones en el lado del túnel piloto hasta el diámetro completo del túnel terminado. Estas estaciones se separan a intervalos predeterminados y se utilizan para perforar los largos barrenos paralelos para la operación de agrandado.

Método del Túnel Pionero. Al perforar túneles largos, es práctica común perforar lumbreras a lo largo de la línea del túnel para abrir frentes adicionales de trabajo y de este modo reducir el tiempo de construcción. Sin embargo, si las profundidades de estas lumbreras fueran excesivas, o si la exploración de la roca por excavar en el túnel principal es deseable, puede utilizarse el método del túnel paralelo a la línea del túnel principal y aproximadamente a 15 o 20 mts a un lado. La frente pionera se avanza considerablemente adelante del túnel principal. Entonces, más o menos a cada 450 mts, se perforan cruceros a la línea de excavación principal con objeto de abrir dos frentes adicionales. Si el túnel pionero encuentra cambios principales en el terreno, da suficiente aviso para que se puedan planear las alteraciones necesarias en el procedimiento de construcción de la frente principal con tiempo necesario para minimizar los retrasos. La roca quebrada de las frentes interiores de la excavación principal se saca a través del túnel pionero, el cual también se utiliza para fines de ventilación y manejo de material de operación.

IV.1.3. METODOS DE PERFORACION DE TUNELES EN TERRENO EXCAVABLE SIN -- EXPLOSIVOS.

A continuación damos el principio de varios métodos aplicables a terrenos de este tipo, entendiéndose que es posible imaginar variantes que se adapten al caso a tratar.

Método de Ataque a Plena Sección o Método Inglés.

Este método consiste en efectuar la excavación por franjas horizontales en toda la anchura del túnel, comenzando por la parte superior. El esquema de la figura 1, indica el proceso de actuación - cuyas diversas etapas se enumeran en una serie única según su orden de ejecución.

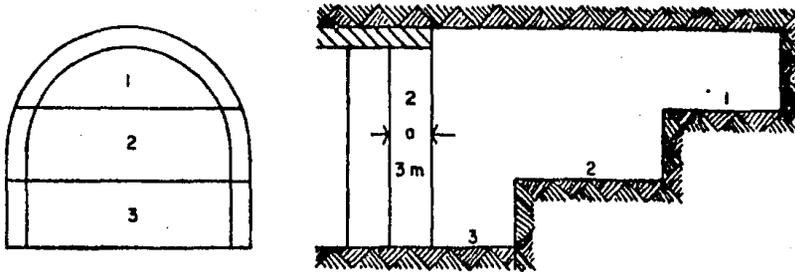


Fig. 1. Ataque a plena sección con varios pisos.

La coronación de la bóveda se reviste sobre puntales radiales - (apuntalamiento en abanico). Estos puntales soportan elementos longitudinales tras los que se hace deslizar las piezas para cimbrar. - - Todos los puntales se apoyan en vigas transversales.

En el escalón inferior se colocan travesaños y se establece apuntalamiento entre estos y los de la etapa de bóveda, continuando así en cada escalón.

El apuntalamiento total de un túnel atacado a plena sección es complicado y exige un gran volumen de madera y trabajos de montaje delicados.

El revestimiento se ejecuta tras la excavación comenzando por los muros y terminando por la bóveda. Esta ejecución lógica del revestimiento es una de las ventajas del método. A veces, puede ejecutarse el revestimiento en su totalidad, muros y bóveda, por anillos de 2 a 3 m. de longitud. Esto no presenta ninguna dificultad en los terrenos resistentes que se mantienen sin revestimiento. En este caso, se realiza a menudo con cimbra metálica rodante con la forma del gálibo interior del revestimiento de concreto y que se desplaza a medida que se realiza el avance.

Método de la Galería de Clave o Método Belga.

Este método ha sido durante mucho tiempo el más normalmente utilizado en Francia. Tiene 2 variantes correspondientes a terreno bueno o malo.

A) Caso de terreno Bueno.

La característica del método es ejecutar rápidamente la bóveda para proteger la obra por encima, terminando después el revestimiento por los muros (fig. 2).

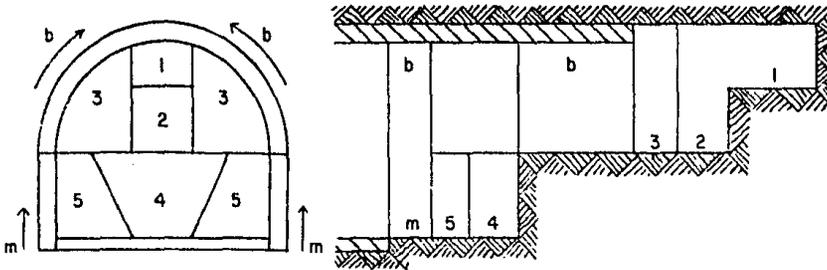


Fig. 2 . Método balgo en buen terreno.

En el centro de la parte superior de la sección transversal se excava una galería de avance (1) de sección pequeña (2.50 a 4 m.) de anchura, y de altura, con 12 m^2 por término medio).

Si es necesario, dicha galería se profundiza hasta el nivel de arranque de la bóveda (en 2). Luego se ensancha a derecha e izquierda (en 3) para despejar el gálibo de la bóveda. Estos ensanches se realizan con un rendimiento de excavación muy superior al de la galería de avance, pues se trabaja por los costados y no de frente.

A medida que se avanza, se apuntala la bóveda mediante puntales radiales que se apoyan sobre la berma, y al final de esta fase la obra tiene la forma de una excavación en semicírculo correspondiente a la parte superior del gálibo del túnel.

Después se cuela la bóveda (b) haciéndola descansar directamente sobre el terreno si es resistente o sobre cimbra longitudinal que reparte las presiones si el terreno es menos bueno. También es posible utilizar apoyos de concreto armado.

Cuando la bóveda ha endurecido, se quita la cimbra y los puntales y ella misma sirve de protección a la obra durante las operaciones siguientes:

Entonces se ataca la excavación de la parte inferior del túnel excavando en la berma una cuneta (4) central y después se realiza la excavación en el emplazamiento de los muros del revestimiento partiendo de la cuneta hacia los costados (en 5) realizando excavaciones de pequeña longitud (4 a 6 m) que se ejecutan alternadamente a derecha e izquierda.

Después se ejecutan los muros (m) bajo la bóveda ya construida. Operando de esta forma con elementos de pequeña longitud no se compromete la seguridad de la bóveda, que descansa siempre sobre la berma - no excavada o sobre los pilares ya construidos.

Este método, adecuado para terrenos resistentes, es seguro con tal que la resistencia del terreno sea suficiente para que la bóveda no sufra asentamientos antes de que se le hayan construido debajo los muros y no exige más que un ademado muy sencillo.

B) Caso de Terreno Malo.

Cuando el terreno es poco resistente hay que modificar el método de excavación de la berma y de construcción de los muros, ya que - si no la bóveda sufriría asentamientos durante la ejecución de la cuneta y de la propia berma.

Antes de quitar las cimbras de la bóveda se pueden construir - los muros del revestimiento, para dar a la bóveda apoyos firmes; para ello se ejecutan por trozos sucesivos, de 2 a 3 m de longitud, las excavaciones laterales (4) necesarias para la construcción de los muros. Luego se pueden quitar las cimbras y excavar la parte central de la berma que les servía de apoyo (5) (fig. 3).

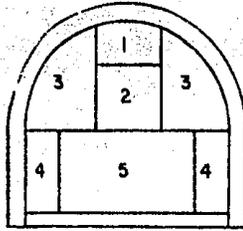


Fig.3 Método belga en mal terreno.

Esta variante aumenta la seguridad, ya que durante la construcción de los muros, no sólo está sostenida la bóveda en el sitio de los arranques, sino que sigue descansando en sus cimbras apoyadas en la berma.

También es posible ejecutar los muros antes que la bóveda para lo cual se excava y apuntala esta construyendo después los muros en zanjadas ademadas. Después se construye la bóveda y se excava la berma en sección completa.

Método de las Dos Galerías ó Método Austriaco.

Este método se caracteriza por el empleo de una galería de avance en el eje y base del túnel. En ella se instala una vía de evacuación que se utiliza durante toda la obra. (fig. 4)

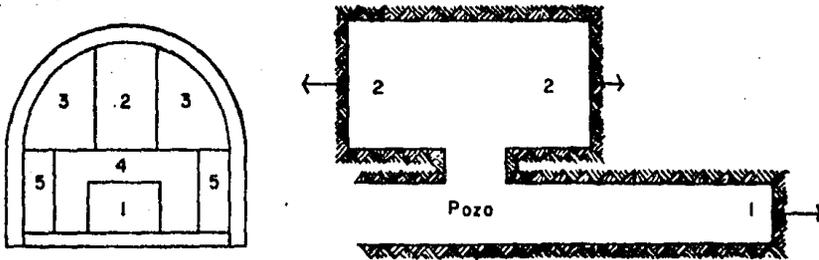


Fig. 4. Método de las dos galerías.

Cuando esta galería ha avanzado cierta longitud, se sube verticalmente con un pozo hacia la clave del túnel atacando después una segunda galería por encima de la primera y trabajando hacia delante y hacia atrás.

Los escombros de la galería superior se envían por el pozo a la galería inferior que sirve para evacuar sin transbordo todos los escombros de los diferentes ataques. Por otro lado, es posible multiplicar los pozos y los ataques en la galería de coronación.

Una vez perforada la galería de clave, se continúa como en el método belga: excavación de la bóveda, el colado de ésta, berma, excavación de los muros y construcción del revestimiento de éstos.

El método de la galería de base se presta a la evacuación de los escombros sin desplazamiento de la vía y facilita la eliminación de las aguas de filtración.

Permite multiplicar los ataques de la galería de clave y de los tajos posteriores lo que se traduce en una aceleración de la ejecución del túnel.

Método de las Tres Galerías o Método Alemán.

Este método se caracteriza por la conservación de la berma (núcleo central) hasta la terminación de los muros y de la bóveda. La berma sirve de apoyo para todos los apuntalamientos y cimbras y evita el empleo de maderos de gran longitud.

Estos muros son apuntalados contra la berma. Más atrás se ataca (en 2) una galería de coronación y se continua como en el método belga (excavación 3 y bóveda b).

Por lo tanto, la bóveda se construye sobre los muros a los que viene a apoyarse definitivamente en su parte superior. Se quitan los puntales que ya no tienen utilidad y luego, antes de la excavación completa de la berma (4). Se construye por franjas de algunos metros de longitud el piso del túnel que cierra completamente el revestimiento en su base.

Durante la construcción del túnel la seguridad contra los empujes laterales del terreno queda asegurada gracias a la berma, pero en cambio el costo del método que exige la perforación de tres galerías de avance es más elevado.

Comparación de los diferentes métodos.

Es raro poder utilizar el método inglés con ataque a plena sección en túneles de grandes dimensiones, pero cuando es posible emplearlo, éste método que no exige el trabajo en galerías de sección reducida, es el más económico y rápido.

El método belga que no exige más que una galería de coronación, y el austriaco que exige además una galería de base cómoda para la - - -

evacuación de los escombros, pueden utilizarse en la mayoría de los terrenos, menos en los muy malos.

El método austriaco es más costoso que el belga, pero es más rápido, pues permite la multiplicación de los tajos de coronación y bóveda.

El método alemán, con sus tres galerías de avance, es aún más costoso, pero es seguro en mal terreno.

Por último, hay que observar que si se encuentran en un túnel tramos malos entre otros mejores, el método austriaco permite pasar fácilmente al método alemán desdoblado la galería de avance al pasar por el terreno malo, prestándose pues a una flexibilidad de ejecución.

IV.2 ABATIMIENTO DE TALUDES CON CONSTRUCCION DE BERMAS.

IV.2.1 INTRODUCCION.

Para llegar a tener un corte con taludes abatidos y bermas construidas a lo largo de éste, se puede comenzar a partir de un corte previamente hecho, con lo cual solo resta el efectuar la construcción de las bermas y el abatimiento en sí de los taludes, o se puede comenzar a partir de la excavación del corte e ir dando, a medida que se avanza en la excavación, la pendiente del talud deseada así como ir construyendo las bermas. Se menciona lo anterior ya que durante la construcción de la nueva vía férrea generalmente se hacían los cortes con talud 1/3:1 y se dejaban sin protección alguna con el fin de estudiar su comportamiento y estabilidad al paso del tiempo, y dependiendo de este comportamiento se determinaba la alternativa que se pensaba era la más adecuada para lograr la estabilidad y el comportamiento deseado.

Cualquiera que sea la forma en que se proceda es necesario -- efectuar un corte lo cual implica el que se realice una operación básica de movimiento de tierras en la cual es factible que intervengan diversos equipos de excavación y acarreo, lo cual veremos a continuación.

IV.2.2 OPERACION BASICA DE MOVIMIENTO DE TIERRAS.

La primera actividad a realizar debe dejar preparado el - - -

material para su movimiento. Esta puede comprender el aflojamiento del material por voladura o por desgarramiento, lo cual depende del tipo de material que se este atacando. Para este fin se acostumbra clasificar el material en tipo A, B y C ó I, II, III, siendo A(1) el que es fácilmente atacable a pico y pala (tierra), mientras que el C (III) requiere para su ataque explosivos (roca fija), considerándose el tipo B (II) como un material intermedio (roca suelta, tepetate, conglomerados, etc) el cual requiere un desgarramiento previo para su ataque. Otra posibilidad dentro de la preparación, puede ser la separación de la capa superior de tierra vegetal o de arbustos, para descubrir la masa de tierra que ha de moverse. Estas operaciones preparatorias, se conocen como despalle y desmonte.

La excavación del material se hace con la operación básica de aflojamiento u otra preparación. En efecto, algunos tipos de equipos de construcción, se combinan para realizar las operaciones de aflojamiento y excavación en un paso integrado. La excavación es el primer paso del movimiento del material desde su lugar de origen, aunque el aflojamiento puede moverlo un poco. El material debe estar en forma manejable, o tener el tamaño adecuado para la parte excavadora del equipo de movimiento de tierra en el caso de la roca volada. Después de la excavación está el movimiento real del material desde su lugar de origen o de formación natural, hasta el lugar en que va - -

a ser depositado. La distancia de que se esté hablando en este movimiento, puede ser sólo de unos cuantos metros o de varios kilómetros.

La siguiente operación básica del movimiento de tierras es la del vaciado del material. El material se vacía en el área seleccionada para su depósito o uso final. Si se trata de un lugar escogido para deshacerse del material como desperdicio o desecho, porque no se necesita, probablemente se vaciará el material al azar, y no se volverá a tocar durante esa construcción.

Para resumir, la operación de movimiento de tierras, tiene ciertos pasos básicos diferenciables, que se han descrito como sigue:

- 1.- Aflojamiento del material para llevarlo a un estado en el que pueda manejarse.
- 2.- Excavación del material para iniciar el movimiento desde su lugar de origen
- 3.- Movimiento del material desde su lugar de origen hasta el lugar de su depósito.
- 4.- Vaciado del material en su lugar de depósito.

IV.2.3 CICLO DE TRABAJO PARA UNA OPERACION DE MOVIMIENTO DE TIERRA

El ciclo de trabajo del equipo que se usa para una operación, se refiere a los pasos repetitivos o componentes de trabajo que el equipo seleccionado hace una y otra vez para ejecutar el trabajo. En nuestro caso, el ciclo primario de trabajo es el de excavación, acarreo, vaciado y regreso. Todo esto puede lograrse usando un tipo de equipo seleccionado, o bien, mediante una selección de dos ó mas tipos trabajando en conjunto. Es posible que se haga cada paso del ciclo utilizando un equipo o juegos de equipos diferentes. Esto sugiere que cada juego de equipos tiene su propio ciclo de trabajo, que es independiente del equipo anterior o del siguiente. Las relaciones entre estos ciclos pueden ilustrarse esquemáticamente. (fig . 1).

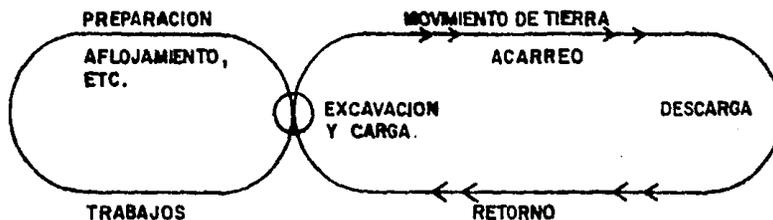


FIG. 1 REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LOS CICLOS DE MOVIMIENTO DE TIERRAS.

A continuación se hará un análisis más detallado del ciclo primario de trabajo del movimiento de tierras.

El denominador común básico más conveniente para analizar un ciclo es el tiempo y lo es para el análisis económico de una operación de movimiento de tierra, porque los elementos de los costos de la mano de obra y el equipo, están relacionados principalmente con el tiempo. Por tanto, el ciclo del movimiento de tierras se estudia tomando el tiempo como base. Este ciclo se reduce a un tiempo de carga, un tiempo de transporte de la carga (acarreo), un tiempo de vaciado, y un tiempo de traslado en vacío (retorno) del equipo de transporte.

El tiempo de carga (TC) es el tiempo total que toma excavar y luego, cargar el equipo movedor de tierra a su plena capacidad. Es el tiempo que se requiere para obtener una hoja de un tractor cargado a su capacidad completa u obtener un cucharón lleno de una motoescrepa; obtener un vagón cargado a su carga completa, etc. Este tiempo depende del estado del material, del tamaño del recipiente de acarreo, del medio que se emplee para cargarlo y de las eficiencias de operación que rijan a todo el equipo. El tiempo de carga es regulable y en general, para que la operación sea económica, debe ser mucho menor que la mitad del tiempo total del ciclo de movimiento de la tierra.

El tiempo de movimiento para acarrear, entre la terminación de la carga y la iniciación del vaciado, depende principalmente de la distancia de movimiento. Varía desde la corta distancia que recorre un tractor acarreando con su hoja o la distancia de giro de una draga de cables, hasta las distancias de varios kilómetros a que acarrea su carga un camión u otro tipo de equipo de acarreo. Para el equipo que es móvil durante su operación, el tiempo para realizar su ciclo (de acarreo), varía con la velocidad que se utilice, la cual depende de las condiciones especiales que rijan en el trabajo y de la condición natural y la topografía de la ruta de acarreo. Por esto, al tiempo de traslado de un equipo de transporte se le llama generalmente tiempo variable. Al tiempo variable de movimiento con carga, lo llamaremos TVC. El tiempo de retorno del equipo vacío es el que toma en recorrer, por lo general, aproximadamente la misma distancia que estando cargado. Sin embargo, la topografía puede cambiar y las velocidades de trabajo en vacío, pueden ser bastante diferentes. Por lo tanto, este tiempo de traslado del equipo vacío es otro tiempo variable, y lo representaremos por TVV.

El tiempo de vaciado (TV) es el cuarto componente del tiempo del ciclo de un equipo para acarreo de tierra. Este tiempo depende de las condiciones del material acarreado, si es fluido o pegajoso, si está en trozos grandes, etc. También influye en él, el método de vaciado ; puede vaciarse todo en un mismo lugar, puede tener que extenderse toscamente, o cuidadosamente. En cualquier caso, el TV representa sólo una pequeña fracción del ciclo total. Debe ser menor que el tiempo de carga en todas las selecciones de equipo para movimiento de tierras.

El tiempo total del ciclo de un equipo para acarreo de tierra (TT) es, básicamente, la suma de los cuatro componentes antes mencionados.

Así, $TT = TC + TVC + TV + TVV$

IV.2.4 TIPO DE EQUIPO PARA MOVIMIENTO DE TIERRAS.

Algunos tipos generales de equipo para efectuar una o más de las operaciones básicas del movimiento de tierras son:

- 1.- Tractores
- 2.- Motoescrepas
- 3.- Cargadores frontales
- 4.- Excavadores de poder del tipo de palas, retroexcavadoras, etc.
- 5.- Equipo de acarreo.

A continuación se estudian las características de los equipos mencionados anteriormente.

1.- TRACTORES:

Son máquinas diseñadas principalmente para empujar o jalar. Se encuentran montados para su desplazamiento sobre orugas o sobre llantas de hule. Ambos son muy utilizados en construcción, sin embargo para excavar, el de carriles es más conveniente en términos generales. Desde luego para seleccionar el tractor que debe usarse es necesario tomar en cuenta el tipo de obra por ejecutar, superficie de rodamiento y pendientes, dureza de los materiales por excavar, distancias de acarreo, dificultades de ataque, cantidades de obra por ejecutar y otra serie de factores.

1.1. Diseño y operaciones del equipo frontal empujador montado en tractor.

El aditamento frontal para empuje que se pone en los tractores, puede ser una hoja recta, una hoja angular o una hoja de forma de letra "U". Hay otras hojas especiales que se emplean al efectuar las operaciones de desmonte. Cada una de ellas tiene su aplicación para ciertas operaciones. Trataremos brevemente las características de diseño de los tipos más comunes.

Una hoja frontal angular para empuje, no tiene curvatura longitudinal, pero puede tenerla a lo ancho. Puede ajustarse en el tractor a un ángulo máximo de alrededor de 25° , medido desde la perpendicular al eje de movimiento del tractor. La hoja puede no tener inclinación alguna, o bien puede ajustarse para excavar a una profundidad de 60 cms. abajo de la base del tractor. Por lo general, la hoja angular, no puede inclinarse desde la vertical, en la forma en que se hace con una hoja recta de empuje.

La hoja frontal recta de empuje es similar a la hoja angular, en cuanto a su forma, pero no está pivoteada en el centro para su rotación angular.

Esto asegura mayor rigidez para la aplicación de una fuerza grande. Puede inclinarse, empero, para excavar un corte en forma de "U" en el terreno, y también puede dársele cierta inclinación, girando sobre un eje horizontal, para darle una acción semejante a la de un cucharón. Como la hoja recta no tiene en sus extremos nada para recoger el material, origina derrame que puede no ser deseable.

La hoja frontal de empuje en forma de "U" se diseña de manera que,

mirándola desde arriba, parece tener la forma de una "U" abierta y - de poca profundidad., como lo sugiere su nombre. Esta hoja está curvada en su longitud, por varios quiebres o cambios angulares en las placas de la hoja. La diferencia con la hoja recta, es que tiene paredes en los extremos para reducir el derrame de la hoja. Su forma está estudiada para lograr mayor capacidad de carga que las otras hojas de empuje. En general, no se tiene provisión alguna para inclinar ni dar ángulo de empuje a la hoja en forma de "U".

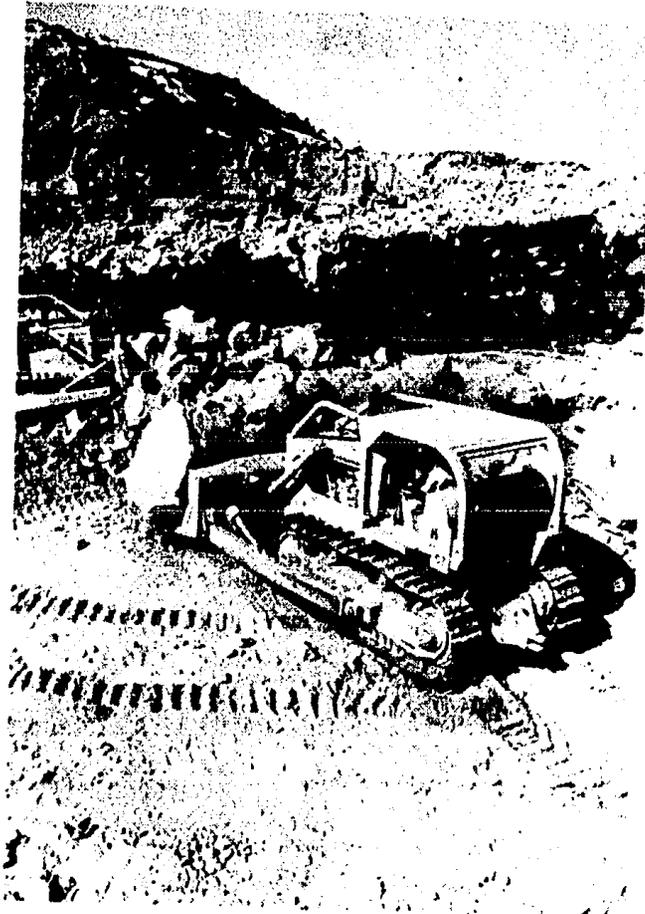
Un bloque empujador es simplemente un tope corto para transmisión de carga, a veces pivotado, que se instala en el frente del tractor. Está a la altura correcta para hacer contacto con la parte posterior - de una motoescrepa para movimiento de tierra. Entonces, el tractor empujador puede ayudar a dar más potencia para la carga de una motoescrepa. Esta operación de empuje puede hacerse con una hoja recta de empuje. Debe hacerse con cuidado, para empujar sobre la parte más firme de la hoja, cerca de su centró. También existe un accesorio de tiro para los tractores, para ayudar a cargar las escrepas. Se trata de un bastidor controlable que se engancha en una posición baja a la elevación de la barra de tracción en la parte trasera del tractor. Tiene un ojo para recibir un gancho situado en la parte inferior del bastidor del radiador, al frente de la escrepa.

El accesorio para desgarrar y escarificar o arar es una pieza que tiene uña (llamada diente) y que se asemeja a un arado, y se instala generalmente en el extremo trasero de un tractor de orugas. Esta diseñada para aflojar el material de la superficie del terreno, encajándose en el y rompiéndolo o desgarrándolo , cuando se tira de dicho accesorio. Este puede ser del tipo de charnela o del tipo de paralelogramo articulado.

El desgarrador (escarificador) del tipo de charnela, pivotea en torno de su viga de soporte, girando hacia arriba a un ángulo hasta de 30°. Esto puede originar problemas para lograr que el cuerpo del desgarrador penetre en algunos materiales tenaces. Su diseño permite que el accesorio de desgarramiento se mueva lateralmente, aunque en magnitudes muy pequeñas, para rodear pequeñas áreas o rocas particularmente duras. El modelo de paralelogramo tiene mejor capacidad de penetración, ya que el cuerpo del desgarrador se mantiene en posición vertical y se le puede aplicar mayor fuerza mediante los dos brazos de soporte. Cualquiera de los dos tipos debe dar una penetración de 0.60 a 1.20 m para rasgar el material de la superficie en forma efectiva.

La efectividad de un accesorio de desgarramiento depende de :

1) La presión de encaje aplicada en la punta, 2) la potencia del tractor para hacer avanzar la punta, cruzando el material a desga-
rrar, y 3) el peso del tractor para desarrollar suficiente trac-
ción, así como de 4) las propiedades del material de la superficie.



2.- MOTOESCREPAS.

Son máquinas diseñadas para desarrollar ciclos de trabajo completo y específico, que comprenden desde la excavación, acarreo y - descarga del material, hasta la extensión y conformación de grandes volúmenes del mismo.

Constan fundamentalmente de las siguientes partes:

Una caja metálica reforzada soportada por un eje con 2 ruedas neumáticas en la parte trasera, una compuerta curva que puede subir o bajar mediante un mecanismo de cables, eléctrico o hidráulico, - una cuchilla de material resistente en la parte inferior de la caja que sirve para cortar el material, una placa metálica móvil en la parte interior, la cual al desplazarse hacia adelante permite desalojar el material contenido en la caja.

Todo este conjunto es jalado mediante un tractor de ruedas neumáticas que puede ser de uno o dos ejes. Los controles de operación se encuentran en dicho tractor.

Una motoescrepa es el equipo ideal para cortar y remover la capa de tierra superficial de un terreno cualquiera. En algunos casos el espesor de esta capa llega a ser hasta de 30 cm. en motoescrepas de 11 a 20 m³ y del orden de 50 cm en las de mayor tamaño.

2.1. Clasificación de los diferentes tipos de motoescrepas.

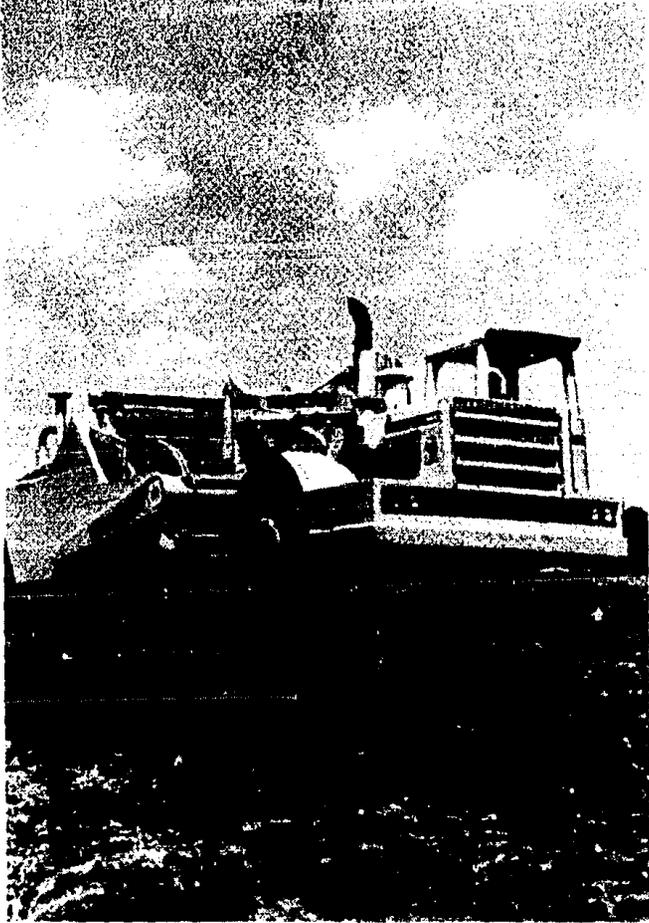
Motoescrepas estándar.- Tienen un solo motor en el tractor que puede ser de uno o dos ejes con ruedas neumáticas; para ser cargadas requieren de la ayuda de un tractor de orugas que se utiliza como empujador.

Estas unidades se utilizan tanto en distancias intermedias o largas con bajas pendientes y caminos de acarreo en buenas condiciones. Trabajan generalmente en grupo de 2,3 ó 4 unidades en combinación con el tractor empujador de acuerdo a las necesidades de la obra.

Motoescrepas de dos motores.- Se utilizan al igual que las motoescrepas estandar en distancias intermedias o largas pero debido a su mayor potencia se adaptan para fuertes pendientes y disminuyen el tiempo de la carga siendo recomendable de todos modos el uso del tractor empujador. Sin embargo, en materiales suaves se pueden cargar solas.

Motoescrepas de tiro y empuje (Push-Pull).- Este nuevo concepto ha agregado versatilidad a las screpas de 2 motores, abarcando la extensión de su aplicación a los demás tipos de motoescrepas. En general estas máquinas tienen las mismas ventajas que las motoescrepas de dos motores, con la diferencia de que van articuladas debidamente entre sí para ayudarse en la carga.

Motoescrepas autocargables. (con mecanismo elevador).- Funcionan mediante un sistema de paletas elevadoras las cuales van cargando el material dentro de la caja. Estos modelos permiten a la escarpa cargar hasta el último residuo de material sin necesidad de utilizar la fuerza de tracción del tractor, gracias al mecanismo elevador que recoge el material cortado por la cuchilla y lo vacía dentro de la caja. Esto representa una gran ventaja porque se logra mantener potencia suficiente para la excavación y acarreo del material, de tal manera que no es tan necesaria la ayuda de un tractor empujador.



3.- CARGADOR FRONTAL

Los cargadores son máquinas exclusivas para la excavación, carga y descarga del material.

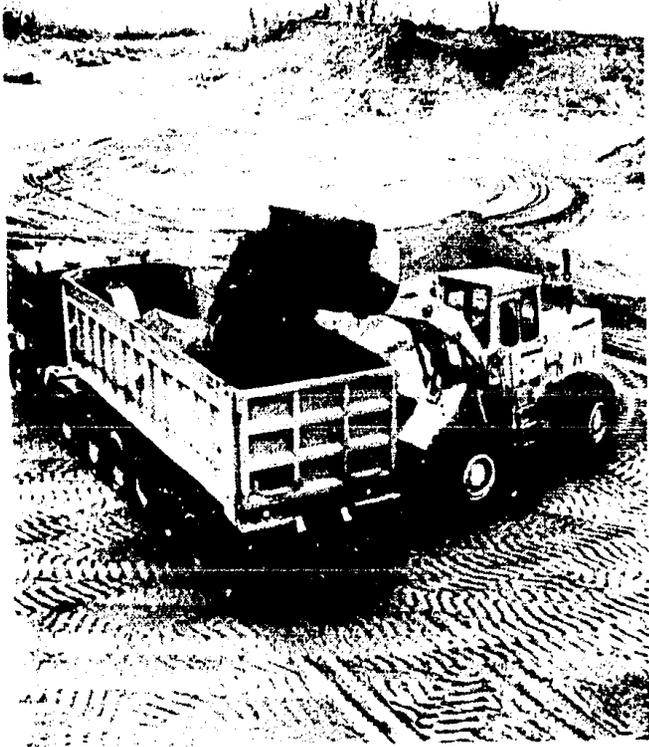
Básicamente consisten de un cucharón adaptado en la parte delantera de cualquier tractor, ya sea de orugas o de llantas.

El cargador frontal es el más usual de todos. Este voltea el cucharón o bote hacia la parte delantera del tractor, accionándolo por medio de gatos hidráulicos.

Una de las aplicaciones más comunes del cargador es la carga de materiales en unidades de acarreo. Si el área que circunda al material por cargar es razonablemente nivelada, la unidad de acarreo puede situarse en una posición cercana conveniente. En tal caso, el cargador puede excavar y hacer el movimiento corto necesario para vaciar su carga al camión. Durante los primeros años del desarrollo del cargador frontal, se uso como sustituto de las pequeñas palas mecánicas para cargar camiones. En la actualidad se fabrican cargadores grandes y de gran capacidad -cucharón hasta de 15yd^3 (11.5m^3) que están remplazando a las palas mecánicas en casi todas sus operaciones tradicionales.

Otro uso importante del cargador frontal es la carga de material de voladuras a unidades de acarreo, en el espacio limitado de una excavación en roca, de un túnel o de una cantera. En tales situaciones, el cargador tiene una ventaja sobre la pala mecánica, por su pluma y demás partes salientes.

También se aplica el cargador frontal para excavar agregados o material de cantera, para cargarlos a la parrilla de la tolva de alimentación de una planta trituradora. En general, se sitúa la tolva en el borde, o apenas dentro del tajo de material. El cargador excava entonces su carga y la acarrea una distancia pequeña hasta la tolva. Si la distancia de acarreo es mayor que la de alcance de una pala desde su posición de excavación, el cargador tiene una ventaja decisiva sobre la pala mecánica para esta operación.



4.- EXCAVADORES.

4.a Pala Mecánica.

Este aditamiento está compuesto esencialmente por una pluma, el cucharón y su brazo; y por los distintos dispositivos de ataque y retroceso de la cuchara.

La pluma o "aguilón" es una viga larga y maciza ligeramente inclinada hacia adelante, contiene en su parte media una vigueta o brazo articulado, que se soporta al cucharón en su extremo inferior. El brazo es de movimiento giratorio y deslizante.

Su forma de ataque es frontal y realiza su descarga por debajo del cucharón mediante una compuerta de fondo.

Las palas mecánicas se utilizan principalmente para excavar material y cargarlo en camiones o en vagones tirados por tractor, o sobre bandas transportadoras. Son capaces de excavar todo tipo de material, excepto roca fija, sin necesidad de aflojarlo primero.

Operación de una pala.- Con una pala en la posición correcta, cercana a la superficie vertical de la tierra que se va a excavar, se baja el cucharón hasta el piso del banco, apuntando los dientes hacia la pared. Se le aplica una fuerza a través de la flecha, y al mismo tiempo una tensión a la línea del malacate para jalar el cucharón. - -

hacia arriba de la pared del banco. Si la profundidad del corte es -
justamente la correcta, considerando el tipo de suelo y tamaño de cu-
charón, éste estará lleno al llegar a la parte superior de la pared -
del banco. Si la profundidad del banco (que también se llama profun-
didad del corte) es demasiado baja, no será posible llenar completa-
mente el cucharón sin un excesivo empuje y una mayor tensión en el ma-
lacate, y posiblemente no se pueda llenar de ninguna manera. Esto su-
jeta al equipo a fatigas excesivas y reduce el rendimiento de la uni-
dad. Si la profundidad del banco es mayor de la que se requiere para
llenar el cucharón al estar operando con empuje y tensión favorables,
será necesario reducir la profundidad de penetración del cucharón so-
bre la pared si va a excavarse todo el frente del corte o comenzar la
excavación arriba del piso del banco. El material que se deje cerca_
del piso del banco será excavado una vez que se haya quitado la por-
ción superior de la pared del corte.

La profundidad óptima del corte, es aquella que produce el ma-
yor rendimiento y a la cual el cucharón puede subir con toda su car-
ga sin demasiado amontonamiento. La profundidad varía con la clase_
de terreno y con el tamaño del cucharón.

4.b. Dragas.

Las dragas se utilizan para excavar tierra y cargafla en unidades de acarreo, o para depositarla en diques, presas y bancos de desperdicio cerca de los cortes de donde se excava. En general, - una pala mecánica con una capacidad hasta de $2\frac{1}{2}$ yd³ puede convertirse en draga reemplazando el aguilón de la pala con la pluma de una grúa y sustituyendo el cucharón de la draga por el cucharón de la pala.

En algunas obras puede utilizarse ya sea una pala mecánica o una draga para excavar los materiales, pero en otras obras la draga tendrá ventajas decisivas sobre la pala. La draga por lo general no tiene que estar dentro del agujero o banco para poder excavar. Puede operar sobre el nivel natural del terreno al estar excavando material en un banco con su cucharón. Esto será muy ventajoso para sacar la tierra de una zanja, canal o de un banco que con tenga agua. Si la tierra se acarrea en camiones, no tienen que entrar al banco y batallar con el lodo. Si la tierra puede depositarse a lo largo de un canal o de una zanja o cerca de un banco, con frecuencia es posible utilizar una draga con una pluma lo suficiente - mente larga para disponer de la tierra en una sola operación, eliminando la necesidad de las unidades de acarreo, lo que reducirá el costo del manejo de la tierra. Las dragas son unidades excelentes - para la excavación en trincheras cuando se permite que los taludes -

tengan sus ángulos de reposo, sin necesidad de ademarlos.

Una desventaja del empleo de la draga, en comparación con la pala mecánica, es la reducida producción de la draga. Una comparación de la producción ideal de los diferentes tamaños de las dragas con la producción de las palas mecánicas, demuestra que la draga excava aproximadamente 75 a 80% de la tierra que puede excavar una pala del mismo tamaño.

La capacidad máxima de levantamiento de una draga está limitada por el peso, y si se rebasa esto hará que se voltee la máquina, es necesario por tanto reducir el tamaño del cucharón cuando se emplea una pluma larga o cuando el material tiene un alto peso volumétrico. En la práctica, el peso combinado del cucharón cargado debe producir una fuerza no mayor del 75% de la fuerza requerida para voltear la máquina. Cuando sea necesario aumentar el alcance del dragado o el radio de descarga, deberá utilizarse una pluma más larga y un cucharón más pequeño.

Operación de una draga.- La excavación se comienza columpiando el cucharón vacío hasta la posición requerida, aflojando al mismo tiempo los cables de arrastre y levante. Hay malacates independientes en la unidad básica para cada uno de estos cables, que

pueden coordinarse en una operación armónica. La excavación se lleva a cabo tirando del cucharón hacia la máquina mientras se regula la -- profundidad de la excavación por medio de la tensión que se mantiene_ en el cable de levante. Cuando el cucharón está lleno, el operador - le aplica una tensión al cable de levante al mismo tiempo que suelta_ el cable de arrastre. El cucharón está construido de tal manera que_ no puede derramar su contenido sino hasta que se desee hacerlo. El - levantamiento, columpiado y descarga del cucharón siguen en ese orden, y después se vuelve a repetir el ciclo. La descarga se lleva a cabo_ soltando el cable de arrastre. Un operador experimentado puede arrojar el material excavado más allá del extremo de la pluma.

4.c Retroexcavadoras.

Estas máquinas constan principalmente de una pluma ó aguilón - de forma recta o de cuello de ganso, y llevan articulado un brazo con un cucharón adaptado en su extremo.

Las retroexcavadoras se utilizan principalmente para excavar - debajo de la superficie natural del terreno sobre el cual descansa la máquina. Están adaptadas para la excavación de trincheras, pozos, só tanos y trabajos generales de excavaciones escalonadas, en donde -- se requiere un control preciso de las profundidades. A causa de_ su rigidez son superiores a las dragas cuando operan en espacios --

pequeños y para cargar camiones. Debido al esfuerzo directo ejercido sobre el cucharón, las retroexcavadoras pueden propiciar mayores presiones con los dientes que las palas.

Zona de trabajo.

Una retroexcavadora tiene un rango de acción bastante amplio en el cual se puede mover económicamente y eficientemente; obtener su carga correctamente, colocar el cucharón para descargar y finalmente, hacer la descarga.

Zona aproximada de trabajo de una retroexcavadora hidráulica.

(capacidad de $1 \text{ a } 3 \text{ y } d^3$).

Alcance 10 a 15 m.

Profundidad 8 a 10 m.

Altura de carga 4 a 7 m.

La zona de trabajo se divide en dos áreas:

1.- Area de excavación.

El área de excavación está bajo el piso en que se apoya la máquina. Está limitada por el alcance de la pluma, brazo de excavación y cucharón. Estas piezas también limitan la máxima profundidad a la cual la máquina puede excavar.

2.- Area de vaciado.

Esta área está sobre el piso y su alcance está definido por la distancia a la que la retroexcavadora puede vaciar su cucharón fuera del área que se está excavando, alrededor de sí misma sin moverse de lugar.

El límite económico de la zona de trabajo se establece mediante la comparación de algunas alternativas, o con algunas otras máquinas que hagan el mismo trabajo.

Las retroexcavadoras de $2\frac{1}{2}$ a 3 yd^3 de capacidad, gracias a su alcance, profundidad y productividad, se han abierto paso a nuevas aplicaciones en excavaciones en general, trabajos de cantera y manejo de materiales y han desplazado, en algunos casos, a los cargadores sobre llantas, palas y dragas, que efectuaban estos trabajos.

5.- EQUIPOS DE ACARREO.

Son vehículos que se desplazan a grandes distancias por medio de llantas, y que se diseñan para transportar a altas velocidades, cargas y volúmenes de gran tamaño.

Generalmente tanto los camiones grandes como los ligeros que se utilizan para circular dentro de las carreteras, así como los que se emplean exclusivamente para trabajos fuera de ellas, emplean llantas dobles de propulsión, y constituyen en sí el equipo representativo de éstas máquinas.

Clasificación .- Los camiones para dentro de las carreteras como los de uso exclusivo para fuera de ellas se dividen en:

- a) Volteos
- b) Volquetes
- c) Vagonetas
- d) Dumpsters.

a) Volteos: Estas máquinas, que son las que con más frecuencia se utilizan en los trabajos de excavación, constan principalmente de una caja metálica o volteo, de una cabina de control, de un chasis, y de varias llantas o neumáticos para desplazarse.

El camión de volteo es el medio de acarreo más eficiente para las obras donde las distancias son grandes y los caminos y calles se conservan en buen estado, aunque en algunas ocasiones se tengan que emplear para fuera de las carreteras y en terrenos poco accesibles.

En las obras de campo son usuales para el transporte de roca en canteras, presas, carreteras, canales, minas y en ocasiones para acarreos de material suelto como son: la arcilla, agregados y material pétreo.

b) Volquetes.- Es el aparato más empleado en las obras de movimiento de tierra por su gran movilidad y rapidez, así como la gran adaptabilidad para trabajos fuera de las carreteras y en suelos vírgenes, aunque a veces llegan a transitar por los caminos y por buenas pistas.

Se clasifican a menudo en la categoría de los camiones, pero en realidad se encuentran entre el grupo del tractor-remolque y del camión, aunque de todas maneras es considerado como equipo de tipo pesado.

c) Vagonetas.- Unidades diseñadas exclusivamente para efectuar grandes movimientos de tierra, soportadas sobre uno o dos ejes de llantas y articuladas a un tractor o camión para su desplazamiento.

Estas máquinas, básicamente constan de una caja montada sobre un bastidor y de un vehículo propulsor que se mueve a base de diesel. La caja que generalmente es de funcionamiento hidráulico, de forma alargada, y de un ancho mayor en la parte superior que en la base, puede ser de descarga por el fondo mediante un sistema de compuertas que se abren longitudinalmente, o bien de descarga lateral con vaciado para uno o ambos lados.

d) Dumptors.- Son volquetes, están compuestos por un motor, una caja y un bastidor, formando una sola unidad para efectuar acarreos cortos. Presentan además un chasis semejante al de los tractores de llantas y tienen la particularidad de ser operados en ambos sentidos mediante 2 tableros de control que se encuentran en el interior de la cabina, accionando uno u otro según sea la dirección en que se camina.

C A P I T U L O V

OBTENCION DEL COSTO DEL TUNEL FALSO Y DE SUS ALTERNATIVAS, COMPARACION Y DETERMINACION EN UN PROTOTIPO - DE LOS PUNTOS DE EQUILIBRIO DEL COSTO.

V.1 INTRODUCCION.

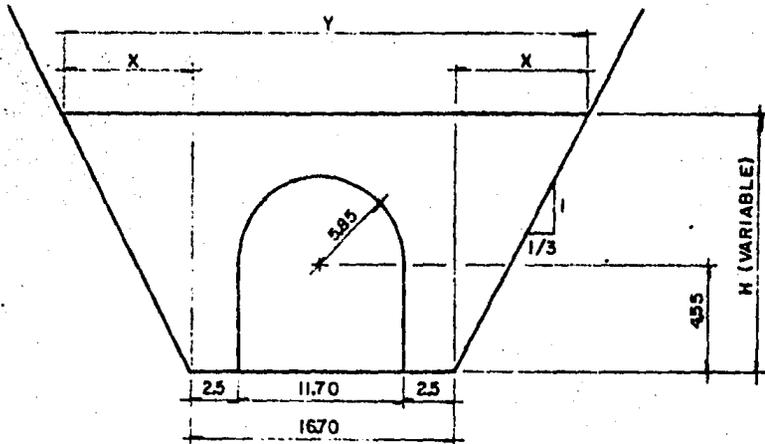
El costo del túnel falso variará dependiendo de la altura del corte que se efectue para su construcción ya que el costo de la estructura en sí permanece constante debido a que el diseño siempre es el mismo excepto cuando un camino cruza sobre algún tramo de túnel. Aquí se analizará el caso general, teniéndose éste cuando ningún camino cruza sobre el túnel.

La alternativa de abatimiento de taludes con construcción de bermas se analizará para el caso en que el talud es 1:1 ya que se ha observado que su comportamiento con esa inclinación es más satisfactorio que el de taludes mayores. Esta alternativa es factible de implementarse, obteniéndose un mayor grado de seguridad, cuando se complementa o combina con soluciones adicionales para dar una mayor estabilidad a los taludes. Entre estas soluciones se encuentran: el recubrimiento total del talud mediante un

enchapado a base de mampostería, la colocación de mallas ancladas, la aplicación de concreto lanzado, etc. En el caso general para alturas de corte grandes la alternativa más factible es la del túnel tradicional por lo que se analizará ésta considerándola como la alternativa más importante al túnel falso.

V.2 OBTENCION DEL COSTO DEL TUNEL FALSO.

VOLUMENES DE EXCAVACION PARA DIFERENTES ALTURAS DE CORTE.



Para $H = 20$ m

$$X = \frac{1}{3} \times 20 = 6.67 \quad ; \quad Y = 16.7 + (2 \times 6.67) = 30.03$$

$$V = \frac{16.7 + 30.03}{2} (20) = 467.33 \text{ m}^3$$

Para $H = 25$ m

$$X = \frac{1}{3} \times 25 = 8.25 \quad ; \quad Y = 16.7 + (2 \times 8.25) = 33.20$$

$$V = \frac{16.7 + 33.20}{2} (25) = 623.75 \text{ m}^3$$

Para H = 30 m

$$X = 1/3 \times 30 = 9.90 \quad ; \quad Y = 16.7 + (2 \times 9.9) = 36.50$$

$$V = \frac{16.7 + 36.50}{2} (30) = 798.00 \text{ m}^3$$

Para H = 35 m

$$X = 1/3 \times 35 = 11.55 \quad ; \quad Y = 16.7 + (2 \times 11.55) = 39.80$$

$$V = \frac{16.7 + 39.80}{2} (35) = 988.75 \text{ m}^3$$

Para H = 40 m

$$X = 1/3 \times 40 = 13.20 \quad ; \quad Y = 16.7 + (2 \times 13.20) = 43.10$$

$$V = \frac{16.7 + 43.10}{2} (40) = 1196.00 \text{ m}^3$$

Para H = 45 m

$$X = 1/3 \times 45 = 14.85 \quad ; \quad Y = 16.7 + (2 \times 14.85) = 46.40$$

$$V = \frac{16.7 + 46.40}{2} (45) = 1419.75 \text{ m}^3$$

Para H = 50 m

$$X = 1/3 \times 50 = 16.50 \quad ; \quad Y = 16.7 + (2 \times 16.50) = 49.70$$

$$V = \frac{16.7 + 49.70}{2} (50) = 1660.00 \text{ m}^3$$

Para H = 55 m

$$X = 1/3 \times 55 = 18.15 \quad ; \quad Y = 16.7 + (2 \times 18.15) = 53.00$$

$$V = \frac{16.7 + 53.00}{2} (55) = 1916.75 \text{ m}^3$$

Para H = 60 m

$$X = 1/3 \times 60 = 19.80 \quad ; \quad Y = 16.7 + (2 \times 19.80) = 56.30$$

$$V = \frac{16.7 + 56.30}{2} (60) = 2190.00 \text{ m}^3$$

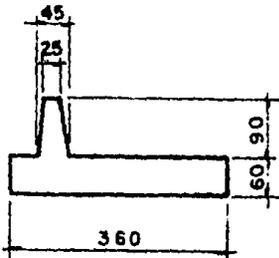
T A B L A I

COSTO DE LA EXCAVACION PARA EL TUNEL FALSO

H (m)	V. exc. (m ³)	PRECIO UNITARIO	COSTO
20	467.33	\$ 434.08 /m ³	\$ 202 858.61
25	623.75	"	270 757.40
30	798.00	"	346 395.84
35	988.75	"	429 118.47
40	1196.00	"	519 159.68
45	1419.75	"	616 285.08
50	1660.00	"	720 572.80
55	1916.75	"	832 022.84
60	2190.00	"	950 635.20

VOLUMEN DE CONCRETO.

ZAPATAS Y GUARNICIONES

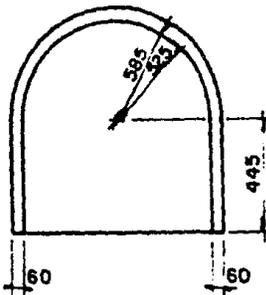


$$\frac{0.45 + 0.25}{2} \times 0.90 \times 1 = 0.315 \text{ m}^3$$

$$3.60 \times 0.6 \times 1 = \frac{2.160 \text{ m}^3}{2.475 \text{ m}^3}$$

$$V = \frac{\times 2}{4.95 \text{ m}^3}$$

MUROS Y ARCO



ARCO

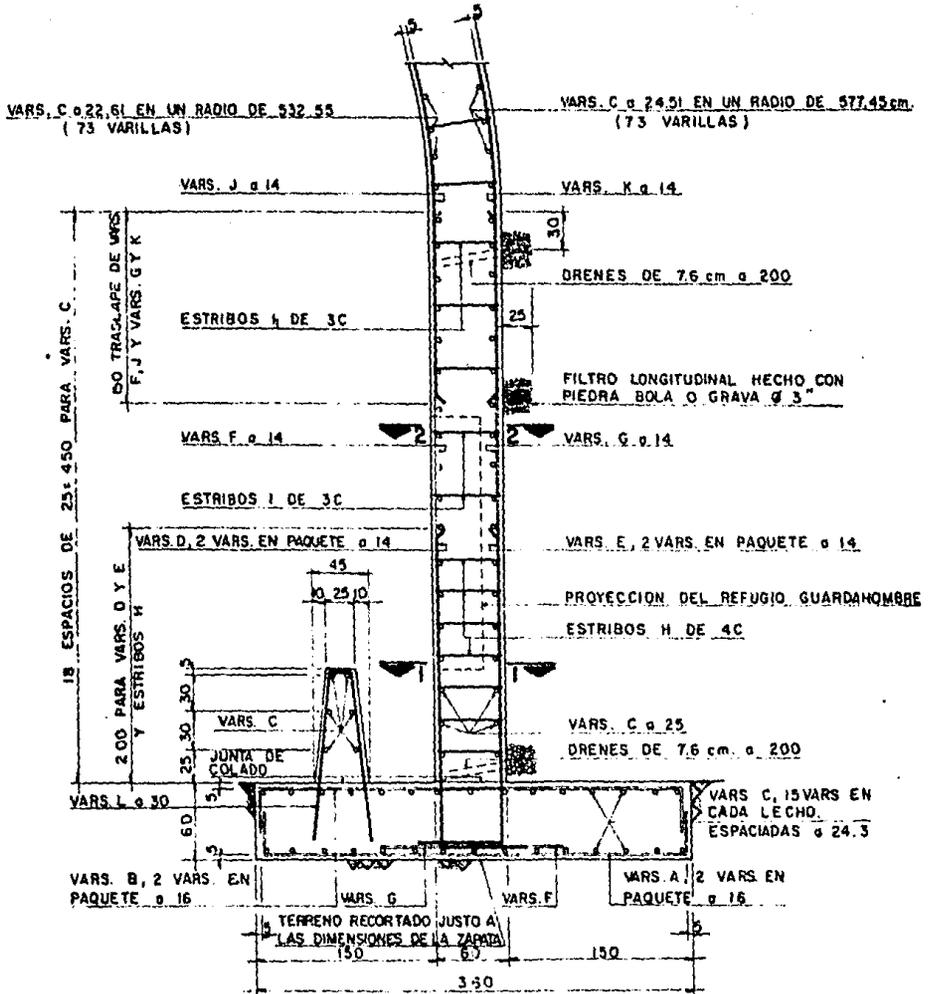
$$V = \frac{\pi (5.85^2 - 5.25^2) (1)}{2}$$

$$V = 10.46 \text{ m}^3$$

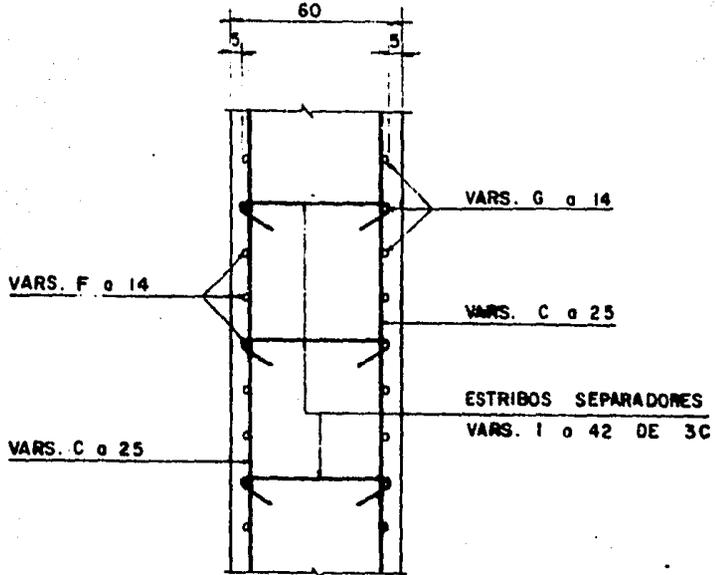
MUROS

$$V = 4.55 \times 0.6 \times 1 \times 2 = 5.46 \text{ m}^3$$

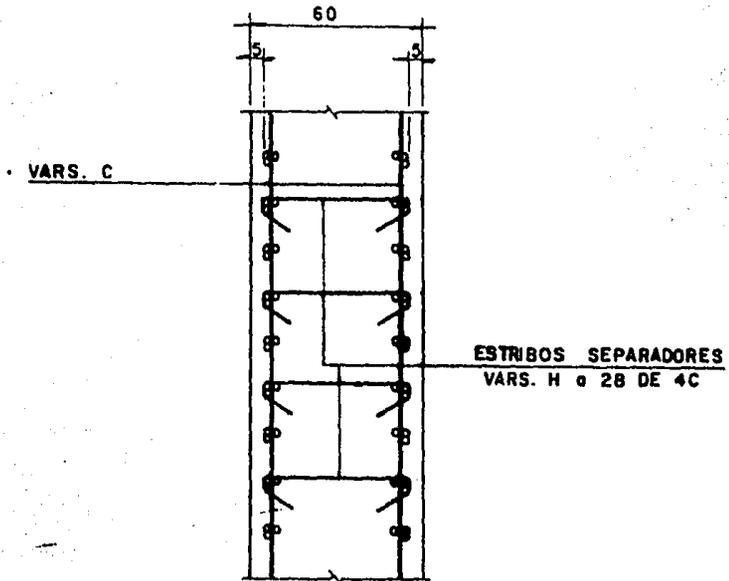
$$V = 10.46 + 5.46 = 15.92 \text{ m}^3$$



DETALLE PARA ARMADO TUNEL
TRAMO TIPO



C O R T E 2-2

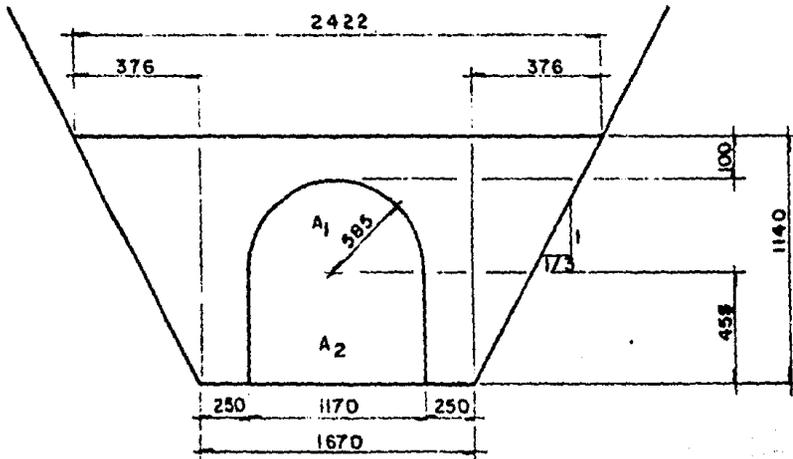


C O R T E 1-1

M A T E R I A L E S								
LISTA DE VARILLAS (POR METRO DE LONG DE TUNEL)								
Loc.	Vars.	Diam.	Num.	Long. total	C r o q u i s	a	b	Peso (kg)
T R A M O T I P O	A	6C	25	423		343	40	238
	B	6C	25	423		343	40	238
	C	4C	294	100		100	-	294
	D	6C	28.6	321		251	70	207
	E	6C	28.6	321		251	70	207
	F	6C	14.3	596		506	90	192
	G	6C	14.3	596	506	90	192	
	H	4C	50	81		51	5	40
	I	3C	9.52	77		51	3	4
	I	3C	102.38	81		51	5	46
	J	6C	7.14	1968.18		531	150	316
	K	6C	7.14	2118.9		579	150	340
	L	4C	667	255		120	15	17

ACERO DE REFUERZO $f_y=4200\text{kg/cm}^2 = 2331 \text{ kg.}$

VOLUMEN DE ARROPE A LOS LADOS Y SOBRE EL TUNEL.



AREA DE LA SECCION DEL TUNEL

$$A_1 = \frac{\pi r^2}{2} = \frac{\pi (5.85)^2}{2} = 53.75 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 11.7 \times 4.55 = 53.23 \text{ m}^2$$
$$A = 106.98 \text{ m}^2$$

AREA DE CORTE

$$A = \frac{16.7 + 24.22}{2} (11.4) = 233.27 \text{ m}^2$$

AREA DE ARROPE

$$A = 233.27 - 106.98 = 126.29 \text{ m}^2 \quad ; \quad V = 126.29 \text{ m}^2$$

T A B L A II

COSTO DE LA CONSTRUCCION DEL TUNEL FALSO

C O N C E P T O	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO
Excavación en corte y/o adicionales abajo de la subr.	m ³		400.50	
Sobrecarreo de materiales producto de las excs.				
a) En distancias hasta cinco hectómetros	m ³ -Hm		25.25	
b) En distancias de más de cinco Hm.	m ³ -Hm		33.56	
Concreto hidráulico de f'c = 200 kg/cm ² en :				
zapatas y guarniciones	m ³	4.95	7000.00	34650.00
muros y arco	m ³	15.92	9000.00	143280.00
Acero de refuerzo				
L. E. = 4 200 kg/cm ²	kg	2331.00	82.00	191142.00
Relleno acomodado de arroyo del tunel falso	m ³	126.29	400.00	50516.00

S U M A = 419 588.00

T A B L A I I I

COSTO TOTAL DEL TUNEL FALSO PARA
DIFERENTES ALTURAS.

H (m)	COSTO TOTAL
20	\$ 622 446.61
25	690 345.40
30	765 983.84
35	848 706.47
40	938 747.68
45	1 035 873.08
50	1 140 160.80
55	1 251 610.84
60	1 370 223.20

NOTA: Sumando el costo obtenido en la tabla II con cada uno --
de los costos de excavación (Tabla I) se obtiene el --
costo total del túnel para diferentes alturas de corte.

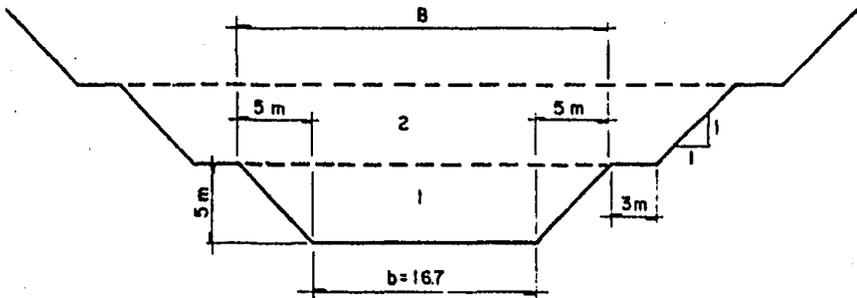
V.3 OBTENCION DEL COSTO DEL ABATIMIENTO DE TALUDES CON
CONSTRUCCION DE BERMAS.

VOLUMENES DE EXCAVACION POR FRANJAS.

TALUD 1:1

ANCHO DE LA BERMA: 3 M.

BERMAS A CADA 5 M.



FRANJA 1

$$b = 16.7 ; B = 26.7$$

$$V = \frac{16.7 + 26.7}{2} (5) = 108.50 \text{ m}^3$$

FRANJA 2

$$b = 26.7 + 6 = 32.7 ; B = 42.7$$

$$V = \frac{32.7 + 42.7}{2} (5) = 188.50 \text{ m}^3$$

FRANJA 3

$$b = 42.7 + 6 = 48.7 ; B = 58.7$$

$$V = \frac{48.7 + 58.7}{2} (5) = 268.50 \text{ m}^3$$

Franja 4

$$b = 58.7 + 6 = 64.7 ; B = 74.7$$

$$V = \frac{64.7 + 74.7}{2} (5) = 348.50 \text{ m}^3$$

Franja 5

$$b = 74.7 + 6 = 80.7 ; B = 90.7$$

$$V = \frac{80.7 + 90.7}{2} (5) = 428.50 \text{ m}^3$$

Franja 6

$$b = 90.7 + 6 = 96.7 ; B = 106.7$$

$$V = \frac{96.7 + 106.7}{2} (5) = 508.50 \text{ m}^3$$

Franja 7

$$b = 106.7 + 6 = 112.7 ; B = 122.7$$

$$V = \frac{112.7 + 122.7}{2} (5) = 588.50 \text{ m}^3$$

Franja 8

$$b = 122.7 + 6 = 128.7 ; B = 138.7$$

$$V = \frac{128.7 + 138.7}{2} (5) = 668.50 \text{ m}^3$$

Franja 9

$$b = 138.7 + 6 = 144.7 ; B = 154.7$$

$$V = \frac{144.7 + 154.7}{2} (5) = 748.50 \text{ m}^3$$

Franja 10

$$b = 154.7 + 6 = 160.7 ; B = 170.7$$

$$V = \frac{160.7 + 170.7}{2} (5) = 828.50 \text{ m}^3$$

Franja 11

$$b = 170.7 + 6 = 176.7 \quad ; \quad B = 186.7$$

$$V = \frac{176.7 + 186.7}{2} (5) = 908.50 \text{ m}^3$$

Franja 12

$$b = 186.7 + 6 = 192.7 \quad ; \quad B = 202.7$$

$$V = \frac{192.7 + 202.7}{2} (5) = 988.50 \text{ m}^3$$

COSTO DE LA EXCAVACION PARA CORTES CON TALUD 1:1

Y BERMAS DE 3 M DE ANCHO A CADA 5 M.

H (m)	V exc. (m ³)	PRECIO UNITARIO	COSTO
20	914.00	\$ 434.08/m ³	\$ 396 749.12
25	1342.50	"	582 752.40
30	1851.00	"	803 482.08
35	2439.50	"	1 058 938.20
40	3108.00	"	1 349 120.60
45	3856.50	"	1 674 029.50
50	4685.00	"	2 033 664.80
55	5593.50	"	2 428 028.48
60	6582.00	"	2 857 114.56

V.4 OBTENCION DEL COSTO DEL TUNEL TRADICIONAL.

CONCEPTO: Excavación en sección completa de túnel.

ANALISIS DEL CONCEPTO.

GENERALIDADES.- El túnel en la parte semicircular de la sección tiene un diámetro interior de 10.5 m y será revestida de concreto con un espesor de 0.30 m; por otra parte se dejará un espacio de tolerancia con valor de 0.25 m entre las líneas "A" y "B"; por consiguiente, el diámetro total de la sección máxima de pago limitada por la línea "B", será de:

$$10.5 \text{ m} + 2 \times 0.30 + 2 \times 0.25 = 11.60 \text{ m}$$

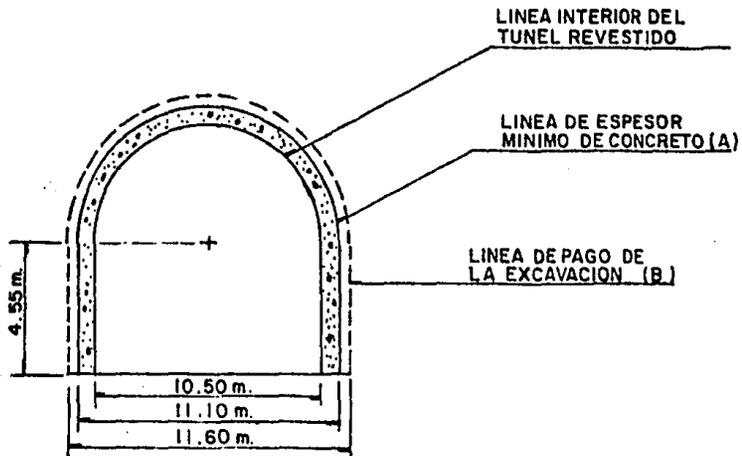


FIG. 1 SECCION DEL TUNEL

Del esquema de la figura, apreciamos que el túnel será ex
cavado con una sección $A_B = 105.62 \text{ m}^2$.

$$A_B = 11.60 \times 4.55 + \frac{0.7854 (11.60)^2}{2}$$

$$A_B = 52.78 + 52.84 = 105.62 \text{ m}^2$$

EXCAVACION.- El avance máximo para la sección de proyecto
y de acuerdo al material que se está atacando resulta ser de - -
1.20 m. La excavación se realizará mediante una retroexcavadora
(fig. 2) y un cargador frontal. Se estima que el tiempo reque
rido para avanzar 1.20 m será de 2 hr. El ademado de ese tramo_
se efectuará en 4 hr.

A manera de comentario se menciona que otra forma de rea
lizar la excavación es mediante una máquina rascadora la cual_
consta de un cabezal portacuchillas y una banda transportado-
ra según se puede apreciar en la (fig. 3).

ACARREO A LOS BANCOS.- El material se transportará por -
medio de un camión Ford F - 600.

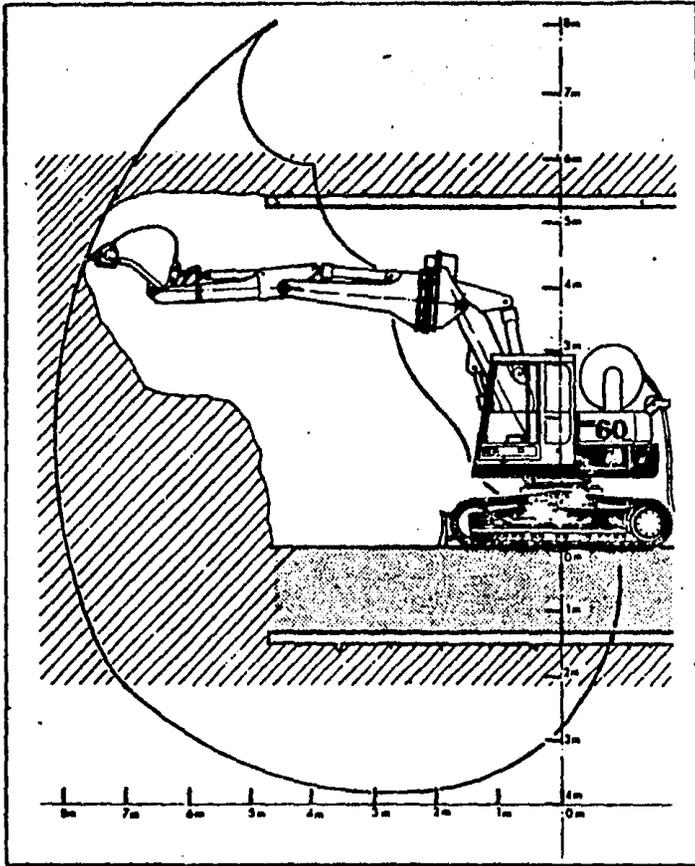


FIG. 2 RETROEXCAVADORA

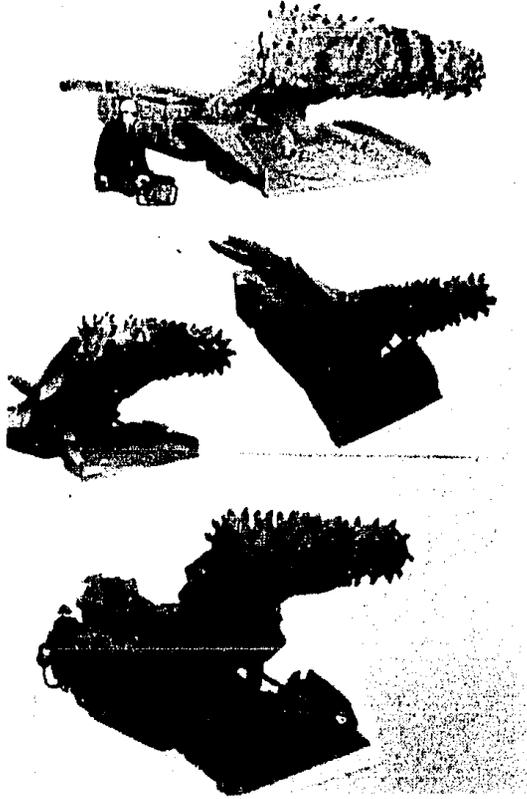


FIG. 3. MAQUINA BASCALORA

CARGOS UNITARIOS.

1. Excavación y acarreo del material

Avance durante las 2 hrs:

$$105.62 \text{ m}^2 \times 1.2 \text{ m} = 126.74 \text{ m}^3$$

Avance por hora:

$$\frac{126.74 \text{ m}^3}{2 \text{ hr}} = 63.4 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Cargo por retroexcavadora.

$$\frac{\$ 12,000.00/\text{hr}}{63.40 \text{ m}^3/\text{hr}} = \$ 189.27/\text{m}^3$$

Cargo por cargador frontal

$$\frac{\$ 6,500.00/\text{hr}}{63.40 \text{ m}^3/\text{hr}} = \$ 102.52/\text{m}^3$$

Cargo por camión Ford F-600.

$$\frac{\$ 2,000.00/\text{hr}}{63.40 \text{ m}^3/\text{hr}} = \$ 31.55/\text{m}^3$$

Cargos por maquinaria parada.

Estimado el costo horario en un 70% del costo horario de la maquinaria trabajando.

Cargo por retroexcavadora,

$$\frac{\$ 12,000.00 \times 0.70 \times 4 \text{ hrs}}{126.74 \text{ m}^3/\text{ciclo}} = \$ 265.11/\text{m}^3$$

Cargo por cargador frontal.

$$\frac{\$ 6,500.00 \times 0.70 \times 4 \text{ hrs}}{126.74 \text{ m}^3/\text{ciclo}} = \$ 143.60/\text{m}^3$$

Cargo por camión.

$$\frac{\$ 2,000.00 \times 0.70 \times 4 \text{ hrs}}{126.74 \text{ m}^3/\text{ciclo}} = \$ 44.18/\text{m}^3$$

$$\text{CARGO UNITARIO POR EXCAVACION Y ACARREO:} \quad \$ 776.23/\text{m}^3$$

2. Cargo unitario por amacise y afine de la excavación.

Este cargo se hará estimando en un 5% de la suma de todos los cargos de la maquinaria; por tanto $\$ 38.81/\text{m}^3$

3. Ventilación.

Suponemos un costo horario del equipo completo de --

\$ 2,500.00/hr.

$$\$ \frac{2,500.00 \times 10 \text{ hrs}}{126.74 \text{ m}^3} = \quad \$ \quad 197.25/\text{m}^3$$

4. Iluminación.

Suponemos un costo horario de toda la instalación de --

\$ 680.00/hr.

$$\$ \frac{680.00 \times 10 \text{ hrs}}{126.74 \text{ m}^3} = \quad \$ \quad 53.65/\text{m}^3$$

RESUMEN DE PRECIOS UNITARIOS.

EXCAVACION Y ACARREO	\$ 776.23/m ³
AMACISE Y AFINE DE LA EXCAVACION	\$ 38.81/m ³
VENTILACION	\$ 197.25/m ³
ILUMINACION	\$ 53.65/m ³
	<hr/>
COSTO DIRECTO	\$ 1,065.94/m ³

CONCEPTO: Ademado y revestimiento del túnel.

ANALISIS DEL CONCEPTO.

GENERALIDADES. El ademado del túnel se efectuará con - - marcos formados por segmentos de vigas "H" de 6". Estos marcos se colocarán a cada 60 cm. El recubrimiento se hará con concreto f'c = 200 Kg/cm² y tendrá un espesor de - 30 cm.

Del esquema de la fig. I apreciamos que el marco tendrá - una longitud de:

$$L = 4.55 \times 2 + \frac{\pi(11.60)}{2} = 27.32 \text{ m.}$$

CARGOS UNITARIOS.

1. Cargo por marco de acero.

Peso de la viga "H" de 6" = 35.87 Kg/m.

Longitud del marco = 27.32 m.

Peso del marco = 35.87 Kg/m x 27.32 m = 979.96 Kg

Costo del marco = 979.96 Kg x \$ 180.00/kg = 176,394.31

Como el marco se colocará a cada 60 cm.

$$\frac{\$ 176,394.31}{106.62 \text{ m}^2 \times 0.60 \text{ m}} =$$

\$ 2,783.47/m³ exc.

2. Cargo por cimbra.

Considerando un costo de \$ 1,100.00/m² incluyendo obra -
falsa.

Cálculo del área de contacto de la cimbra por metro de --
longitud.

$$L = 4.55 \times 2 + \frac{\pi(10.50 \text{ m})}{2} = 25.59 \text{ m.}$$

$$A = 25.59 \text{ m}^2$$

$$\text{Costo} = 25.59 \text{ m}^2 \times \$ 1,100.00/\text{m}^2 = 28,149.00$$

Como en 1 m de longitud de túnel tenemos 105.62 m³ de ex-
cavación; el costo de la cimbra por m³ será:

$$\frac{\$ 28,149.00}{105.62 \text{ m}^3} = \quad \quad \quad \$ 266.51/\text{m}^3$$

Considerando el cargo por retaque y cuñas como un 10% --

$$\text{del cargo anterior} \quad \quad \quad \$ 26.65/\text{m}^3$$

$$\text{Cargo unitario por cimbra y retaque} \quad \quad \quad \$ 293.16/\text{m}^3$$

3. Cargo por revestimiento de concreto.

Longitud interior del recubrimiento.

$$L = 4.55 \times 2 + \frac{\pi(10.50 \text{ m})}{2} = 25.59 \text{ m}$$

Longitud exterior

$$L = 4.55 \times 2 + \frac{-(11.10 \text{ m})}{2} = 26.53 \text{ m}$$

Longitud media.

$$\frac{25.59 + 26.53}{2} = 26.06 \text{ m}$$

Como el espesor de concreto será de 30 cm, el volumen por metro lineal de túnel será:

$$26.06 \text{ m} \times 0.30 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 7.818 \text{ m}^3$$

$$\text{Costo} = 7.818 \text{ m}^3 \times \$ 9,000.00/\text{m}^3 = \$ 70,362.00$$

Cargo unitario de concreto por m³ de excavación:

$$\frac{\$ 70,362.00}{105.62 \text{ m}^3} = \$ 666.18/\text{m}^3$$

CARGO UNITARIO POR ADEMADO Y REVESTIMIENTO \$ 3,742.81

RESUMEN DEL COSTO DEL TUNEL TRADICIONAL.

EXCAVACION \$ 1,065.94/m³

ADEMADO Y RECUBRIMIENTO \$ 3,742.81/m³

COSTO DIRECTO \$ 4,808.75/m³

INDIRECTOS (42%) " 2,019.67

PRECIO UNITARIO \$ 6,828.42/m³

COSTO TOTAL DE TUNEL TRADICIONAL POR METRO DE LONG.

$$\$ 6,828.42/\text{m}^3 \times 105.62 \text{ m}^3/\text{ml} = 721,218.25/\text{ml}.$$

V.5 COMPARACION Y DETERMINACION DE LOS PUNTOS DE EQUILIBRIO DEL COSTO.

H (m)	COSTO: TUNEL FALSO	COSTO: TUNEL TRADICIONAL	COSTO: ABAT. DE TALUDES CON CONST. DE BERMAS, TALUD 1:1
20	\$ 622 446.61	\$ 721 218.25	\$ 396 749.12
25	690 345.40	721 218.25	582 752.40
30	765 983.84	721 218.25	803 482.08
35	848 706.47	721 218.25	1 058 938.20
40	938 747.68	721 218.25	1 349 120.60
45	1 035 873.08	721 218.25	1 674 029.50
50	1 140 160.80	721 218.25	2 033 664.80
55	1 251 610.84	721 218.25	2 428 028.48
60	1 370 223.20	721 218.25	2 857 114.56

PUNTO DE EQUILIBRIO DEL COSTO: TUNEL FALSO - TUNEL TRADICIONAL

COSTO TUNEL FALSO = COSTO TUNEL TRADICIONAL

COSTO ESTR. + COSTO EXC. = \$ 721 218.25

\$ 419 588.00 + COSTO EXC. = 721 218.25

COSTO EXC. = 301 630.25

\$ 434.08 X VOL. EXC. = 301 630.25

V = VOL. EXC. = 694.87 M³

$$V = \frac{16.7 + y}{2} H$$

$$\text{Donde } y = 16.7 + 2x ; x = \frac{H}{\tan \theta} = \frac{H}{3}$$

$$x \text{ en } y : y = 16.7 + \frac{2}{3} H = 16.7 + 0.67 H$$

$$V = \frac{(16.7 + 16.7 + 0.67 H)}{2} H$$

$$V = \frac{(33.40 + 0.67 H)}{2} H$$

$$2V = 33.40 H + 0.67 H^2$$

$$0.67 H^2 + 33.40 H - 2 (694.87) = 0$$

$$H^2 + 50.10 H - 2084.61 = 0$$

$$\underline{\underline{H = 27.03 \text{ m}}}$$

PUNTO DE EQUILIBRIO DEL COSTO: TUNEL FALSO - ABATIMIENTO
DE TALUDES CON CONSTRUCCION DE BERMAS TALUD 1:1.

COSTO TUNEL FALSO = COSTO ABATIMIENTO DE TALUDES

$$\$ 419 588.00 + \$ 434.09 (\text{VOL. EXC.}) = \$ 434.08 (\text{VOL. EXC. ABAT.}).$$

$$\$ 966.61 + \text{VOL. EXC.} = \text{VOL. EXC. ABAT.}$$

$$966.61 + \frac{(33.4 + 0.67 H)}{2} H = VF1 + VF2 + VF3 + VF4 + VF5 + VF6$$

DONDE: VF representa los volúmenes de excavación por franjas.

$$966.61 + 16.7 H + 0.33 H^2 = 1342.5 + VF6. \dots (1)$$

$$VF6 = \frac{(96.7 + 96.7 + 2X)}{2} X \quad \text{Donde } X = H - 25$$

$$VF6 = (96.7 + X) X$$

$$VF6 = (96.7 + H-25) (H-25)$$

$$VF6 = (71.7 + H) (H - 25)$$

$$VF6 = H^2 + 46.7 H - 1792.5$$

Sustituyendo VF6 en (1)

$$966.61 + 16.7 H + 0.33 H^2 = 1342.5 + H^2 + 46.7 H - 1792.5$$

$$0 = 0.67 H^2 + 30 H - 1416.61$$

$$0 = H^2 + 45H - 2124.92$$

$$\underline{\underline{H = 28.79 \text{ m}}}$$

C O N C L U S I O N E S

De la obtención del punto de equilibrio del costo túnel - falso-abatimiento de taludes con construcción de bermas, se observa que para una altura mayor de $H = 28.79$ m. comienza a incrementarse el costo del abatimiento de taludes con respecto al costo del túnel falso, por lo que se recomendaría aplicar esta alternativa hasta una altura de $H = 25.00$ m aproximadamente.

En lo que respecta a la obtención del punto de equilibrio del costo túnel falso-túnel tradicional se determinó que para una altura mayor de $H = 27.00$ m el costo del túnel falso comienza a ser mayor que el del túnel tradicional, lo cual nos indica que hubiera sido más conveniente efectuar un túnel tradicional para alturas de corte mayores de $H \approx 30.00$ m por lo que para el caso del túnel falso que tiene una altura de corte de $H = 40.00$ m no se justificaría el que se haya elegido esta solución.

Mediante esta comparación de costos se pretende destacar la importancia que tiene el efectuar un análisis de costos de las posibles alternativas, para cualquier obra en general, con el propósito de elegir la alternativa óptima o aquella que más se aproxime a ésta; ya que se dan casos, sobre todo en dependencias del sector público, de no hacer la mejor elección debido a la omisión de este tipo de análisis que normalmente es el que rige para la elección de la mejor alternativa.

BIBLIOGRAFIA

S.C.T. (DEPTO. DE ESTUDIOS GEOTECNICOS).

SUBDIRECCION DE GEOTECNIA.

INFORMES DE LA DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS.

CIMENTACIONES Y TUNELES,

Paul Galabré,

Editorial Reverté, S. A.

OBRAS DE TIERRA,

General Froment,

Editorial Gustavo Gili, S. A.

TRATADO GENERAL DE CONSTRUCCION,

Carlos Esselborn,

Editorial Gustavo Gili, S. A.

MAQUINARIA PARA LA CONSTRUCCION,

David A. Day,

Editorial Limusa, S. A.

METODOS, PLANEAMIENTO Y EQUIPOS DE CONSTRUCCION,

R. L. Peurifoy,

Editorial Diana, S. A.

AP. DEL CURSO DE CONSTRUCCION I,

Universidad Nacional Autónoma de México,

Facultad de Ingeniería.

AP. DE MOVIMIENTO DE TIERRAS,

Universidad Nacional Autónoma de México,

Facultad de Ingeniería.

MANUAL PARA EL USO DE EXPLOSIVOS,

Compañía Editorial Continental, S. A.