

57



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

CONSTRUCCION DE TERRACERIAS

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
I N G E N I E R O C I V I L  
P R E S E N T A :  
A N A L I L I A H E R N A N D E Z R O B L E S



DIRECTOR DE TESIS: ING. ERNESTO RENE MENDOZA SANCHEZ

MEXICO, D. F.

2002

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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 esta 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/156/01

Señor  
ANA LILIA HERNÁNDEZ ROBLES  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. ERNESTO MENDOZA SÁNCHEZ, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"CONSTRUCCIÓN DE TERRACERÍAS"

- INTRODUCCIÓN
- I. GENERALIDADES
  - II. ACTIVIDADES QUE CONFORMAN UNA OBRA DE TERRACERÍAS
  - III. MAQUINARIA DE CONSTRUCCIÓN EMPLEADA
  - IV. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
  - V. PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS
  - VI. CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria a 12 de septiembre de 2001.  
EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO  
GFB/GMP/mstg.

## Agradecimientos...

En especial a la Universidad Nacional Autónoma de México, gracias a la cual he podido lograr una de las mayores metas en mi vida.

Al Ing. Ernesto Mendoza Sánchez por la oportunidad que me dio al poder dirigir esta tesis, por su paciencia y comprensión en todos y cada uno de los momentos previos a la culminación de este trabajo y, por su estímulo generoso que hizo posible la realización del mismo.

A todos y cada uno de mis profesores en sus diversas cátedras por darme la oportunidad de aprender de ellos y, principalmente, a mis sinodales por su dedicación infatigable y que ahora forman parte de este momento tan especial.

A todos los que han contribuido al estudio de mi profesión.

## *Dedicatorias...*

*A mis padres, que durante todo el tiempo apoyaron mis estudios y ahora se ve retribuido su esfuerzo en mi persona...*

*A mis hermanos, por su paciencia y ayuda en todos los momentos difíciles para poder llegar a este instante...*

*A la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México a la cual debo lo que soy...*

*A mis amigas y amigos... a los de ayer y a los del presente,  
ahora y siempre...*

*"No puede decirse exactamente qué es la inteligencia.  
Tener luz para ver las cosas es lo más extraordinario  
que a uno le puede suceder..."*

# Indice

INDICE.....	i
INTRODUCCION.....	1
<b>I. GENERALIDADES.....</b>	<b>3</b>
I.1. DEFINICION DE TERRACERIAS.....	3
I.2. CARACTERISTICAS Y FINALIDADES DE LAS TERRACERIAS.....	3
I.2.1. Características.....	3
I.2.2. Finalidades.....	5
I.3. ELEMENTOS DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES DE UNA CARRETERA.....	6
<b>II. ACTIVIDADES QUE CONFORMAN UNA OBRA DE TERRACERIAS.....</b>	<b>12</b>
II.1. TRABAJOS PREVIOS DE TOPOGRAFIA.....	12
II.1.1. Trazo de la línea central.....	17
II.1.2. Estacas del trazo.....	17
II.1.3. Estacas de talud o ceros.....	17
II.1.4. Estacas de referencia.....	19
II.1.5. Fijación de estacas laterales.....	21
II.2. DESMONTE Y DESPALME.....	24
II.2.1. Desmonte.....	24
II.2.2. Despalme.....	25
II.3. EXCAVACIONES.....	26
II.3.1. Excavaciones para canales.....	28
II.3.2. Excavaciones en cortes.....	28
II.3.2.1. Cortes laterales.....	28
II.3.2.2. Cortes en cajón.....	29
II.4. TERRAPLENES.....	34
II.5. PRESTAMOS Y ACARREOS.....	40
II.5.1. Préstamos.....	40
II.5.1.1. Préstamos laterales.....	40
II.5.1.2. Préstamos de banco.....	41
II.5.2. Acarreos.....	41
II.5.2.1. Acarreo libre.....	41
II.5.2.2. Sobreacarreo.....	42
II.6. REAFINAMIENTO.....	42

---

**III. MAQUINARIA DE CONSTRUCCION EMPLEADA..... 43**

III.1. TRACTORES.....	45
III.1.1. Tractores sobre orugas.....	47
III.1.2. Tractores sobre neumáticos.....	48
III.2. CARGADORES FRONTALES.....	53
III.2.1. Cargadores sobre orugas.....	53
III.2.2. Cargadores sobre neumáticos.....	54
III.3. MAQUINAS PARA EXCAVACION.....	56
III.3.1. Palas excavadoras frontales.....	56
III.3.1.1. Palas excavadoras frontales sobre orugas.....	57
III.3.1.2. Palas excavadoras frontales sobre neumáticos.....	58
III.3.2. Retroexcavadoras.....	60
III.3.3. Dragas de arrastre.....	62
III.4. MOTOCONFORMADORAS.....	65
III.5. EQUIPO PESADO DE ACARREO.....	68
III.5.1. Motoescrepas.....	69
III.5.1.1. Motoescrepa estándar.....	70
III.5.1.2. Motoescrepa autocargadora.....	70
III.5.1.3. Motoescrepa sinfín.....	74
III.5.2. Camiones fuera de carretera.....	74
III.5.2.1. Camiones de obra.....	74
III.5.2.2. Camiones articulados.....	76
III.6. EQUIPO DE COMPACTACION.....	77
III.6.1. Compactador de rodillo de patas de cabra.....	77
III.6.2. Compactador de neumáticos.....	79
III.6.3. Compactador de rodillo liso de acero.....	80
III.6.4. Compactador vibratorio.....	80
III.6.5. Compactadores combinados.....	82
III.7. RENDIMIENTO.....	82
III.7.1. Tractores.....	83
III.7.2. Cargadores frontales.....	86
III.7.3. Maquinas para excavación.....	86
III.7.3.1. Palas excavadoras frontales.....	86
III.7.3.2. Retroexcavadoras.....	88
III.7.3.3. Dragas de arrastre.....	89
III.7.4. Motoconformadoras.....	90
III.7.5. Equipo pesado de acarreo.....	90
III.7.5.1. Motoescrepas.....	90
III.7.5.2. Camiones fuera de carretera.....	92
III.7.6. Equipo de compactación.....	93
III.8. SELECCION DE MAQUINARIA.....	93
III.9. ADELANTOS MODERNOS EN MAQUINARIA.....	104

<b>IV. MATERIALES DE CONSTRUCCION.....</b>	<b>105</b>
IV.1. MATERIALES EMPLEADOS.....	105
IV.2. BANCOS DE MATERIALES.....	107
IV.3. TRATAMIENTO DE MATERIALES.....	110
IV.3.1. Disgregado.....	110
IV.3.2. Cribado.....	110
IV.3.3. Triturado.....	111
IV.3.4. Estabilización.....	113
IV.3.4.1. Estabilización con cemento.....	115
IV.3.4.2. Estabilización con cal.....	115
IV.3.4.3. Estabilización con asfalto.....	116
IV.3.5. Compactación.....	117
IV.3.5.1. Compactación en el campo.....	117
IV.3.5.2. Verificación de la compactación.....	119
IV.3.5.3. Control de la compactación con dispositivos nucleares.....	120
IV.3.5.4. Pruebas de compactación en el laboratorio y en el campo.....	122
IV.4. PRUEBAS DE LABORATORIO Y DE CAMPO.....	123
IV.4.1. Pruebas que se efectúan a los materiales de terracerías.....	123
IV.5. CONTROL DE CALIDAD.....	138
<b>V. PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS.....</b>	<b>141</b>
V.1. PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS.....	142
V.1.1. Ejecución de excavaciones.....	142
V.1.1.1. Excavación de cortes laterales.....	142
V.1.1.2. Excavación de cortes en cajón.....	150
V.1.1.3. Excavación en bancos de materiales.....	157
V.1.2. Formación de terraplenes.....	162
V.1.2.1. Métodos de mejoramiento del terreno natural.....	162
V.1.2.2. Construcción de los terraplenes.....	165
V.2. CURVA MASA.....	174
V.2.1. Características.....	175
V.2.2. Determinación de los acarrees.....	180
V.2.2.1. Acarreo libre.....	180
V.2.2.2. Distancia de sobrecarreo.....	180
V.2.2.3. Distancia económica de sobrecarreo.....	180
V.3. BASES DE PAGO Y CATALOGO DE CONCEPTOS DE OBRA.....	181
<b>VI. CONCLUSIONES.....</b>	<b>187</b>
BIBLIOGRAFIA.....	190

---

# Introducción

“Construcción de Terracerías” es el desarrollo de un tema comprendido dentro de una de las asignaturas opcionales correspondientes al plan de estudios de Ingeniería Civil que se imparten en la Facultad de Ingeniería de la *Universidad Nacional Autónoma de México*: Movimiento de Tierras, donde la principal motivación que me llevó a su elección fue precisamente el abordar un campo que englobara gran parte de los conocimientos generales adquiridos durante la licenciatura.

Esta tesis ha sido escrita con la finalidad de facilitar, en cuanto sea posible, el aprendizaje a los estudiantes en formación que se interesen por el área de construcción de carreteras, o bien, a aquellos cuya información pueda servirles para otras áreas de estudio que sean afines.

Puesto que este escrito no fue realizado para explicar por primera vez algo novedoso, se sugiere consultar las fuentes adecuadas, algunas de las cuales se dictan en la parte final correspondiente a la bibliografía.

El campo de investigación que he intentado abarcar comienza con las generalidades del tema, en donde hablo sobre aspectos básicos de lo que son las terracerías, como sus características y finalidades principales.

En el capítulo siguiente hago una descripción de cada una de las actividades que conforman una obra de terracerías, desde lo que son los trabajos topográficos hasta el refinamiento de la obra, describiendo en que consiste cada una de las actividades y ciertos puntos que hay que tomar en cuenta en su realización.

---

El capítulo tres se refiere a la maquinaria de construcción empleada. Aquí proporcione primordialmente las operaciones que pueden llevarse a cabo con cada una de las máquinas de uso común para ejecutar los trabajos, así como parte de sus elementos de trabajo y factores que pueden afectar su rendimiento. También, toco el tema relativo a la selección de maquinaria, para la que hay ciertos aspectos considerables al momento de hacer su análisis.

En cuanto al capítulo cuatro, explico una de las áreas importantes dentro de la construcción de terracerías, que es el correspondiente a los materiales empleados. Incluyo una serie de cuadros y tablas que contienen las características de los materiales con posibilidad de uso; también explico lo relacionado a bancos de materiales y tratamientos posibles, para seguir con las pruebas de laboratorio y de campo y, el control de calidad.

En el capítulo cinco, doy una serie de procedimientos constructivos básicos en la construcción de terracerías. Aquí simplifico las actividades en dos que son la base de las demás: ejecución de excavaciones y formación de terraplenes. Inicialmente describo diversos métodos de trabajo que son comunes y que pueden seguirse como posibles formas de ataque al momento de comenzar con la construcción de la obra, para posteriormente mencionar dos aspectos igualmente importantes en el tema que he venido tratando, que son curva masa y bases de pago y conceptos de obra, muy considerados en la cuestión de costos.

Finalmente, en el capítulo seis, dejo ver las conclusiones a que he llegado después de investigar y estudiar los factores que intervienen en la construcción de terracerías, todos indudablemente de gran importancia, ya que cualquier tipo de falla puede implicar daños a la estructura del pavimento y por ende a la carretera.

Es así que con este orden de ideas procedí a la redacción de la presente tesis profesional y espero que después de su lectura, deje la satisfacción que yo he encontrado en la misma y, una motivación más para seguir con el estudio de esta área de la Ingeniería Civil.

**CONSTRUCCION  
DE  
TERRACERIAS**

# ***GENERALIDADES***

## **capítulo I**

# **GENERALIDADES**

### ***1.1. Definición de terracerías***

En la construcción de carreteras casi todos los trabajos, en especial los que se realizan en nuevas localizaciones, comprenden considerables cantidades de movimientos de tierra. Dentro de las actividades se consideran procesos constructivos que involucran desde el terreno natural hasta las que preceden a la construcción del pavimento, siendo entonces los elementos estructurales del camino el terreno natural, las terracerías y el pavimento.

Las *terracerías* son los volúmenes de materiales que se extraen y que sirven de relleno para formar parte de las capas de materiales de una carretera y cuyas operaciones básicas se conforman de despalme y desmonte, excavaciones en tierra y roca para cortar el terreno natural y darle la subrasante al camino, acarreo de materiales desde las zonas de préstamos para la formación de terraplenes, refinamiento y limpieza general de la obra.

Cualquiera de las actividades mencionadas, o todas, pueden realizarse en un proyecto de construcción de una carretera y hasta cierto punto traslaparse a otros de determinadas características, como por ejemplo en proyectos de plantas industriales, conjuntos habitacionales, caminos de bajo tránsito, calles, etc.

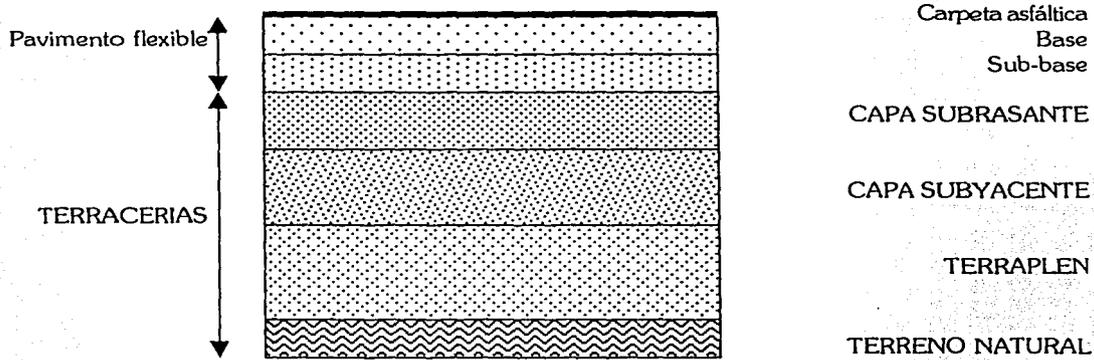
### ***1.2. Características y finalidades de las terracerías***

#### ***1.2.1. CARACTERISTICAS***

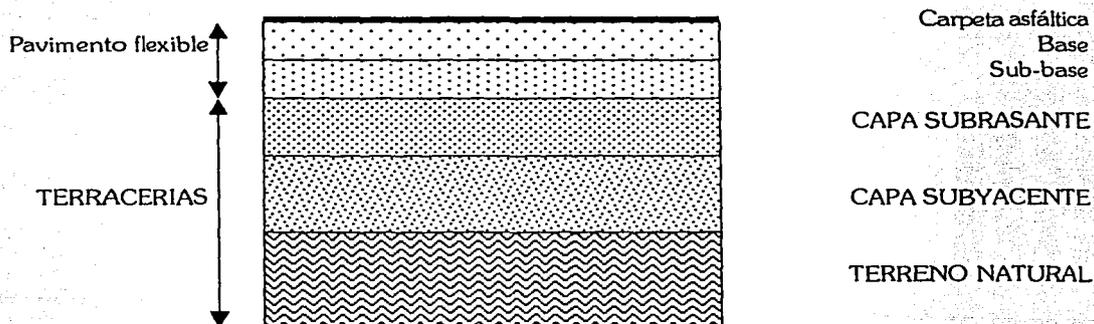
Las *terracerías* están formadas por el cuerpo del terraplén, la capa subyacente y la capa subrasante. Estas capas de materiales junto con el terreno natural conforman una estructura total.

Los materiales de estas capas deben cumplir con ciertas especificaciones y características que van de acuerdo a las funciones que tendrá la estructura y, que en su oportunidad, explicaré mas adelante.

### SECCION TRANSVERSAL EN TERRAPLEN



### SECCION TRANSVERSAL EN CORTE



◇ **CUERPO DEL TERRAPLEN.** Este debe constituirse con material apropiado el cual tenga pocos cambios volumétricos ante variaciones de contenido de agua. Para su construcción, dependiendo del tipo de terreno en que se desplante, se utilizan materiales que provienen de los cortes o de zonas de préstamos. Así pues, los materiales empleados deben cumplir con:

- Un Valor Relativo de Soporte mayor a 10%.
- Tamaños máximos de las partículas del material hasta de 75cm.
- Un grado de compactación mínimo del 90% del Peso Volumétrico Seco Máximo.

◇ **CAPA SUBYACENTE.** Esta capa se construye cuando el terreno en que se va a apoyar la carretera, ya sea en una sección en terraplén, en corte o en ambas, es de muy mala calidad y se requiere de una capa de mejoramiento. Es común que en una sección en terraplén se considere como parte del mismo a la capa subyacente, siendo ésta la última capa de material por compactar dentro del espesor del terraplén. Aunque también ésta capa suele construirse para carreteras que se proyectan con un volumen de tránsito mayor a 5000 vehículos diarios. Esta capa tiene como características:

- Un Valor Relativo de Soporte mayor a 10%.
- Tamaños máximos de las partículas del material entre 7.5cm y 15cm.
- Un grado de compactación mínimo del 95% del Peso Volumétrico Seco Máximo.

◇ **CAPA SUBRASANTE.** Es una capa que se encuentra entre el terreno natural o el cuerpo del terraplén y la estructura del pavimento. Cuando el material del terreno de la cama del camino, en una sección en corte o mixta, es de excelente calidad únicamente se conforma y compacta, usándose entonces como capa subrasante. En el caso de que el terreno sea roca, se usan las capas subyacente y subrasante para absorber las irregularidades que resultan al efectuar el corte. Las características de esta capa deben ser:

- Un espesor mínimo de 30cm.
- Un Valor Relativo de Soporte mayor a 10%.
- Tamaño máximo de las partículas del material de 7.5cm.
- Un grado de compactación mínimo del 95% del Peso Volumétrico Seco Máximo.

## **1.2.2. FINALIDADES**

La finalidad principal de las terracerías es proporcionar una superficie de apoyo y soporte adecuada a la estructura del pavimento, de tal forma que se alcance el nivel necesario de la subrasante proyectada para la carretera.

❖ **CUERPO DEL TERRAPLEN.** Las finalidades de esta parte de las terracerías son: alcanzar la altura necesaria para satisfacer las especificaciones geométricas sobre todo en lo relativo a la pendiente longitudinal, resistir las cargas del tránsito transmitidas por las capas superiores y distribuir los esfuerzos a través de su espesor para transportarlos en forma adecuada al terreno natural, de acuerdo con su resistencia.

❖ **CAPA SUBYACENTE.** Esta capa de material tiene como objeto reducir los efectos perjudiciales de ese suelo natural de mala calidad, sobre el cual se construirán las terracerías y el pavimento de la carretera, como son las deformaciones y expansiones y, reducir espesores de pavimento.

❖ **CAPA SUBRASANTE.** Dentro de sus funciones se tienen dos de tipo estructural que son comunes a todas las capas de las secciones transversales de una carretera, las cuales son: recibir y resistir las cargas del tránsito que le son transmitidas por el pavimento y, transmitir y distribuir de modo adecuado las cargas del tránsito al cuerpo del terraplén. El resto de las funciones de esta capa son:

- Evitar que los materiales finos plásticos que formen el cuerpo del terraplén o el terreno natural contaminen el pavimento.
- Evitar que las terracerías, cuando estén formadas por pedraplenes, absorban el pavimento.
- Evitar que las imperfecciones de la cama de los cortes se reflejen en la superficie de rodamiento.
- Uniformar y economizar los espesores de pavimento, sobre todo cuando varían mucho los materiales de terracerías a lo largo del camino y requieren de un espesor grande.

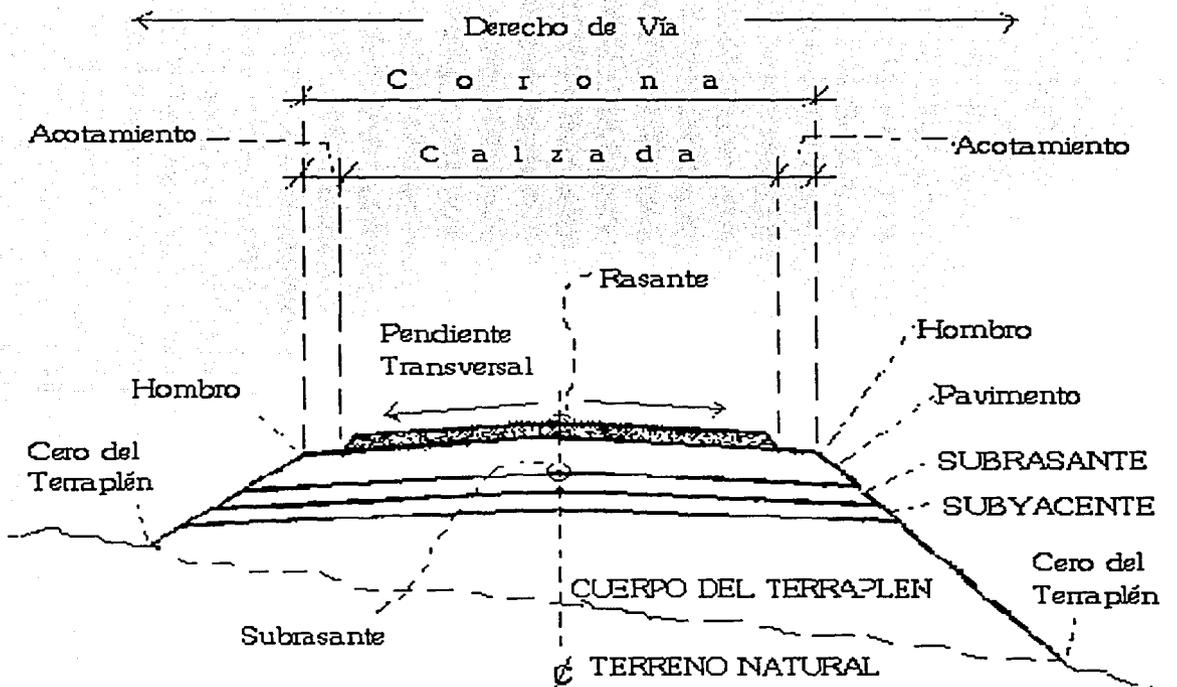
### ***1.3. Elementos de las secciones transversales de una carretera***

La sección transversal de una carretera en un punto cualquiera de ésta es un corte vertical normal a su alineamiento horizontal. Permite definir la disposición y dimensiones de los elementos que forman la carretera en el punto correspondiente a cada sección y su relación con el terreno natural. Las secciones transversales típicas pueden ser de tres tipos:

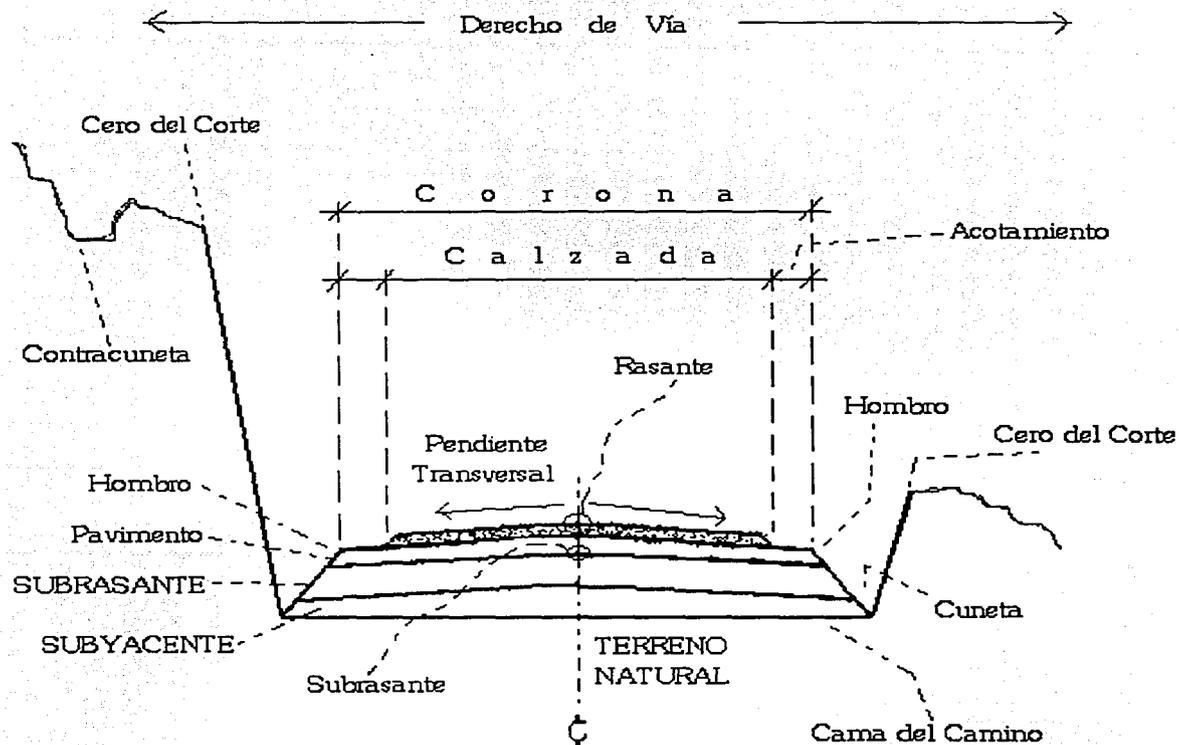
- ↳ En terraplén
- ↳ En corte
- ↳ En balcón o mixta

En estas secciones se puede observar claramente la posición de las terracerías como parte de los elementos de una carretera. Más adelante también se presenta una sección transversal combinada, donde se muestran todos los elementos geométricos que la componen.

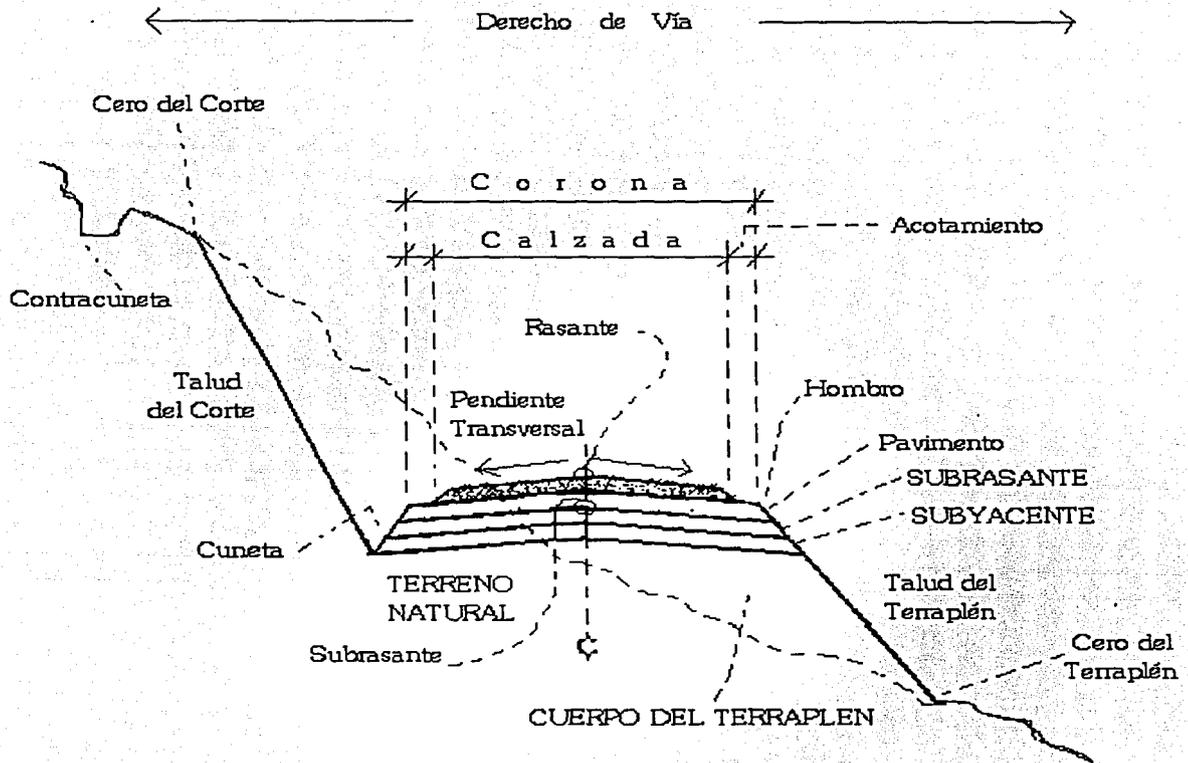
### SECCION TRANSVERSAL EN TERRAPLEN



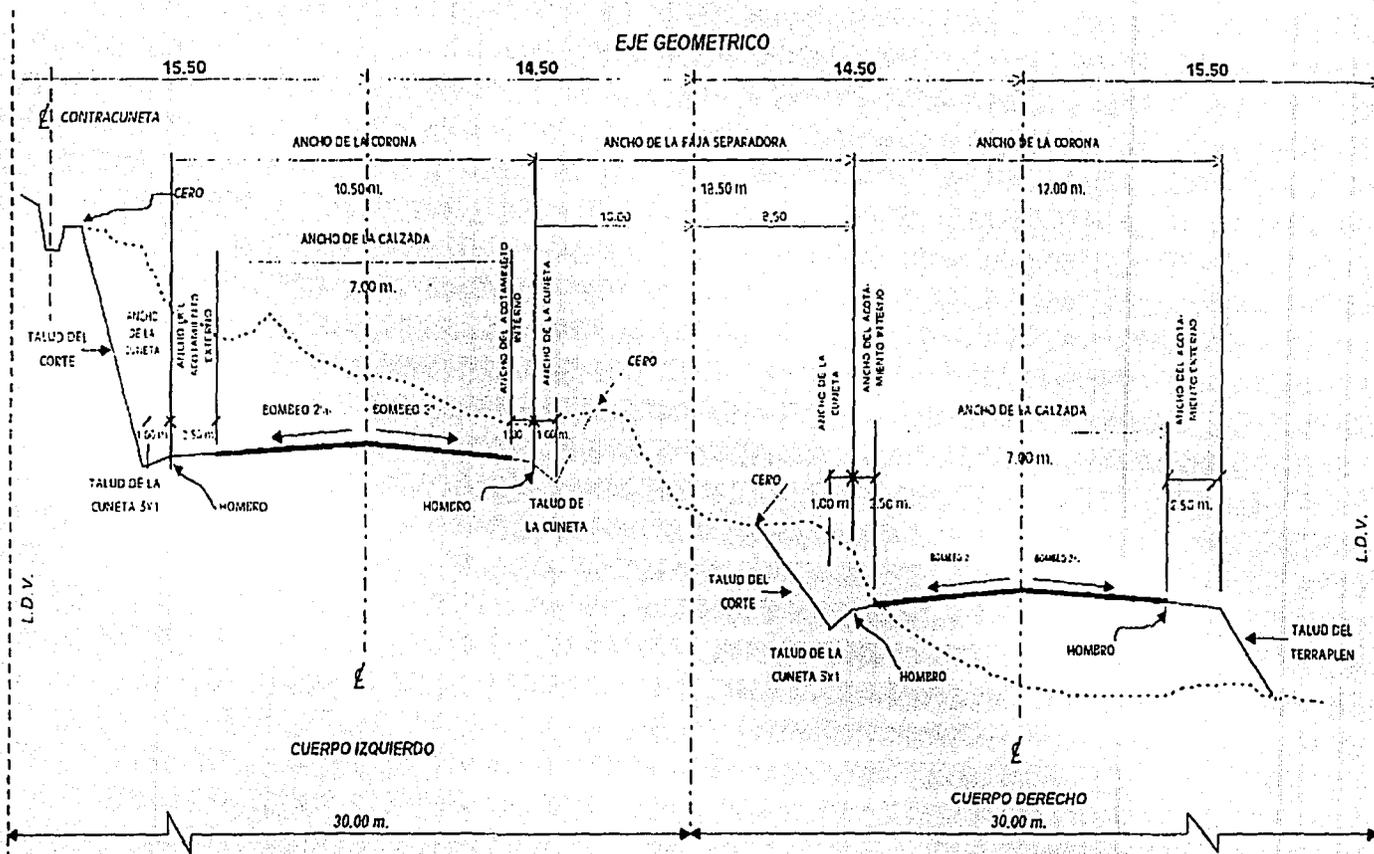
## SECCION TRANSVERSAL EN CORTE



## SECCION TRANSVERSAL EN BALCON O MIXTA



## SECCIONES TRANSVERSALES TÍPICAS



Como puede observarse, los elementos que integran y definen la sección transversal son: la corona, la subcorona, las cunetas y contracunetas, los taludes y las partes complementarias. Enseguida se define cada uno de los elementos mencionados.

◇ **CORONA.** Es la superficie de la carretera terminada que queda comprendida entre los hombros de ésta, o sea, las aristas superiores de los taludes del terraplén y/o las interiores de las cunetas. Los elementos que la definen son:

- **Rasante.** Es la línea obtenida al proyectar sobre un plano vertical el desarrollo del eje de la corona de la carretera. En la sección transversal se representa con un punto.
- **Pendiente transversal.** Es la que se da a la corona normal a su eje. Según su relación con los elementos del alineamiento horizontal se presentan los casos:
  - **Bombeo:** es la pendiente que se da a la corona hacia uno u otro lado de la rasante para evitar la acumulación de agua sobre el camino.
  - **Sobreelevación:** es la pendiente que se da a la corona hacia el centro de la curva horizontal para contrarrestar parcialmente el efecto de la fuerza centrífuga.
- **Calzada.** Es la parte de la corona destinada al tránsito de vehículos y constituida por uno o más carriles, entendiéndose por carril a la faja de ancho suficiente para la circulación de una fila de vehículos.
- **Acotamientos.** Son las fajas contiguas a la calzada, comprendidas entre sus orillas y las líneas definidas por los hombros de la carretera.

◇ **SUBCORONA.** Es la superficie que limita a las terracerías y sobre la que se apoyan las capas de pavimento. Los elementos que la definen son:

- **Subrasante.** Es la proyección sobre un plano vertical del desarrollo del eje de la subcorona. En la sección transversal es un punto cuya diferencia de elevación con la rasante, está determinada por el espesor del pavimento y cuyo desnivel con respecto al terreno natural, sirve para determinar el espesor de corte o terraplén.
- **Pendiente transversal.** Es la misma que la de la corona, logrando mantener uniforme el espesor de pavimento. Puede ser bombeo o sobreelevación.

◇ **CUNETAS Y CONTRACUNETAS.** Son obras de drenaje que por su naturaleza quedan incluidas en la sección transversal. Las cunetas son zanjas de sección triangular, que se construyen en los tramos en corte a uno o a ambos lados de la corona, contiguas a los hombros, con el objeto de recibir en ellas el agua que escurre por la corona y los taludes del corte. Las contracunetas son zanjas de sección trapezoidal, que se excavan arriba de la línea de los ceros de un corte, para interceptar los escurrimientos superficiales del terreno natural.

◇ **TALUDES.** El talud es la inclinación del paramento de los cortes o de los terraplenes, expresado numéricamente por el recíproco de la pendiente. En carreteras se le llama talud a la superficie que en cortes queda comprendida entre la línea de ceros y el fondo de la cuneta y, en terraplenes, la que queda comprendida entre la línea de ceros y el hombro correspondiente.

◇ **PARTES COMPLEMENTARIAS.** Son elementos de la sección transversal que concurren ocasionalmente y con los cuales se trata de mejorar la operación y conservación de la carretera. Tales elementos son las guarniciones, bordillos, banquetas y fajas separadoras.

◇ **CEROS.** Son los puntos extremos de la sección donde los taludes cortan al terreno natural y las líneas que los unen a lo largo del camino, se les conoce como líneas de ceros.

◇ **PAVIMENTO.** Conjunto de capas de material seleccionado y/o tratado, que tiene por objeto soportar las cargas inducidas por el tránsito y repartirlas de manera que los esfuerzos transmitidos a la capa de terracerías subyacente no le causen deformaciones perjudiciales. Al mismo tiempo proporciona una superficie de rodamiento adecuada al tránsito. Los pavimentos están formados por la sub-base, la base y la carpeta; aunque estas capas suelen variar dependiendo del tipo de pavimento, es decir, si es flexible o rígido.

◇ **DERECHO DE VIA.** Es la faja que se requiere para la construcción, conservación, reconstrucción, ampliación, protección y en general, para el uso adecuado de esa vía y de sus servicios auxiliares. Conviene que su ancho sea uniforme, pero habrá casos en que para alojar intersecciones, bancos de materiales, taludes de corte o terraplén y servicios auxiliares, se requiera disponer de un mayor ancho.

II

***ACTIVIDADES QUE  
CONFORMAN UNA OBRA  
DE TERRACERIAS***

## capítulo II

# ACTIVIDADES QUE CONFORMAN UNA OBRA DE TERRACERIAS

Una obra de terracerías abarca diversas operaciones de construcción entre la limpieza del lugar proyectado para la carretera y la pavimentación de la misma. Las actividades de desmonte y despalme, excavaciones en tierra y roca, acarreo de materiales desde los lugares de préstamos hasta el sitio de ejecución, formación de cortes y terraplenes, están incluidas en el término. Además, dentro de estas actividades se encuentran otras implícitas como los trabajos de topografía, el tratamiento de los materiales antes y durante la construcción, trabajos de estabilización y compactación, entre otras; las cuales son necesarias para ejecutar adecuadamente el proyecto de terracerías. Las actividades generales de este tipo de obra pueden listarse de la siguiente manera:

- Trabajos de topografía
- Desmonte y despalme
- Excavaciones
- Terraplenes
- Préstamos y acarreo
- Reafinamiento

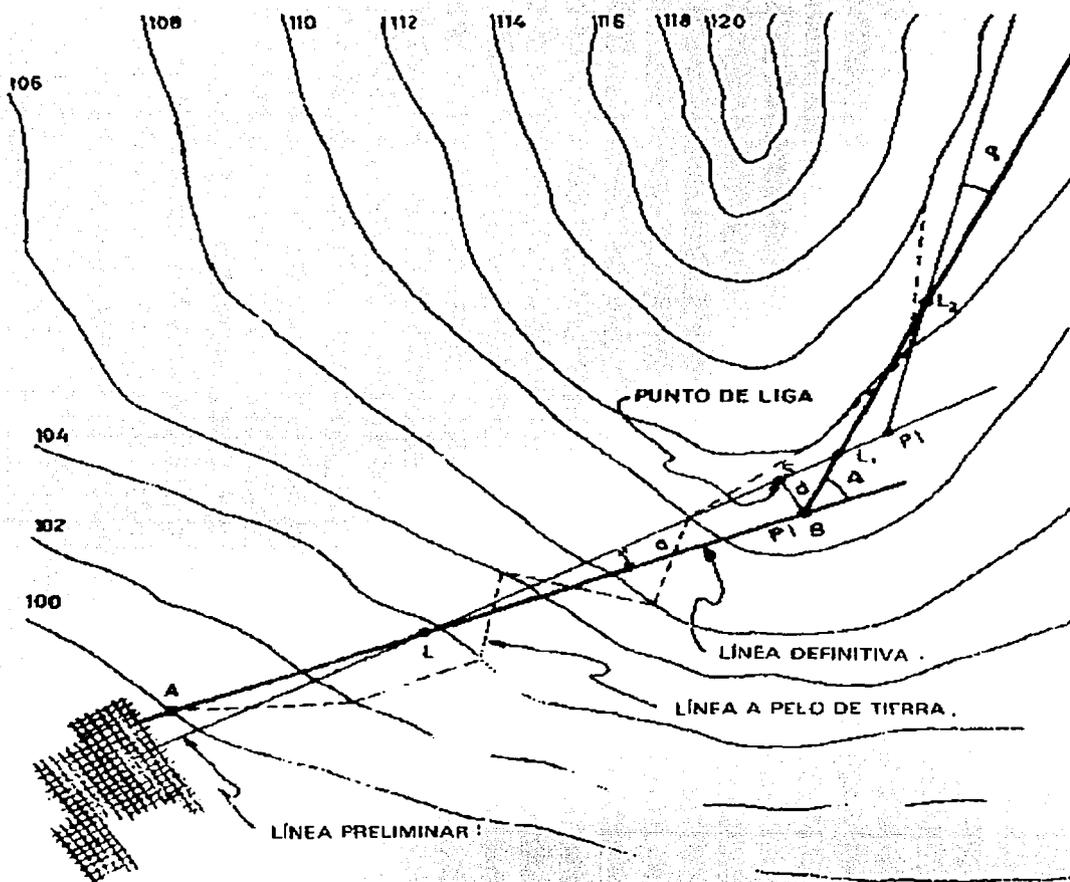
A continuación se hará una breve descripción de las mismas.

### **II.1. Trabajos de topografía**

Antes de efectuar cualquier operación en la construcción de una vía terrestre es necesario, como es sabido, llevar a cabo los trabajos topográficos.

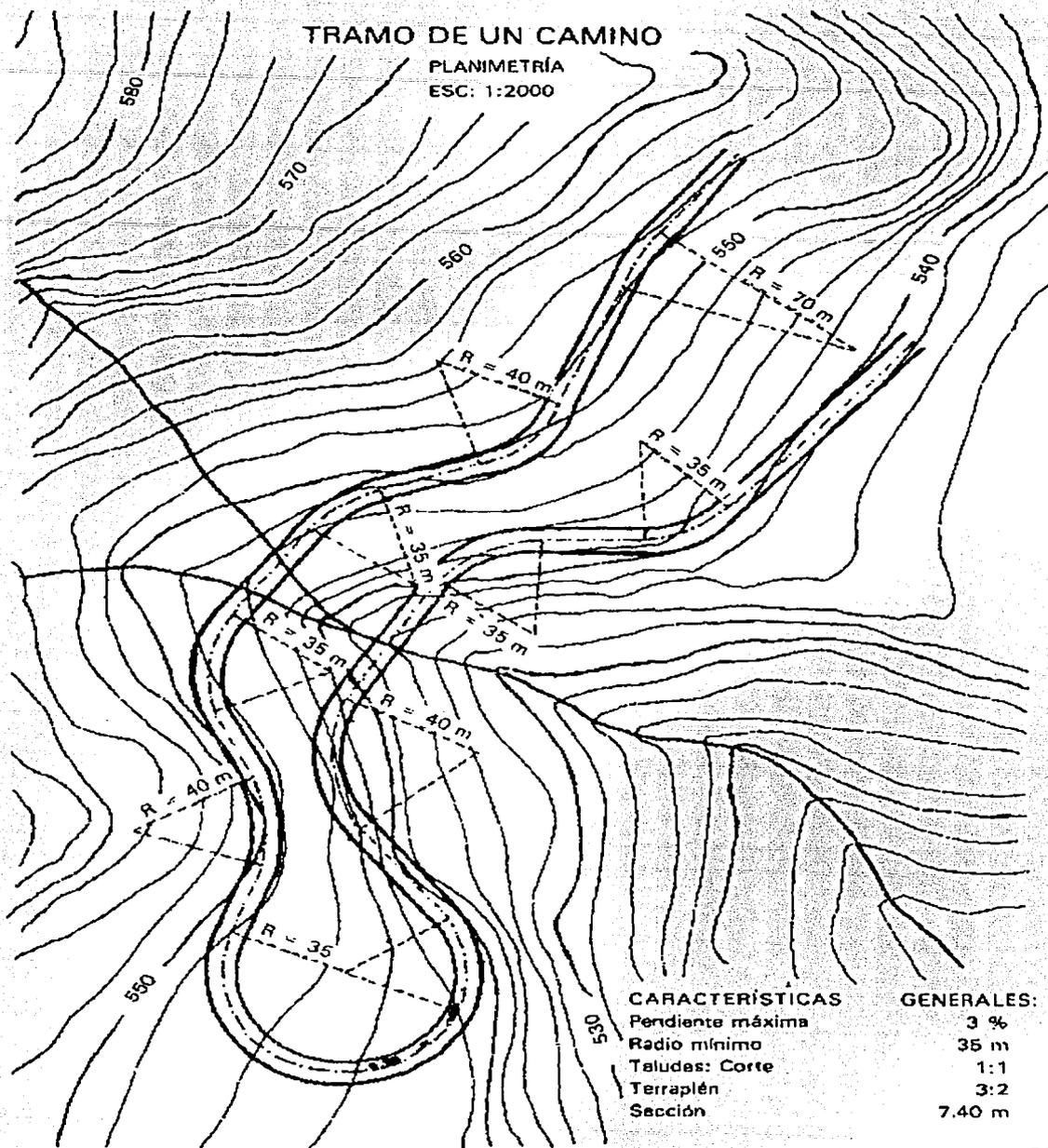
Para comenzar con ellos se requiere la entrega, por parte de los encargados del proyecto al contratista, de los documentos de la obra para su construcción, dentro de los cuales se encuentran los planos que contienen la planta del trazo del eje del camino; el perfil del terreno natural donde se proyecta la línea subrasante con sus respectivas elevaciones; la geometría del alineamiento horizontal y vertical; los tipos de secciones transversales que se construirán sobre el terreno natural; las cantidades de obra; información geotécnica y de los materiales a manejar; localización de los bancos de préstamo para cada una de las capas pertenecientes a las terracerías; los espesores de las capas subyacente y subrasante y; datos de ampliaciones y sobreelevaciones para cada sección del camino.

Como observación a lo dicho anteriormente, se muestran las siguientes figuras:



TESIS CON  
FALTA DE ORIGEN

LÍNEAS PRELIMINAR Y DEFINITIVA DE LA CARRETERA PROYECTADA



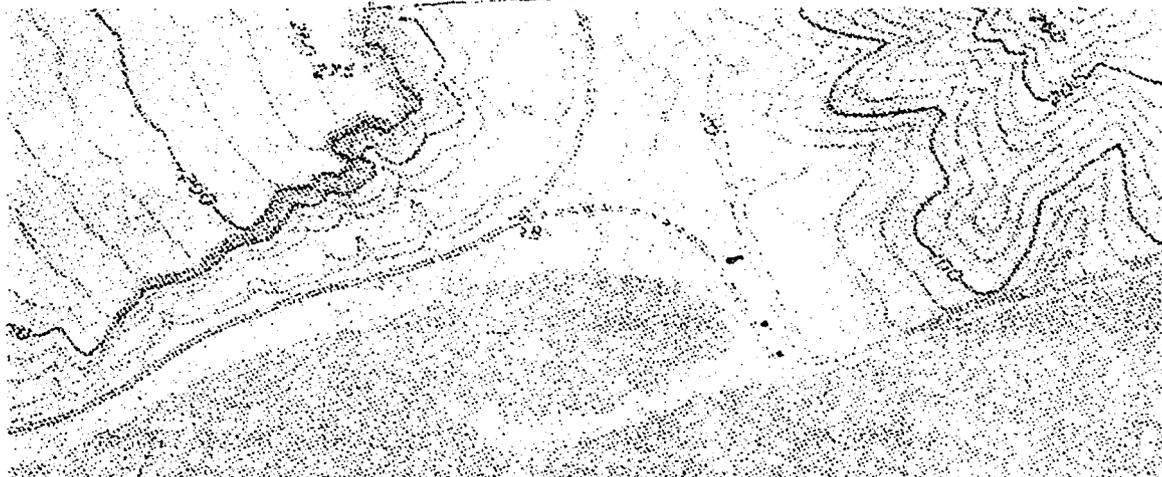
VISTA EN PLANTA DE UN TRAMO DE UN CAMINO

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

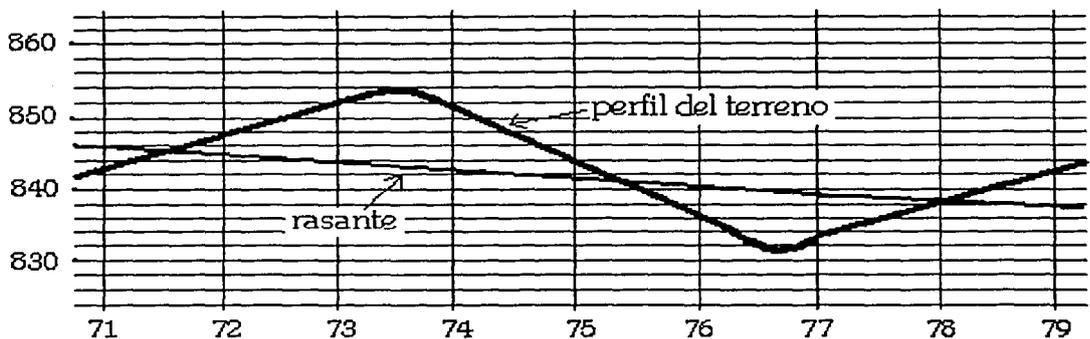
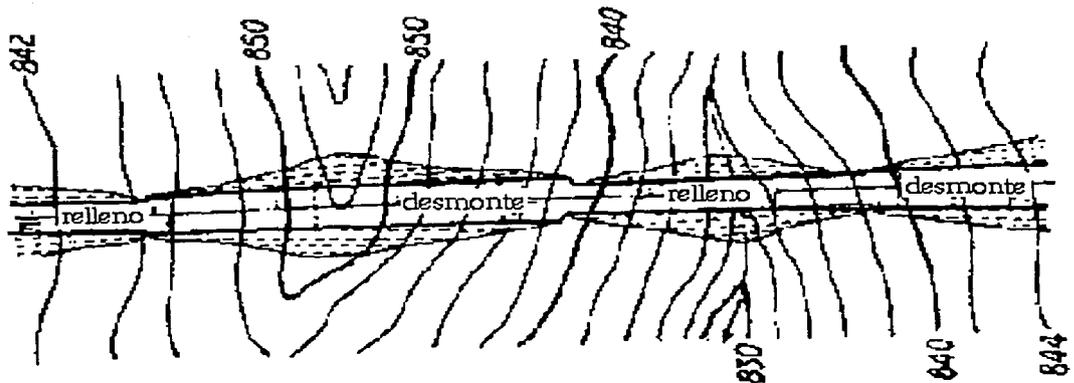


PERSPECTIVA DEL TERRENO

TESIS CON  
Escala de ORIGEN



PLANO TOPOGRAFICO CORRESPONDIENTE



CURVAS DE NIVEL

Otro documento que se entrega al contratista y, que es de suma importancia, es el correspondiente a los datos de la curva masa, los cuales indican los movimientos de corte y terraplén que se deben realizar sobre el eje de la carretera, así como los bancos de préstamo y de desperdicio proyectados.

Dentro de los trabajos topográficos se tienen los correspondientes al trazo de la línea central de la carretera y la colocación de estacas para la guía y control de las operaciones de construcción de la misma. Las carreteras se proyectan y se estacan tomando en consideración sus alineamientos horizontal y vertical, así como sus secciones transversales.

El alineamiento horizontal es la ruta de la carretera tal como aparecería en un mapa, con suficiente detalle de tal forma que permita a los ingenieros en el campo y a los contratistas trazar y construir ésta como se ha proyectado. El alineamiento vertical es el perfil de la carretera que representa su ascenso y descenso, sin indicar si su trazo es recto o curvo; siempre se preparan dos perfiles, uno es el del terreno natural y otro el de la superficie del pavimento proyectado.

En lo que corresponde a las secciones transversales, en los planos se incluyen las secciones típicas de la carretera, que muestran los detalles del pavimento, su anchura y espesor, la anchura de la corona, de los acotamientos y de las cunetas, el bombeo, los taludes laterales y otros datos de construcción. El conocimiento de estas secciones es importante ya que sirven de guías para estacar y construir la carretera, además proporcionan los datos para trazar cortes y terraplenes.

### **II.1.1. TRAZO DE LA LINEA CENTRAL**

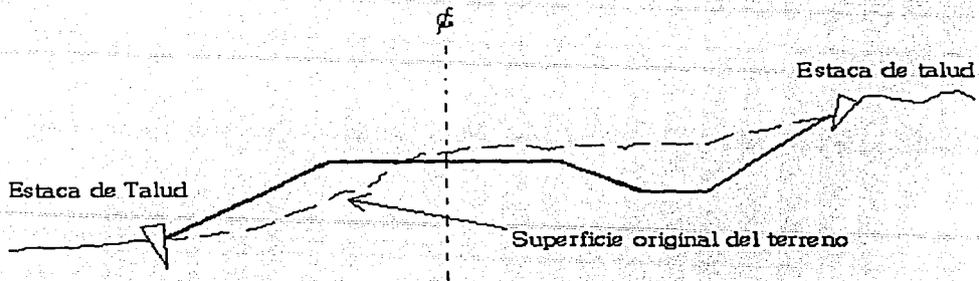
La línea central es básica para toda la carretera y todos los datos de construcción se refieren a ella. Se traza tomando como referencias ángulos y distancias de los puntos de la preliminar. La preliminar es una línea de apoyo que sigue la ruta general de la carretera y que puede quedar parcial o totalmente fuera del derecho de vía. Todas las distancias se miden a lo largo de la línea central y las estacas se localizan con referencia a ella, siendo varias líneas de construcción paralelas a la central, como lo son las del pavimento, acotamientos, cunetas y taludes. Es pues necesario verificar la localización de esta línea así como la ubicación y elevación de todos los bancos de nivel que sirvan de referencia.

### **II.1.2. ESTACAS DE TRAZO**

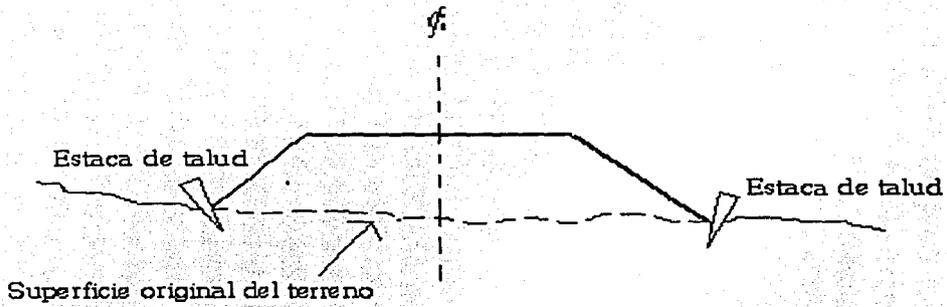
Las estacas sirven de guía al trabajo e interpretan los planos del proyecto. Las primeras estacas que se colocan en el lugar de la obra son las de la línea central, marcadas con el símbolo  $\zeta$ . Estas estacas muestran los espesores de corte y/o terraplén para llegar a la subrasante, llevan los datos de los cambios de dirección y rasante, así como la localización de alcantarillas, estructuras y otros detalles. Deben observarse además los datos puestos en cada estaca, de tal forma que no surjan equivocaciones entre los fijados para la subrasante y los correspondientes a la rasante, considerando que la subrasante es la superficie del suelo después de que se han efectuado los cortes, terraplenes, conformación y compactación y, ésta, es más baja que la rasante final y difiere en altura una cantidad igual al espesor del pavimento.

### **II.1.3. ESTACAS DE TALUD O CEROS**

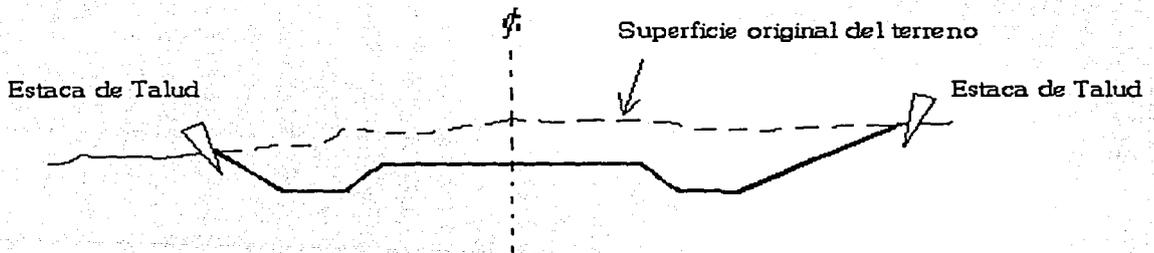
Son las primeras marcas que necesitan los operarios de maquinaria y definen los límites del trabajo y las áreas que hay que limpiar, es decir, donde se efectúan el desmonte y el despalme, así como la conformación del terreno. Se colocan en los puntos donde los taludes de los cortes o de los terraplenes cortan la sección transversal del terreno natural, generalmente a intervalos de 20m y a ambos lados de la carretera, y también en otros puntos donde cambia la inclinación del terreno. Las estacas de corte se inclinan hacia la línea central y las de terraplén hacia fuera de la misma. Cada estaca debe indicar el corte o terraplén que hay que hacer en relación con la cota de la subrasante para que quede a nivel el terreno con la línea central en ese punto. Además, las estacas de talud se marcan con el número de la estación, la distancia a la línea central y su posición con respecto a ésta.



SECCION EN BALCON O MIXTA



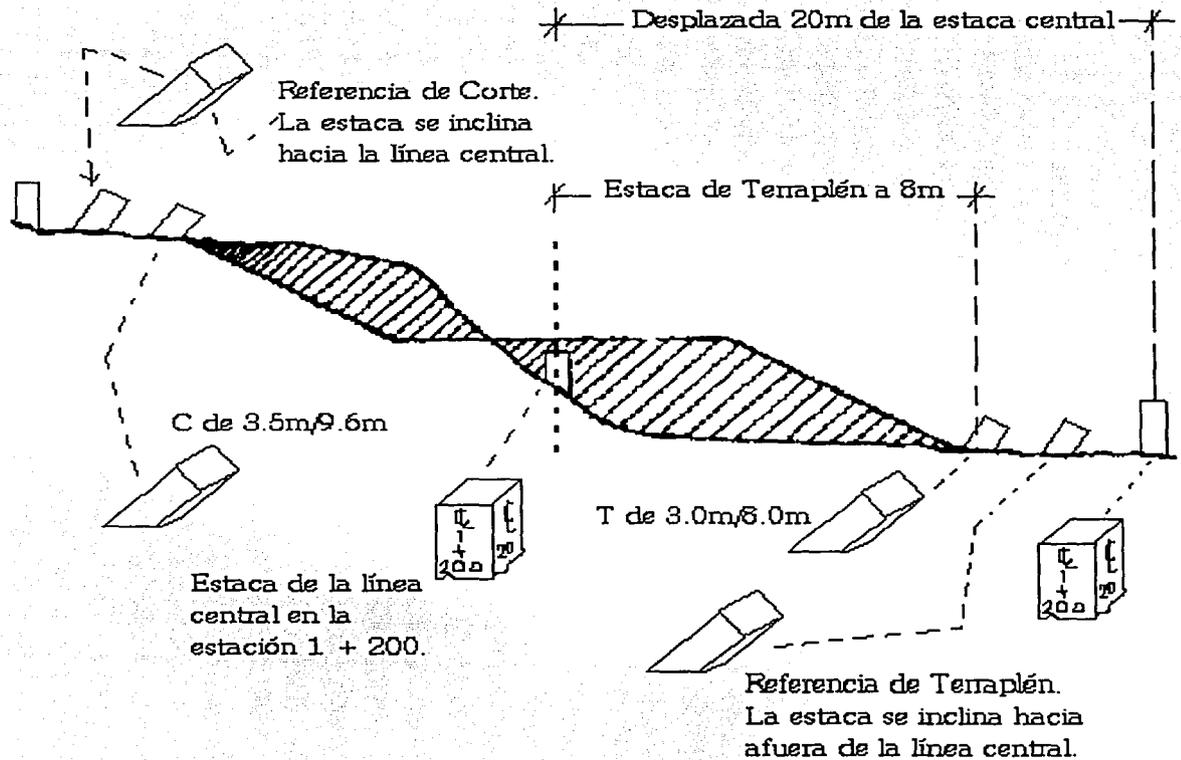
SECCION EN TERRAPLEN



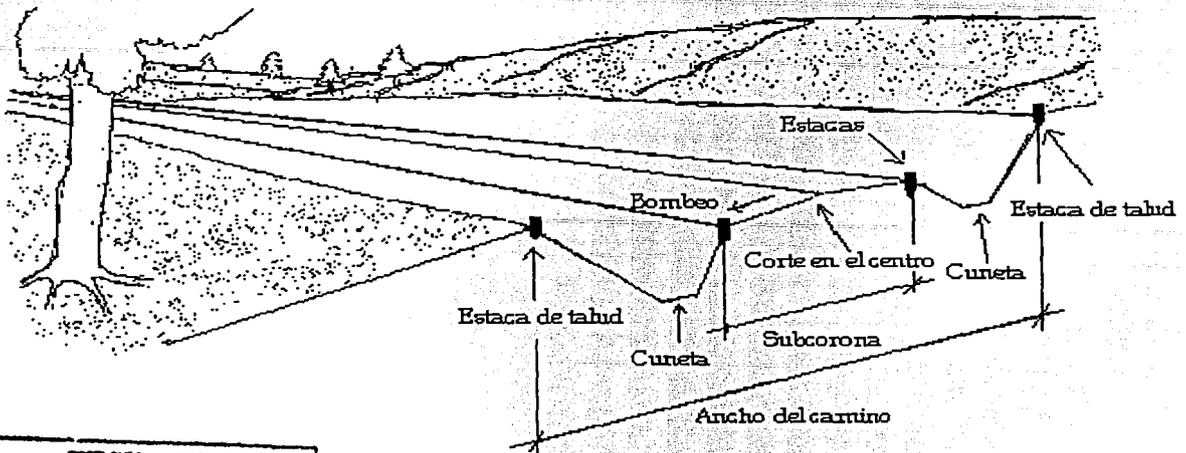
SECCION EN CORTE

### II.1.4. ESTACAS DE REFERENCIA

Estas estacas permiten reemplazar las que se muevan o pierdan durante la ejecución de los trabajos, que comúnmente sucede cuando las estacas donde hay corte se arrancan al hacer la excavación y las de los terraplenes quedan cubiertas por tierra. Por lo tanto, es conveniente colocar estacas de referencia bastante alejadas de las líneas de trabajo para facilitar la reposición de las estacas. Las estacas se marcan con la estación y la distancia que tienen con respecto a la línea central. Lo mismo sucede cuando las estacas de la línea central se pierden en las excavaciones gruesas y el trabajo entonces se guía por medio de las estacas de talud, siendo fácil poner y reconstruir nuevamente el trazo.

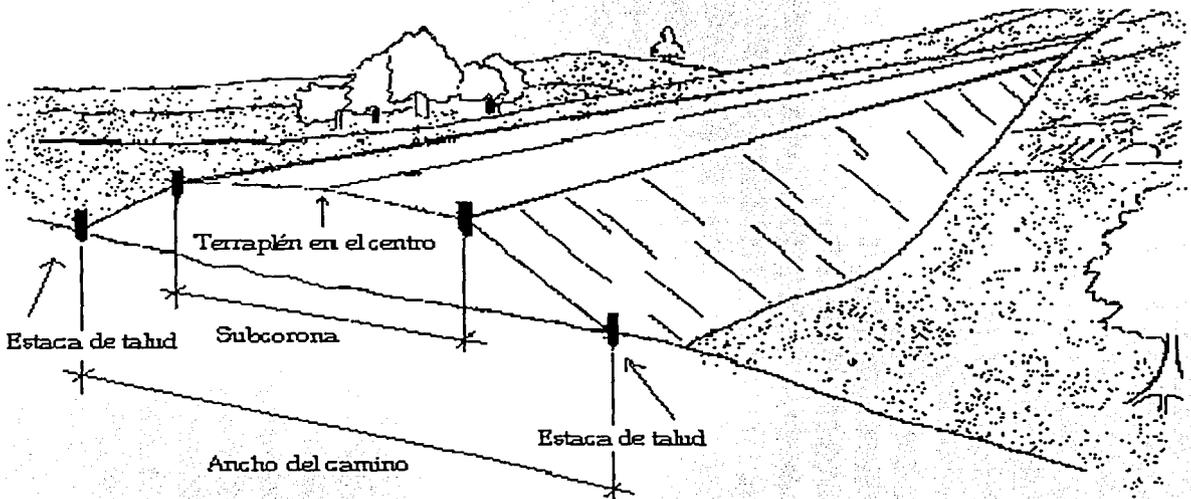


ESTACAS DE REFERENCIA



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

ESTACAS EN CORTE



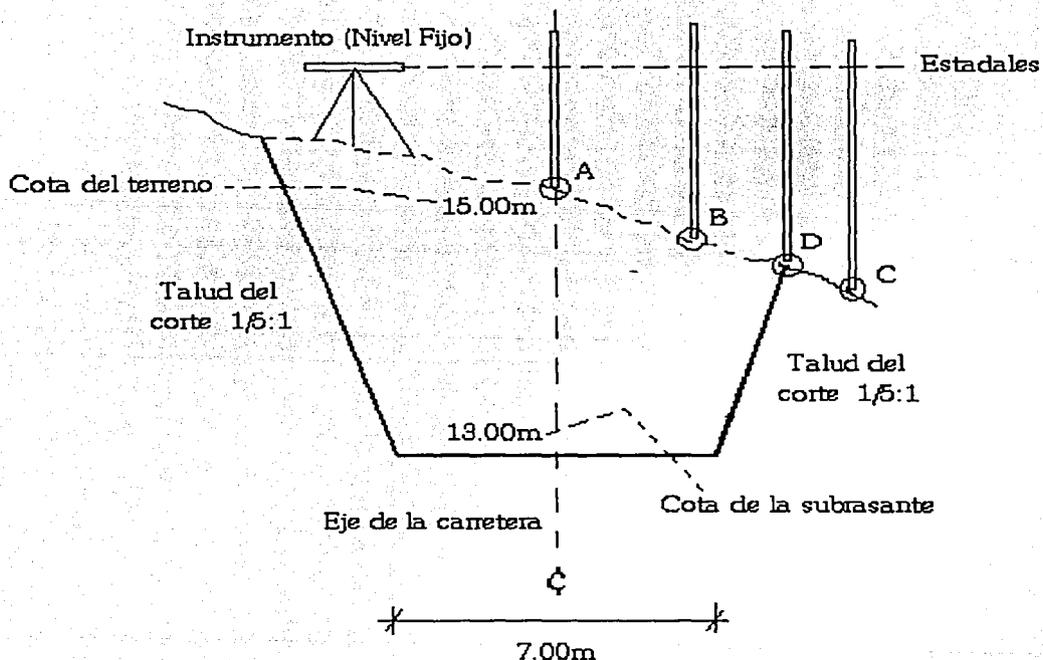
ESTACAS EN TERRAPLEN

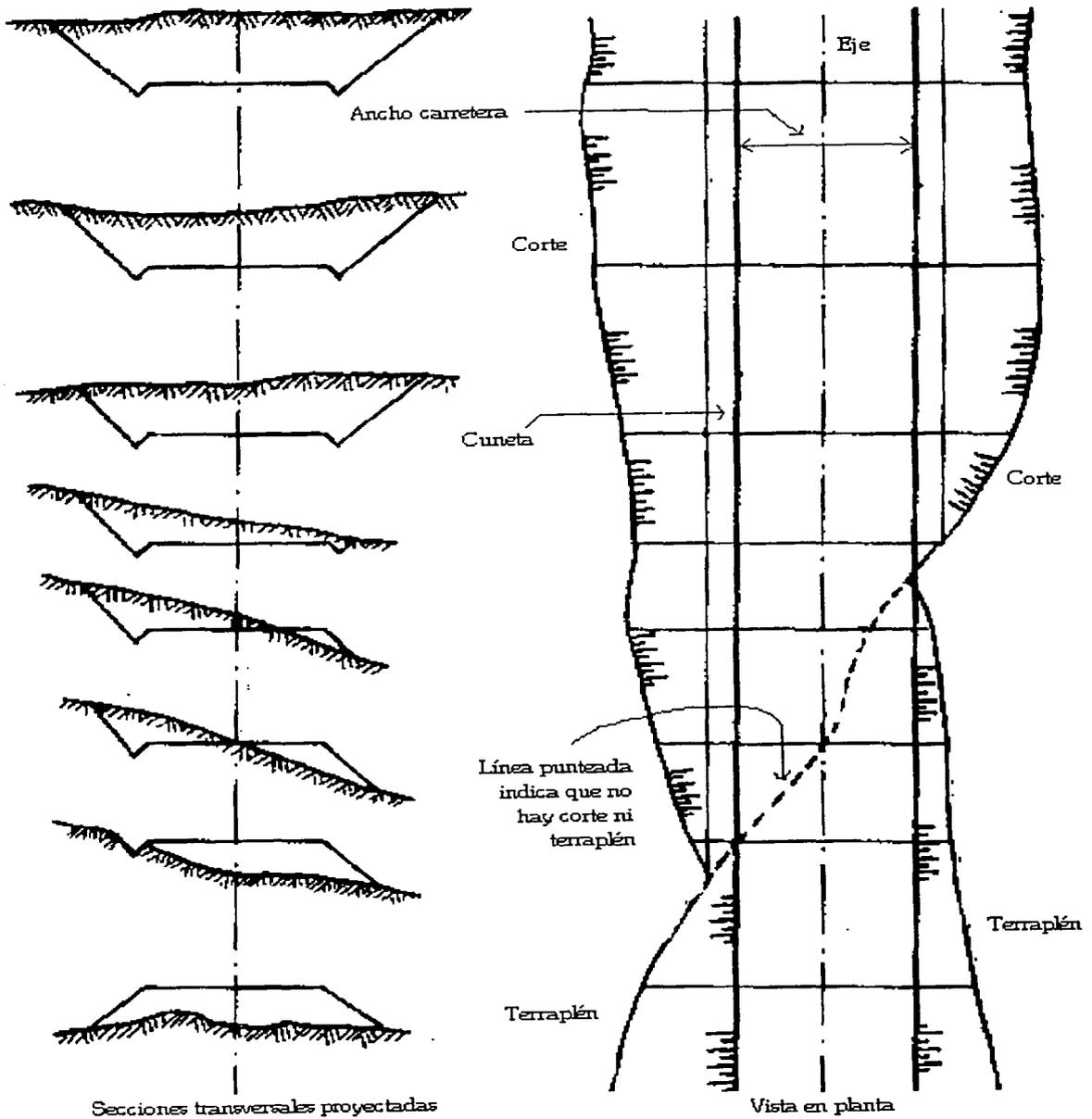
Pero, no todo el trabajo topográfico termina aquí, sino que también sigue en el transcurso de la construcción donde se realizan levantamientos periódicos para determinar el avance de la obra o las cantidades de pago parciales y, al terminar la obra se calculan las cantidades definitivas a partir del levantamiento de lo construido.

### II.1.5. FIJACION DE ESTACAS LATERALES

Si las terracerías deben ajustarse a un alineamiento y taludes dados, es necesario fijar estacas laterales para guiar la construcción. Así en una sección transversal para una carretera, se colocan las estacas donde los taludes del proyecto toquen la superficie del terreno. Si se dibujan todas las secciones transversales del terreno y en ellas se sobrepone la sección de proyecto, sólo se requiere medir a escala la distancia horizontal del eje a la intersección de los taludes con la superficie original del terreno, y después medir esta distancia en el campo con cinta. Sin embargo, las estacas laterales también pueden localizarse sin el dibujo de las secciones transversales mediante un procedimiento de tanteos.

Los datos que se llevan al campo son: la cota del terreno y la cota de la subrasante en el eje de la carretera, el ancho de la sección de la carretera y los taludes indicados para la sección transversal. En el caso de un corte, véase la figura inmediata y la posterior, para mostrar el ejemplo:





De la figura se obtienen:

Cota en A (eje de la carretera):	15.00m
Lectura del instrumento en A:	1.00m
Altura del instrumento:	$15.00 + 1.00 = 16.00\text{m}$
Ancho de la sección de la carretera:	7.00m
Talud del corte:	1/5:1
Cota de la subrasante:	13.00m

1er Tanteo:	Lectura del instrumento en B:	1.90m
	Cota en B:	$16.00 - 1.90 = 14.10\text{m}$
	Cota de la subrasante:	13.00m
	Profundidad del corte:	$14.10 - 13.00 = 1.10\text{m}$
	Distancia horizontal calculada:	$7.00/2 + (1.10/5) = 3.72\text{m}$
	Distancia horizontal medida:	3.50m. No concuerdan.

2do Tanteo:	Altura del instrumento:	16.00m
	Lectura del instrumento en C:	2.30m
	Cota en C:	$16.00 - 2.30 = 13.70\text{m}$
	Cota de la subrasante:	13.00m
	Profundidad del corte:	$13.70 - 13.00 = 0.70\text{m}$
	Distancia horizontal calculada:	$7.00/2 + (0.70/5) = 3.64\text{m}$
	Distancia horizontal medida:	3.95m. No concuerdan.

3er Tanteo:	Altura del instrumento:	16.00m
	Lectura del instrumento en D:	2.10m
	Cota en D:	$16.00 - 2.10 = 13.90\text{m}$
	Cota de la subrasante:	13.00m
	Profundidad del corte:	$13.90 - 13.00 = 0.90\text{m}$
	Distancia horizontal calculada:	$7.00/2 + (0.90/5) = 3.68\text{m}$
	Distancia horizontal medida:	3.68m. Si concuerdan.

A veces se requieren dos o tres tanteos antes de hallar la localización correcta de la estaca lateral, pero esta siempre se fijará en el punto donde la distancia medida sea igual a la distancia al eje calculada. Por tanto, para el ejemplo, la posición correcta de la estaca de corte hacia la derecha se encuentra a una distancia horizontal de 3.68m, medida a partir del eje de la carretera y, a una cota de 13.90m.

El espesor de corte en el centro se marca en la parte posterior de la estaca central. Cada estaca lateral tiene marcado su corte o terraplén en el lado que queda frente al eje y en el reverso el nombre de la estación.

En el caso de un terraplén el procedimiento es análogo, salvo que la lectura del terreno será menor que la lectura de la subrasante; esto permitirá determinar si un punto dudoso marca un corte o un terraplén. Por ello para evitar confusiones, se acostumbra restar la lectura de terreno a la lectura de la subrasante. Si el resultado es positivo, representa un corte; si es negativo, se refiere a un terraplén.

## **II.2. Desmonte y despalme**

Como operación previa a las actividades constructivas propiamente dichas, la construcción de terracerías requiere de una limpieza total del terreno natural, y ésta precede a cualquier excavación. Por tanto, el procedimiento de construcción inicial comienza en el terreno natural, el cual consta de desmonte y despalme, y en algunos casos de compactación.

El terreno natural es el sitio donde se desplantan las obras y, en nuestro caso, puede definirse como la franja de terreno incluida en el derecho de vía, cuyo estado de esfuerzo original resulta afectado por la construcción de la obra vial y que recibe las cargas de tránsito distribuidas a través de la estructura del pavimento.

Cuando el terreno natural tiene una compactación baja y está suelto, conviene compactarlo en un espesor mínimo de 30cm para darle la resistencia adecuada, aunque no siempre es necesario compactarlo, pues en ocasiones el tratamiento aplicado puede afectar su estructura.

### **II.2.1. DESMONTE**

Se entiende por desmonte el despeje de la vegetación existente en el derecho de vía y en las áreas destinadas a bancos de materiales, de acuerdo con lo fijado en el proyecto. Esta actividad comprende las operaciones siguientes: tala, roza, desenraíce, limpia y quema.

- **Tala.** Consiste en cortar los árboles y arbustos.
- **Roza.** Consiste en quitar la maleza, hierba, zacate o residuos de las siembras.
- **Desenraíce.** Consiste en sacar los troncos o tocones con raíces o cortando éstas.
- **Limpia y quema.** Consiste en retirar el producto del desmonte a un lugar indicado y quemar lo no utilizable.

Estas operaciones se ejecutan en zonas que pueden poseer diversos tipos de vegetación, como lo son en: manglar; selva o bosque; monte de regiones áridas o semiáridas y; monte de regiones desérticas, zonas cultivadas o de pastizales. En estas zonas pueden encontrarse desde las raíces predominantes en los pantanos, palmeras, cedros, arbustos y cactáceas hasta los sembradíos de maíz, zacate, etc.

Al efectuar el desmonte se cumplen varios objetivos, como son:

- Eliminar la presencia de material vegetal no deseable en la obra que pueda causar daños a la misma y evitar que se revuelva con el material destinado a la construcción.
- Aumentar la visibilidad en curvas horizontales, sobre todo en terreno plano con vegetación intensa.
- Permitir la operación de la maquinaria de construcción.
- Permitir la liga adecuada entre los terraplenes y el terreno natural.
- Evitar la caída posterior de árboles o ramas a la vía terrestre, al quedar aquellos muy cerca de los taludes de los cortes.
- Evitar el efecto de desarrollo de raíces que puedan afectar posteriormente la superficie de rodamiento, sobre todo en terraplenes muy bajos o en secciones desplantadas prácticamente sobre la tierra.
- Evitar problemas posteriores en los terraplenes al pudrirse los troncos o raíces que queden atrapados en o bajo de ellos.

### **II.2.2. DESPALME**

Una vez desmontado el terreno natural se procede a la extracción y retiro de una capa superficial que contenga materia vegetal y que por sus características sea inadecuada para la construcción de terracerías. El espesor de esta capa varía de 10 a 50cm y puede llegar como máximo a un metro, que es el caso cuando se presenta un espesor fuerte de material altamente compresible. Esta actividad cubre los siguientes objetivos:

- Evitar movimientos en los terraplenes, pues la cobertura vegetal superficial es un material esponjoso y compresible que puede afectar a los terraplenes de baja altura.
- Eliminar suelos inadecuados para la construcción en préstamos de materiales o en cortes en casos de compensación longitudinal.
- Eliminar materia orgánica vegetal susceptible de causar problemas por crecimiento posterior, bajo terraplenes de escasa altura.

El despalme se ejecuta en cortes, préstamos, bancos de materiales y desplante de terraplenes, así como en todas las áreas en donde las obstrucciones que se eliminan pueden interferir con el trabajo, pero únicamente en material tipo A y, además de ejecutarse el desmonte y el despalme dentro de los límites del derecho de vía, también se hacen más allá de los límites de las excavaciones y terraplenes, donde las superficies se someten a un desmonte y un despalme parcial o selectivo, en el cual se dejan en pie ciertos árboles y arbustos.

En estos trabajos debe fijarse la longitud del tramo por desmontar y despalmar adelante del frente de ataque, de tal forma que no impidan el avance de la construcción de terracerías; siendo debidamente planeada su terminación cuando menos a un kilómetro adelante del frente de ataque.

Las operaciones de desmonte y despalme generalmente se ejecutan con máquinas, entre las cuales el equipo básico son los tractores con sus diferentes accesorios y herramientas. Pueden llegar a usarse también herramientas menores como sierras de potencia y similares.

### **II.3. Excavaciones**

Se entiende por excavación el procedimiento de remover y extraer la tierra o la roca de su lugar original y transportarla a un terraplén o a un depósito de desperdicio. En la construcción de terracerías las excavaciones son a cielo abierto y, generalmente, la mayoría de ellas se refieren a cortes, no siendo tan comunes los trabajos a la par en excavaciones de canales.

Esta actividad es una de las más laboriosas, la cual implica grandes movimientos de tierra. Se efectúa en diversos tipos de materiales los cuales pueden encontrarse en condiciones naturales variadas, como por ejemplo en seco, en agua o en fango.

Cuando la excavación es en seco, puede profundizarse y trabajarse en ella en forma cómoda y eficiente, pero con la presencia de agua se dificulta extraordinariamente o se imposibilita el progreso de la excavación. Entonces, es necesario eliminar temporalmente la presencia de agua para poder continuar con los trabajos y ello se logra utilizando por ejemplo las zanjas colectoras, pozos de captación, o bien, empleando equipo y maquinaria adecuada para ejecutar la construcción, como equipo de bombeo o la retroexcavadora. En el caso de fango, debido a su contenido excesivo de agua y suelo indeseable y, su falta de estabilidad bajo carga, rara vez puede utilizarse como material para formar un terraplén. Aunque pueden cambiarse las características de éste estabilizándolo con otro material, de tal manera que pueda llegar a emplearse posteriormente.

Por otra parte, los materiales excavados se han clasificado de acuerdo a la dificultad que presentan en su extracción y carga en tres tipos:

- ◆ Material tipo A
- ◆ Material tipo B
- ◆ Material tipo C

Clasificación que también se utiliza para establecer un procedimiento de pago de excavaciones.

**MATERIAL TIPO A.** Puede ser eficientemente excavado con motoescrepa de 90 a 110 caballos de potencia sin auxilio de arados o tractores empujadores, aunque ambos se utilicen para obtener mayores rendimientos. El material excavado es blando o suelto. Se consideran los suelos poco o nada cementados, con partículas hasta de 7.6cm. Como ejemplo están los suelos agrícolas, los limos y las arenas.

**MATERIAL TIPO B.** Es el que por su dificultad de extracción y carga sólo puede ser excavado eficientemente con un tractor de orugas con cuchilla de inclinación variable de 140 a 160 caballos de potencia, sin el uso de arados o explosivos, aunque por conveniencia se utilicen éstos para aumentar la producción o el rendimiento. Se consideran dentro de este tipo las piedras sueltas menores de 75cm y mayores de 7.6cm, siendo las más comunes las rocas muy alteradas, los conglomerados medianamente cementados, las areniscas blandas y los tepetates.

**MATERIAL TIPO C.** Por su dificultad de extracción, sólo puede ser excavado mediante el empleo de explosivos. Se consideran dentro de este material las piedras sueltas con un tamaño mayor a los 75cm. Entre los materiales clasificables como material C, se encuentran las rocas basálticas, las areniscas y conglomerados fuertemente cementados, calizas, riolitas, granitos y andesitas sanas.

También existen clasificaciones intermedias para los materiales con las características siguientes:

- ◆ Materiales que presentan mayor dificultad de extracción que los descritos como material A, pero menor que los descritos como material B.
- ◆ Materiales que presentan mayor dificultad de extracción que los descritos como material B, pero menor que los descritos como material C.

A estos materiales se les fija un porcentaje de material A y B o B y C, respectivamente, en proporción con las características medias del material de que se trate.

Al momento de hacer la clasificación, siempre se mencionan los porcentajes de los tres tipos de materiales que contiene el excavado, es decir, A%-B%-C%, por ejemplo: un material suelto y blando, con partículas menores de 7.6cm, se clasifica 100-0-0, correspondiendo el primer número al material tipo A y los ceros a los materiales tipo B y C. Para un material intermedio su clasificación es 50-50-0, donde los materiales extraídos se encuentran entre los tipos A y B.

Otro ejemplo lo es cuando una capa de material A con clasificación 100-0-0, cuyo volumen equivalente es del 30% del total, colocada sobre un material que representa una clasificación intermedia entre B y C 0-50-50, en donde el volumen total entonces se clasificará como 30-35-35. Sin embargo, se presentan ocasiones en las cuales no es posible hacer una clasificación por separado de cada uno de los materiales encontrados, por lo que entonces se fija a todo el volumen una clasificación representativa de acuerdo a la dificultad de extracción y carga que se haya presentado, considerando siempre a los tres tipos de materiales A, B y C.

### **II.3.1. EXCAVACIONES PARA CANALES**

Son realizadas para formar la sección de las contracunetas, cunetas, de cauces artificiales y de rectificación de cauces naturales, si así lo requiere el proyecto de construcción dentro del derecho de vía. Se ajustan a procedimientos de construcción que siguen un sistema de ataque de tal forma que facilitan el drenaje natural de la propia excavación, afinando los taludes y el fondo de la misma de acuerdo con la sección y la pendiente fijadas en el proyecto; los materiales resultantes de la excavación se utilizan o se depositan en los lugares más adecuados.

### **II.3.2. EXCAVACIONES EN CORTES**

Tienen como objeto el preparar y formar la sección transversal de la carretera, incluyendo todo el trabajo necesario para la construcción y acabado de los cortes, terraplenes, taludes y accesos, de acuerdo con las indicaciones de construcción fijadas en el proyecto. Se consideran también los trabajos en derrumbes, escalones y ampliación o rebaje de la corona y de los taludes en caminos existentes. Las excavaciones en cortes pueden ser laterales y en cajón.

#### **II.3.2.1. CORTES LATERALES**

Generalmente se efectúan en lomeríos o en terrenos montañosos, donde las carreteras forman un escalón en las laderas, quedando un talud ascendente en uno de los lados y en el otro descendente; esto es, cuando el escalón forma la sección en su mayor parte o por completo en el corte y el material obtenido se usa cerca de la obra lateralmente, con el fin de ampliar la magnitud del escalón y entonces pueda operar la maquinaria.

La sección de la carretera puede construirse excavando el lado alto y emplear el material excavado para formar el otro inferior. Una vez que se inicia el ataque del corte, las características del material determinan cuando deban usarse maquinaria o explosivos. Si las laderas están compuestas por arcilla dura o roca blanda, la extracción puede hacerse con maquinaria pero, si la roca es dura conviene dinamitarla evitando aflojar el material de los taludes más allá de la superficie fijada en el proyecto; de lo contrario todo el material que se derrumbe deberá removerse y por tanto repararse la obra. Aunque el grado de inclinación de la ladera es también un factor que define la posibilidad de utilizar equipo y maquinaria de construcción.

### *II.3.2.2. CORTES EN CAJON*

Son excavaciones de cortes en terrenos a nivel para construir la sección de la obra. Tienen una pared elevada a cada lado de manera que no se pueden hacer desperdicios laterales. Si el corte se hace en una ladera, un talud estará más alto que el otro y, la parte del corte que queda arriba del talud bajo, es en realidad un corte en ladera pudiendo excavarse como tal o como corte en cajón.

Dentro de estos cortes entran los ataques a afloramientos de roca a lo largo de la línea de la carretera, los cuales deben excavarse mediante el uso de explosivos para que después la maquinaria pueda iniciar con su trabajo.

Los materiales producto de estos cortes también pueden utilizarse en diferentes tramos de la carretera. Por ejemplo, las excavaciones pueden proporcionar materiales adecuados para la subrasante, la parte superior del suelo puede utilizarse para la conformación de los taludes laterales y en trabajos de naturaleza similar.

En el caso de encontrarse materiales inadecuados en los cortes o secciones de terraplén, por lo regular, se toman las medidas necesarias para su remoción y reemplazo con materiales satisfactorios.

Al momento de efectuar los cortes debe considerarse lo correspondiente al drenaje natural de los mismos. Las cunetas se construyen oportunamente de tal forma que su desagüe no perjudique ni cause daño a los cortes ni a los terraplenes y las contracunetas se hacen cuando se efectúa la excavación en los cortes. En cuanto a otros trabajos como alcantarillas y muros de sostenimiento, su construcción deberá de estar terminada delante de 500m de cada frente de ataque para que no se retrasen los trabajos de terracerías.

A su vez, en los cortes en material tipo C, y cuando en el proyecto de construcción se fije también en materiales tipo A y B, la excavación debe hacerse hasta una profundidad de 30cm debajo de la subrasante de proyecto, para poder formar una cama de material adecuado, no debiendo quedar salientes de roca de más de 15cm; en casos especiales se puede aumentarse o disminuirse la profundidad de excavación.



Foto II.1. Excavación de un corte lateral.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Foto II.2. Excavación en un corte lateral.



Foto II.3. Excavación de un corte en cajón.



Foto II.4. Excavación de un corte en cajón.

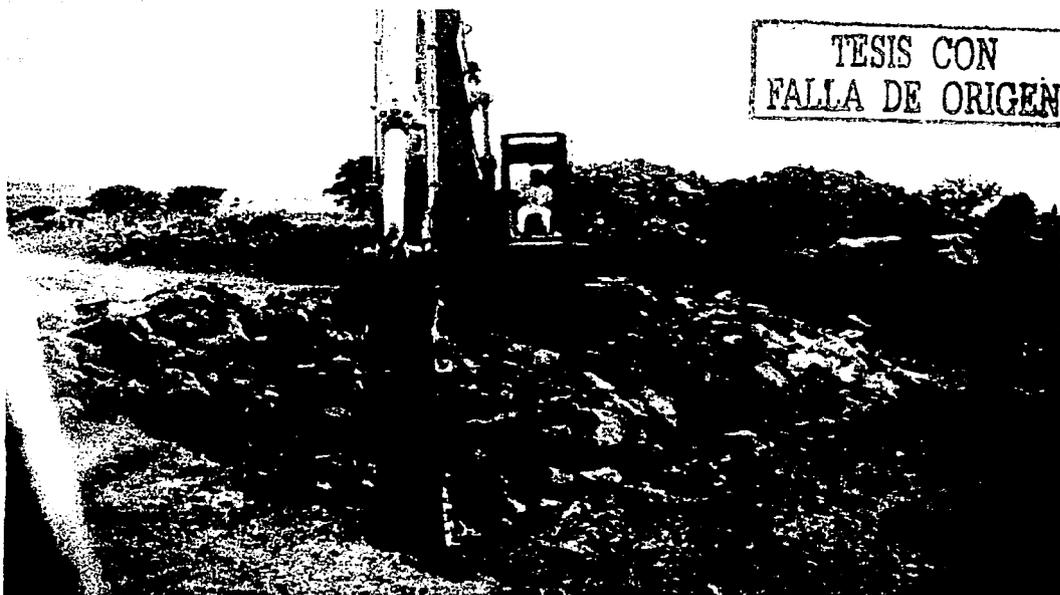


Foto II.5. Excavación en un afloramiento de roca.



Foto II.6. Excavación de un corte en cajón.

Otro punto importante dentro de la excavación en cortes es el de estabilidad de sus taludes. A diferentes grados de inclinaciones del talud corresponden diferentes masas de material por excavar y, por lo tanto, diferentes costos. Los taludes de las laderas naturales difieren con respecto a los taludes artificiales de los cortes; en éstos, no existe la posibilidad de mantener un control del material con el que se trabaja porque las laderas tienen una estructura ya formada y existen muchas variantes en los materiales que se reflejan en la estructura final a que se llegue y en todos los aspectos de su comportamiento posterior a la construcción.

En cortes los taludes usuales son de 0 para el caso en que el material a excavar sea roca firme, de  $\frac{1}{4} : 1$  para material estratificado y consolidado y, de  $\frac{1}{2} : 1$  en tepetates, arcillas o rocas fisuradas. Pero estos taludes suelen variar dependiendo del material con que se trabaje.

Existen varios métodos de análisis de estabilidad de taludes para poder determinar el grado de inclinación apropiado y poder definir tal en el proyecto de construcción, de tal forma que el talud a construirse cumpla con requisitos de estabilidad, seguridad y económicos. Claro está que no siempre puede estudiarse de forma completa toda la línea donde se construirá la carretera, pero si pueden estudiarse previamente aquellos casos especiales que merezcan estudios detallados antes de iniciar la construcción de la misma y poder evitarse después problemas de reconstrucción.

Para dar por terminado un corte, normalmente se verifican el alineamiento, el perfil y la sección transversal en su forma, anchura y acabado de acuerdo con las indicaciones dadas en el proyecto, dentro de las tolerancias siguientes:

- ⇒ Niveles de la subrasante: +3cm
- ⇒ Ancho de la excavación, al nivel de la capa subrasante, del centro de línea a la orilla: +10cm
- ⇒ Salientes aisladas, con respecto a la superficie teórica del talud:
  - En material tipo A o B: 10cm
  - En material tipo C: 50cm

Finalmente, dentro de la amplia gama de máquinas que existen para efectuar esta actividad se tienen los tractores, las retroexcavadoras, las palas mecánica e hidráulica, la draga de arrastre y las motoescrepas.

## **II.4. Terraplenes**

En la construcción de carreteras, los terraplenes se usan cuando se requiere elevar la rasante del camino a una altura sobre el nivel de la superficie del terreno natural existente o, para añadir resistencia a los terrenos muy inestables para soportar la estructura del pavimento y las cargas debidas al tránsito.

Dentro de los terraplenes se consideran también como parte de los mismos, las cuñas contiguas a los estribos de puentes y de pasos a desnivel, la ampliación de la corona, el tendido de los taludes y la elevación de la subrasante en terraplenes existentes y, el relleno de excavaciones adicionales debajo de la capa subrasante en cortes.

Antes del proceso de construcción del terraplén, debe desmontarse y despalmarse el terreno natural, recordando que éstas actividades sólo pueden efectuarse en material tipo A; y que además, deben rellenarse los huecos motivados por el desenraíce, escarificando y compactando el terreno natural o el despalmado, en el área de desplante del terraplén y en el espesor ordenado hasta alcanzar el grado de compactación fijado en el proyecto.



Foto II.7. Formación de un terraplén de acceso a un puente.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Los terraplenes deben terminarse hasta la capa subrasante, utilizando materiales adecuados provenientes de las excavaciones efectuadas a lo largo del camino como de cortes o de préstamos (estos sitios de excavación son fijados en el proyecto). La capa subrasante tendrá como mínimo 30cm de espesor y deberá formarse con una o con varias capas de material seleccionado, de espesor parcial fijado en el proyecto, las cuales se compactarán hasta alcanzar el grado adecuado. Además, siempre que la topografía del terreno lo permita, los terraplenes se construirán por capas sensiblemente horizontales en todo el ancho de la sección y de un espesor aproximadamente uniforme. En el caso de que se efectúen cortes con excavación adicional debajo de la subrasante, ésta se obtendrá construyendo un terraplén de relleno sobre la cama con material adecuado. Si el caso fuera contrario, es decir, en la excavación de un corte en que no se haya ordenado excavación adicional ni relleno, se escarificará la cama y se compactará en el espesor y con el grado de compactación fijado.

Por ello para la correcta construcción de los terraplenes debe utilizarse maquinaria de construcción adecuada, como motoescrepas, tractores, motoconformadoras y equipo de compactación.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Foto II.8. Cuña contigua al estribo de un puente.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Foto II.9. Terraplén de acceso a un puente.



Foto II.10. Formación de capa subyacente.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Foto Il.11. Terminación de los trabajos de terracerías.

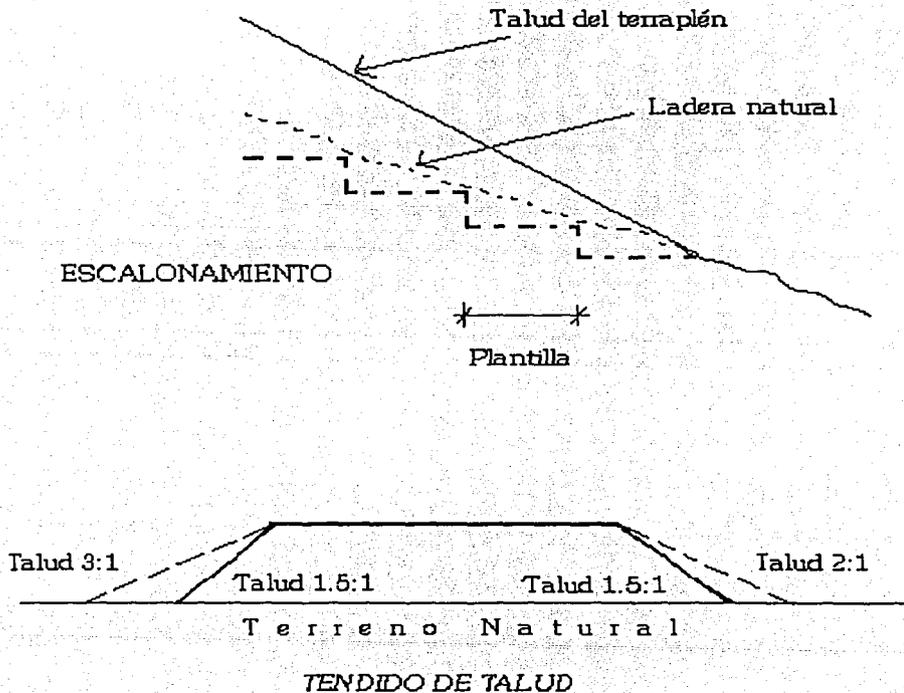
Cuando en la carretera se hacen cortes muy gruesos y no existe la necesidad de ocupar el material para formar un terraplén, el material excedente se desperdicia acarreándolo a tiraderos fuera del camino. Muchas veces es preferible el desperdicio a tener que elevar los niveles de la subrasante, debido a la economía que resulta en cuanto al costo de la compactación del terraplén, aunado a que los terraplenes de gran altura pueden requerir de un ancho de vía más amplio para evitar que sus taludes sean empinados y peligrosos.

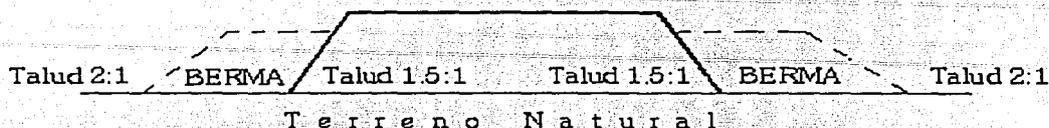
En el diseño previo a la construcción de tales estructuras, se consideran factores como estabilidad del terreno natural o de cimentación, estabilidad de los taludes y la selección de los materiales adecuados para su formación. En cuanto al terreno natural, o de cimentación, en donde se alojará el cuerpo del terraplén, es necesario un estudio previo a la etapa de construcción, ya que el conocimiento de las propiedades del terreno de apoyo determinará el comportamiento estructural de las terracerías de la carretera. La interacción del terreno natural y de la superestructura del camino afecta de tal manera al comportamiento conjunto, que es realmente importante el estudio de los métodos disponibles para mejorar el terreno cuando sea desfavorable. Cuando el terreno está constituido por roca, los problemas no son serios, pues la carretera le transmite esfuerzos de muy baja intensidad en comparación con la resistencia del material pero, cuando el terreno está constituido por suelos (que suelen proporcionar apoyo suficiente) existen condiciones que plantean problemas de proyecto y construcción.

Generalmente, los procedimientos requeridos para el mejoramiento de las propiedades estructurales del terreno natural son detallados y costosos. Dentro de éstos tenemos por ejemplo: el uso de materiales ligeros, el uso de drenes verticales de arena, la remoción del material compresible, la flotación o compensación, la compensación total o parcial de la carga del terraplén, entre otros.

Es común que en la excavación de cortes y en la construcción de terraplenes en terrenos con pendiente transversal fuerte exista el peligro de que éstos últimos se deslicen ladera abajo. El escalonamiento en forma adecuada puede combatir estos problemas. Los escalones de huella horizontal y peralte vertical proporcionan al terraplén apoyo horizontal y deben construirse de tal forma que permitan las maniobras del equipo de construcción.

Por ejemplo, en laderas cuya pendiente sea igual o mayor de 25%, para obtener una buena liga entre los terraplenes y el terreno natural, se construyen escalones con una plantilla de 2.50m cuando el material excavado es del tipo A o B. También pueden construirse bermas, o bien, tenderse más los taludes de los terraplenes, para evitar fallas posteriores.





### CONSTRUCCION DE BERMAS EN TERRAPLEN

Otro problema que se presenta en la construcción de terracerías es cuando éstas tienen que construirse sobre suelos blandos o pantanosos, donde el nivel del agua freática puede dañar a las mismas provocando hundimientos razonables. La magnitud y naturaleza del problema que se pueda tener en cada caso dependerá de las dimensiones del terraplén, las características del terreno natural de apoyo y de los materiales de construcción, del programa de construcción y de la localización. Para la construcción de los terraplenes en suelos blandos, pueden seguirse diferentes procedimientos, como: remoción por medio de excavación parcial o completa o desplazamiento por el peso del terraplén, con o sin sobrecargas o con explosivos. También pueden emplearse diversos tratamientos sobre el terreno natural como una construcción anticipada o por etapas, además de los métodos mencionados anteriormente.

Como puede verse, existen infinidad de métodos de mejoramiento, pero ninguno de los mencionados constituye una solución universal, de manera que en cada caso será preciso analizar todas las circunstancias particulares, a fin de escoger la solución o combinación de soluciones más convenientes. Siendo recomendable que en los casos posibles en que se encuentren suelos extremadamente débiles a cierta profundidad se considere la localización de una nueva ruta, o bien, aceptar los peligros y altos costos que ello implicaría.

Por otra parte, los taludes de los terraplenes son un punto importante en la construcción de terracerías. Hablar de estabilidad de taludes es referirse al grado de inclinación más apropiado para un corte o un terraplén. Los problemas relacionados con la estabilidad de los taludes artificiales de los cortes y los terraplenes son diferentes. Esta diferencia radica en la naturaleza de los materiales involucrados. Los terraplenes constituyen una estructura que se construye con un material relativamente controlado; en los cortes, como ya se explicó anteriormente, no existe tal posibilidad. Siendo entonces que la naturaleza de los materiales es básica para plantear y definir el problema de estabilidad del talud, el cual se verá reflejado en la forma final que adopte el terraplén y en su comportamiento futuro.

Como los taludes de los terraplenes se diseñan también en base a los materiales del terreno natural y los de relleno, la práctica recomienda el uso de inclinaciones de 1.5:1, 2:1 y 3:1; aunque los ingenieros especialistas en el tema, en base a estudios previos, son los que se encargarán de presentar las recomendaciones de los taludes para los cortes y los terraplenes, que sean más convenientes al proyecto..

Para dar por terminada la construcción de un terraplén, incluyendo su afine, deben verificarse el alineamiento, el perfil y la sección de su forma, anchura y acabado dentro de las tolerancias que se indican enseguida:

- ⇒ Niveles en subrasante:  $\pm 3\text{cm}$
- ⇒ Ancho de la corona, al nivel de subrasante, del centro de línea a la orilla:  $+10\text{cm}$
- ⇒ En los taludes o el ancho entre el centro de línea y las líneas de los ceros:
  - En material A o B  $+ 30\text{cm}$
  - En material C  $+ 75\text{cm}$

## **II.5. Préstamos y acarreos**

### **II.5.1. PRESTAMOS**

Cuando se requiere obtener material adicional para tramos de terraplén se recurre a la extracción del mismo a lo largo de la línea de la obra y, si este volumen de material es apropiado para la construcción, las terracerías son compensadas y el volumen de corte que no se usa se considera como desperdicio. Pero cuando el material proveniente de las excavaciones realizadas dentro de los límites del derecho de vía no es suficiente para la formación de terraplenes es necesario extraer materiales apropiados fuera de la línea de trabajo, esto es, en zonas de préstamos.

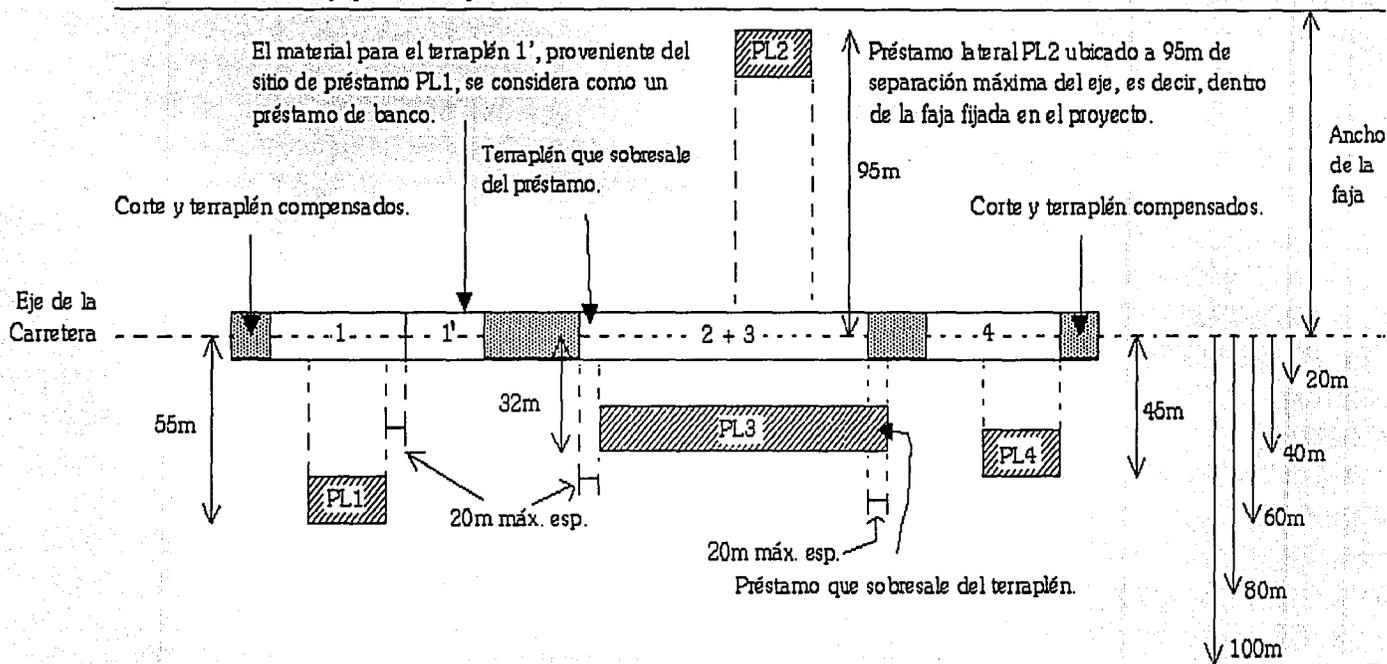
Los préstamos son excavaciones ejecutadas en los lugares fijados por el proyecto, a fin de obtener los materiales para formar los terraplenes no compensados y pueden ser de dos tipos: laterales y de banco.

#### **II.5.1.1. PRESTAMOS LATERALES**

Son los ejecutados dentro de fajas ubicadas fuera de los ceros, en uno o en ambos lados del eje de las terracerías y dentro de los límites del derecho de vía, con anchos determinados en el proyecto y cuyos materiales se utilizan únicamente en la formación de aquellos terraplenes situados lateralmente a dichos préstamos, pudiendo sobresalir los extremos de unos u otros, en cada caso, hasta 20m. Para cada tramo cada faja con su ancho previamente fijado. El ancho de cada faja, como se indica en la figura correspondiente, puede ser hasta de 20, 40, 60, 80 o 100m como máximo.

## PRESTAMOS LATERALES

Límite máximo de la faja para ubicar préstamos laterales.



Límite máximo para ubicar la faja de los préstamos laterales.

Es necesario mencionar que este tipo de préstamos sólo deben de emplearse cuando produzcan materiales de calidad, sean fáciles de drenar las zanjas a que dan lugar y quede razonable distancia de la vía terrestre.

#### **II.5.1.2. PRESTAMOS DE BANCO**

Son los ejecutados fuera de la faja de 100m de ancho. También se consideran las excavaciones ejecutadas dentro de las fajas fijadas para préstamos laterales, cuyos materiales se empleen en la construcción de terraplenes que no estén situados lateralmente a dichos préstamos, tomando en cuenta la tolerancia de 20m fijada anteriormente.

La localización de los bancos debe ser tal que proporcionen materiales con características apropiadas para ser explotados, acarreados y tendidos sobre la línea de construcción.

Como ya se ha mencionado, en el sitio de los préstamos se efectúan previamente el desmonte y el despalme, los cuales se inician después de que se haya seccionado la superficie de ataque. Debe tenerse cuidado de no alterar o modificar las referencias o bancos de nivel que definen el seccionamiento antes y después de realizadas estas actividades. Posteriormente el contratista puede entonces ejecutar la excavación cuando el préstamo este trazado y seccionado correctamente. Además, las condiciones del banco durante y después de la construcción deben ser tales que no se colecte y almacene agua en ellos.

Para la correcta ejecución de esta actividad pueden emplearse tractores, retroexcavadoras, palas mecánica e hidráulica, motoescrepas y cargadores frontales, entre otras máquinas.

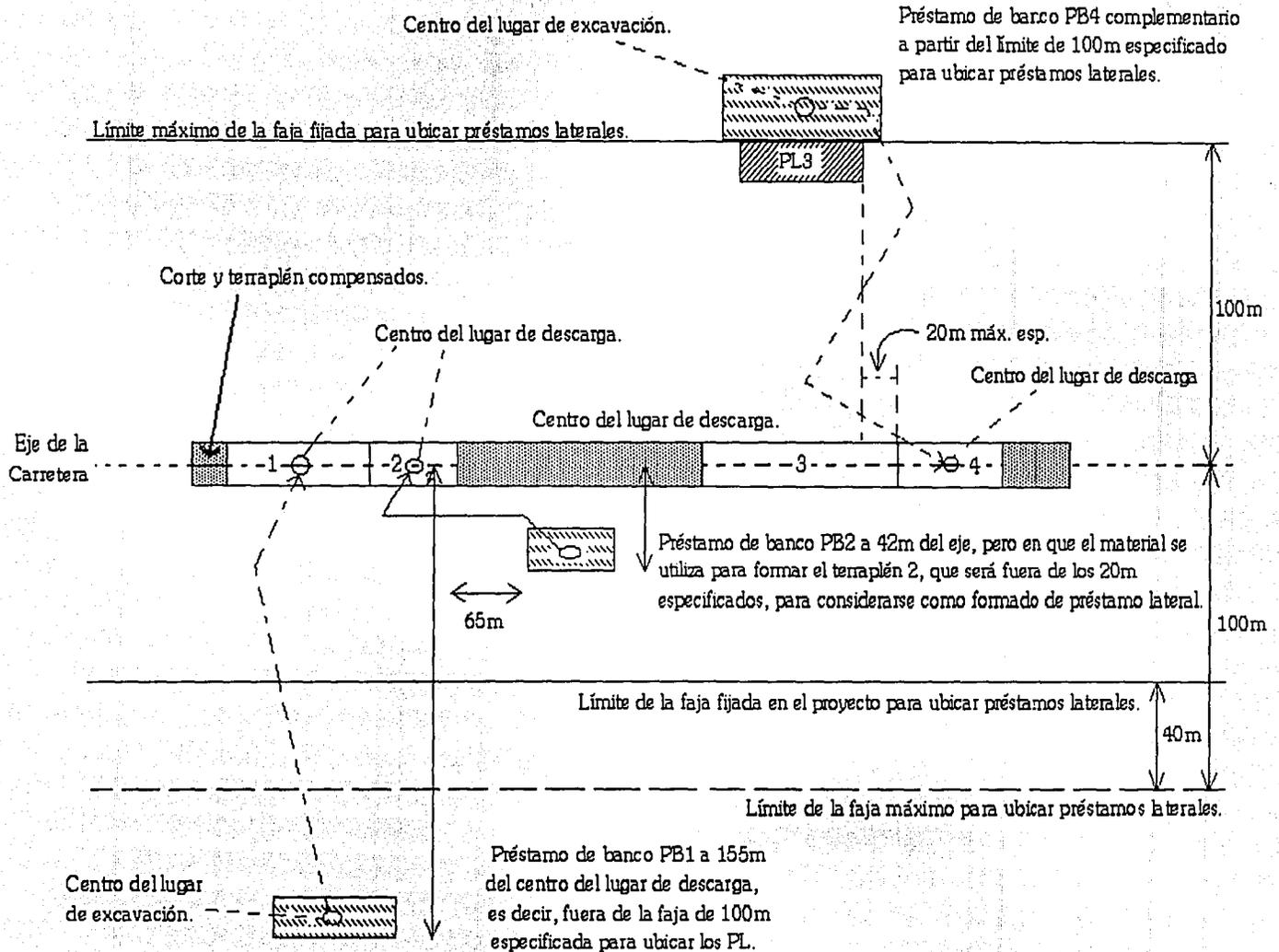
#### **II.5.2. ACARREOS**

Son los transportes del material producto de: cortes, excavaciones adicionales abajo de la subrasante, ampliación y/o abatimiento de taludes, rebaje de la corona de corte y/o terraplenes existentes, escalones, desmontes y despalmes, préstamos, derrumbes y canales, para construir un terraplén o efectuar un desperdicio. Se consideran dentro de estos el transporte del agua empleada en la compactación de terracerías.

##### **II.5.2.1. ACARREO LIBRE**

En la construcción de terracerías donde se manejan volúmenes considerables, la longitud del acarreo necesario para colocar los materiales de excavación para los terraplenes, ejerce una influencia importante en la economía de la obra. Debido a que ocurren variaciones considerables en la longitud del acarreo del material excavado, es común considerar dentro del precio de excavación el acarreo del material a cierta distancia que se denomina distancia de acarreo libre. Esta distancia es de 20m y es a la que cada m<sup>3</sup> de material puede ser movido sin que se haga un pago adicional.

# PRESTAMOS DE BANCO



### II.5.2.2. SOBREACARREO

Frecuentemente en la obra se presenta la necesidad de mover los materiales excavados más allá de la distancia de acarreo libre. A esta operación se le conoce como sobreacarreo y es el transporte de los materiales ya sea del corte o de un préstamo a mayor distancia que la del acarreo libre.

Los acarreos pueden efectuarse con la ayuda de maquinaria diversa. Para acarreos cortos es útil el tractor con oruga o neumáticos; para los moderados y más largos las motoescrepas son recomendables y, para transportes a distancias considerables pueden emplearse los camiones de volteo y los fuera de carretera.

## II.6. Reafinamiento

Se entiende por reafinamiento a las excavaciones y movimiento de materiales con un volumen total hasta de 3000m<sup>3</sup> por kilómetro, necesarios para afinar, rehacer o modificar la sección de proyecto de las terracerías de una carretera, ya atacadas o terminadas y recibidas con anterioridad.

Los trabajos de afines pueden haber sido ya realizados en las actividades de ejecución de excavaciones en cortes o construcción de los terraplenes pero, en otras ocasiones, probablemente se dejen estas labores de afinamiento para antes de la conformación de las capas subyacente y subrasante, lo cual es necesario como una de las actividades previas a la construcción del pavimento.

El arreglo de los taludes en cortes y terraplenes y las operaciones de nivelación son necesarios para que la sección transversal de la carretera sea terminada adecuadamente, incluyendo la terminación final de la capa subrasante, para evitar el trabajar sobre la superficie ya compactada y que posteriormente en la etapa de pavimentación ocurran derrumbes o desmoronamientos de rocas o tierra que puedan afectar los trabajos realizados en ese momento o después.

En ocasiones también puede presentarse el caso en que se tengan que rehacer o modificar secciones transversales que hayan sufrido cambios de último momento. Por lo que la maquinaria tendrá que realizar nuevos cortes o afines a taludes, tendido de materiales, etc. Lo cual puede aumentar de cierta forma el costo de los trabajos al ser éstos modificados nuevamente. Además, pueden presentarse casos en que la construcción de la carretera implique ampliar una ya existente, para la cual, se tienen que modificar las secciones transversales de la anterior para que se apeguen a las del nuevo proyecto.

Finalmente, la herramienta de más amplia utilización en la ejecución de la mayoría de las operaciones de reafinamiento es la motoconformadora aunque en ocasiones se emplean los tractores.

III

***MAQUINARIA DE  
CONSTRUCCION EMPLEADA***

**capítulo III****MAQUINARIA DE CONSTRUCCION  
EMPLEADA**

En las obras de Ingeniería Civil referentes a la construcción de carreteras, se utilizan como materiales básicos los diferentes tipos de suelos encontrados en la naturaleza, empleándolos en forma de rocas, gravas, arenas, etc. A veces se tiene la suerte de encontrar material suelto o en forma de roca sólida casi en la superficie del terreno y en grandes cantidades; sin embargo, lo más común es que suceda lo contrario y que encontrar materiales que cumplan con las especificaciones sea un problema, sin contar que, una vez que se han localizado todavía se tiene la preocupación adicional de el manejo y el transporte de los mismos. Por lo cual, para el uso correcto de la maquinaria de construcción es importante conocer en qué condiciones se encuentra el material, cómo se va a manejar y qué máquina ha de usarse para tal fin.

Preparar el material para su movimiento puede comprender el desmonte y despalme del terreno natural, el aflojamiento del material por medio de explosivos o por desgarramiento, la eliminación del contenido de agua en exceso, etc. Conociendo el método a emplear puede procederse a la excavación del material; posteriormente, se continúa con el transporte del material desde su lugar de origen hasta el lugar en que va a ser utilizado. La distancia de este movimiento puede ser sólo de unos metros, o bien, de varios kilómetros. Es por ello que en la construcción de carreteras se tiene la necesidad de mover grandes cantidades de materiales desde el lugar mismo y a lo largo de la ruta del camino.

Después de que el material ha sido excavado y cargado, se descarga en el área seleccionada para su desperdicio o uso final. Si se trata de un lugar seleccionado para desperdicio del material, porque no se necesita, es inadecuado o de volumen excesivo, probablemente se vaciará el material y no se volverá a mover durante la construcción. En cambio, puede suceder que el material se utilice como parte del terraplén o de las capas subyacente y subrasante.

En todo caso, el material tendrá que descargarse de una manera ordenada, extenderse uniformemente y compactarse, de acuerdo a las especificaciones dadas en el proyecto de construcción usando otras máquinas.

Es así, que las máquinas de construcción empleadas en terracerías, pueden ejecutar una o varias de las actividades siguientes:

- Afloje del material para llevarlo a un estado suelto manejable.
- Excavación del material en su lugar natural.
- Acarreo y descarga del material en el sitio indicado.
- Conformación del material para llevarlo a la condición final especificada en cada capa.

Ahora bien, dentro de las diversas máquinas de construcción, las que más se emplean en las obras de terracerías son las siguientes:

- ⇒ Tractores.
- ⇒ Cargadores frontales.
- ⇒ Máquinas para excavación: palas excavadoras frontales, retroexcavadoras y dragas de arrastre.
- ⇒ Motoconformadoras.
- ⇒ Equipo pesado de acarreo: motoescrepas y camiones fuera de carretera.
- ⇒ Equipo de compactación.

En la actualidad existen máquinas de diversos tamaños que son capaces de realizar una gran variedad de operaciones y que hoy resulta impensable la ejecución de obras de excavación sin contar con la ayuda de equipos mecánicos que permitan aumentar la eficiencia de los trabajos ejecutados por el constructor. Sin embargo, aunque la tendencia es hacia la utilización de más máquinas especializadas, la clasificación de los equipos no ha cambiado en gran escala, considerando a su vez que no toda la maquinaria de construcción está disponible en todos los países y que sus especificaciones pueden variar de una región a otra.

En general, dentro de los máquinas fijas que se utilizan para tareas específicas, se encuentran las palas excavadoras frontales, las retroexcavadoras y las dragas de arrastre. Estos equipos excavan el material y lo cargan, sin cambiar de posición, lo cual representa una pérdida de movilidad comparado con las motoescrepas pero, en cambio, se dispone de mucha mayor fuerza de ataque en el frente de la excavación.

En el lado contrario, entre las máquinas que gozan de movilidad, se encuentran los tractores, los cargadores frontales, las motoescrepas y las motoconformadoras, las cuales extraen el material excavado, lo transportan y lo descargan, o bien, lo extienden y conforman durante un mismo ciclo, siendo particularmente útiles cuando se trata de mover volúmenes de tierra en terrenos de topografía variable.

Finalmente, también se cuenta con equipo de acarreo y equipo de compactación. Corresponden al equipo de acarreo las motoescrepas y los camiones fuera de carretera y los compactadores de rodillo liso de acero, de pata de cabra, de neumáticos y vibratorios, son los más comunes dentro del equipo de compactación utilizados que se encargan de dar forma y estructura final a las capas de materiales que forman las terracerías.

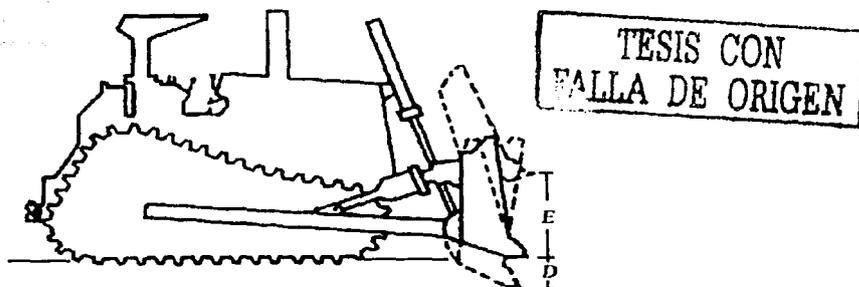
### **III. 1. Tractores**

Los tractores son las máquinas más compactas y fuertes para mover tierras, aunque presentan la desventaja de moverse a poca velocidad. Son adecuados en acarreos a menos de 60m y se clasifican en tractores sobre orugas y tractores sobre neumáticos. Tienen aplicaciones amplísimas y en construcción de carreteras, su utilización práctica radica en actividades como:

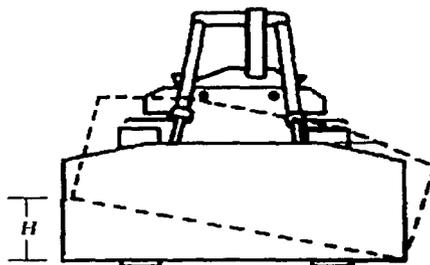
- Desmote y despilme del sitio de trabajo.
- Desgarramiento de suelos y excavación de capas poco profundas.
- Arreglo de taludes.
- Empuje de motoescrepas.
- Apertura de caminos de acceso y trazado de caminos a media ladera.
- Alejamiento de las masas rocosas desprendidas en las voladuras.
- Extendido de los materiales excavados por la misma máquina o transportados por otras máquinas.
- Nivelación rápida en terrenos de poca extensión ya que puede retroceder, remover y empujar las tierras en cualquier dirección y más rápidamente que otros tipos de máquinas, facilitando el trabajo de las máquinas que hayan de utilizarse después.
- Acumulación de los materiales que deben ser recogidos por una máquina cargadora.

Normalmente a los tractores se les conoce también como bulldozer o angledozer, según sea la posición de su hoja. El bulldozer es un tractor equipado con una hoja fija colocada perpendicularmente a la dirección de movimiento para empujar el material hacia delante. El movimiento de la hoja puede ser:

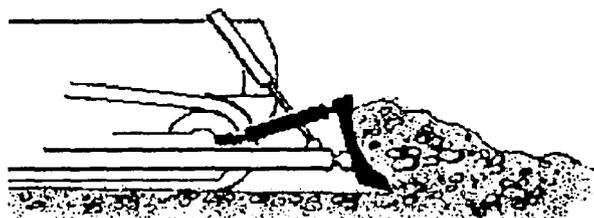
▫ De elevación o descenso.



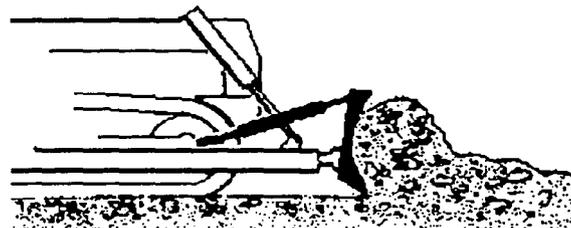
▫ De inclinación transversal, es decir, levantar la hoja de un lado o del otro una cantidad determinada.



▫ De inclinación de incidencia, es decir, colocar su borde superior hacia delante o hacia atrás, según la forma de atacar el terreno con un ángulo de trabajo más apropiado de acuerdo a la operación a realizar.

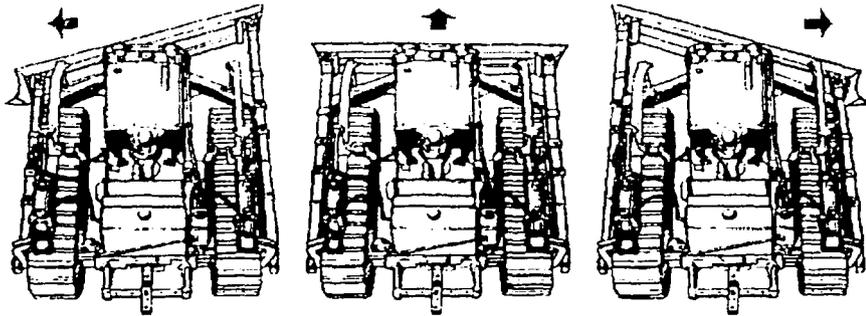


*Terreno blando*



*Terreno duro*

El angledozer está equipado con una hoja que puede mover los materiales hacia delante y hacia ambos lados, con una orientación de la hoja hacia cada uno de ellos de  $25^\circ$ . También son posibles todas las regulaciones principales de la hoja que anteriormente se describieron en el bulldozer.



### III.1.1. TRACTORES SOBRE ORUGAS

Los tractores sobre orugas son máquinas que tienen una gran variedad de usos en la construcción de carreteras. Son los más aptos para caminar por cualquier tipo de terreno en condiciones más ventajosas que el de neumáticos. Están equipados con una hoja delantera que se puede levantar o bajar, a efectos de la excavación, por medio de un control hidráulico, lo que le permite realizar trabajos con un alto grado de eficiencia pero, son lentos; lo que constituye una desventaja en ciertos trabajos en donde las condiciones de la superficie de desplazamiento es más adecuada para el uso de maquinaria sobre neumáticos, como por ejemplo en terrenos duros o en carreteras.



Foto III.1. Tractor sobre orugas.

ESPECIFICACIONES TRACTORES SOBRE ORUGAS	
DESCRIPCION	VALORES
Potencia	70-850hp
Peso	7039-111800kg
Altura	2.66-4.66m
Longitud	3.77-6.16m
Ancho	1.83-4.37m
Velocidad	Hasta 12.5km/hra en avance

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### III.1.2. TRACTORES SOBRE NEUMATICOS

Para un trabajo eficaz el tractor requiere de un material suelto para empujar. Puede entregar suficiente potencia para ejecutar operaciones satisfactorias de empuje a cortas distancias. Poseen mejor movilidad y maniobrabilidad que los hacen adecuados para trabajos en patios y en movimiento de materiales, en largas distancias de empuje donde se desee mayor grado de compactación, etc., y, a pesar de ser menos potentes, son más rápidos que los tractores de orugas.

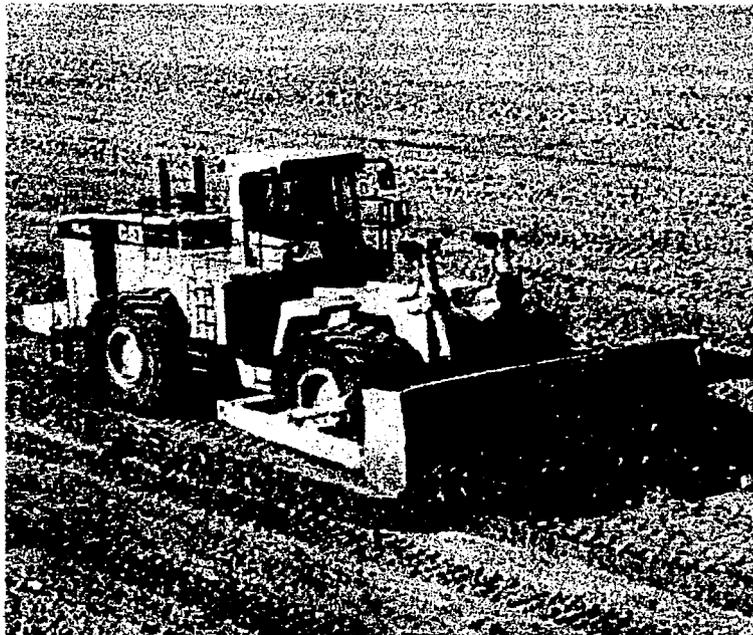
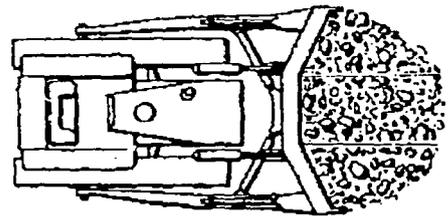
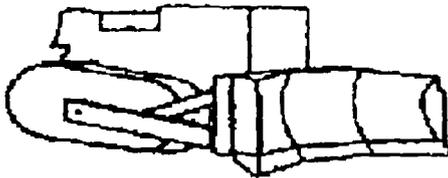


Foto III.2. Tractor sobre neumáticos.

ESPECIFICACIONES TRACTORES SOBRE NEUMATICOS	
DESCRIPCION	VALORES
Potencia	220-800hp
Peso	18611-96470kg
Altura	3.36-5.5m
Longitud	6.84-13.41m
Ancho	2.87-3.56m
Velocidad	Hasta 34.1km/hra en avance

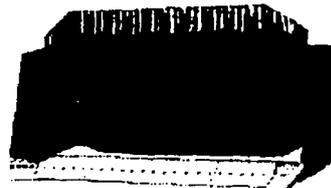
Las herramientas principales de estas máquinas son la hoja y el desgarrador o "ripper", con las cuales realizan sus diversos trabajos. En cuanto a la hoja, el proceso de excavación se realiza encajando ésta a una determinada profundidad en el terreno, cortando y rompiendo el material que sube por la curva de la hoja hasta que cae adelante para empujar la carga. Para obtener una buena producción se requiere adecuada relación entre la hoja empujadora y el tractor. Dependiendo del trabajo que se va a realizar el tractor puede usar diferentes tipos de hojas, las más comunes son:

- *Hoja U (Universal)*. Facilita el empuje de grandes cargas a largas distancias como en trabajos de recuperación de terrenos, apilamiento, alimentación de tolvas y amontonamiento para cargadores. Esta hoja es excelente con material liviano o más fácil de empujar.

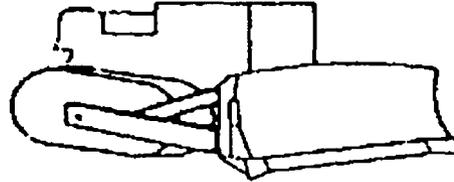


- *Hoja SU (Semiuniversal)*. Tiene mayor capacidad. Retiene la carga y permite conservar la capacidad de penetrar y cargar con rapidez en materiales muy compactados y de trabajar con una gran variedad de materiales en aplicaciones de producción.

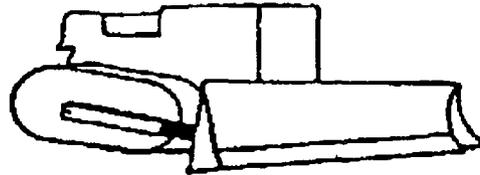
TESIS CON  
FOLIA DE ORIGEN



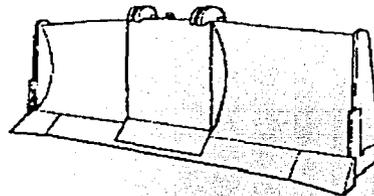
- *Hoja S (Recta)*. Es la más utilizable, adaptable y pequeña de todas, fácil de maniobrar y puede empujar una gran variedad de materiales. Tiene mejor penetración y recoge buenas cargas. Puede mover con facilidad materiales densos.



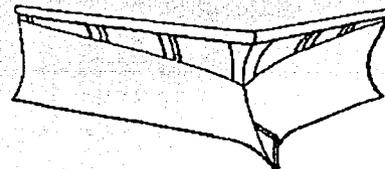
- *Hoja A (Orientable)*. Está diseñada para derrame lateral de material, corte inicial de caminos, rellenos, apertura de zanjas y otras tareas similares. Puede utilizarse también para empuje, desmonte de tierras o retirada de nieve. Sin embargo, no se recomienda para roca pesada.



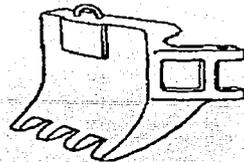
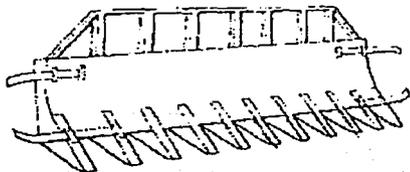
- *Hoja C (Amortiguada)*. Se usa para el empuje de motoescrepas sobre la marcha. Es también útil en conservación y trabajos generales de empuje.



- *Cortador de árboles V*. Esta hoja se utiliza para la limpieza del terreno y corte de árboles, tocones y maleza al nivel del suelo, desplazando el material hacia los lados.



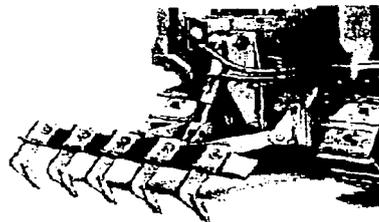
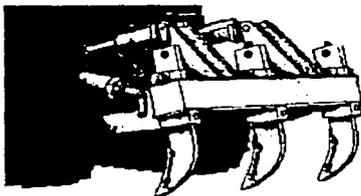
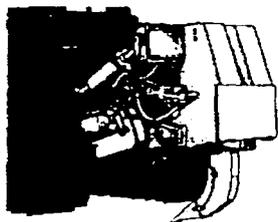
- **Rastrillo.** Se utilizan en aplicaciones de limpieza del terreno. Pueden trabajar con vegetación de hasta una altura de árboles medianos y ofrecen una buena penetración del suelo para sacar pequeños troncos, rocas y raíces.



La segunda herramienta indispensable lo es el desgarrador, conocido también como escarificador o ripper. Este se emplea cuando es necesario mover materiales que se encuentran muy compactos en el banco o en el terreno natural y se precisa entonces su uso. Este es un diente acoplado a una barra horizontal que se adapta al tractor para poder facilitar las excavaciones. Pueden emplearse uno o varios dientes y su funcionamiento radica en hacer penetrar éstos en el terreno y ser jalados por la fuerza tractiva de la máquina y con ello ir rompiendo la estructura del material logrando a su vez el afloje requerido para la excavación posterior. Algunos sistemas pueden incluir además un mecanismo vibratorio hidráulico para mejorar la penetración.

Por su resistencia y utilidad, el desgarrador permite aumentar el rendimiento de los tractores pero, también de las motoescrepas y de las motoconformadoras. Además, resulta más económico desgarrar los materiales que emplear explosivos y voladuras para su fragmentación. Al igual que la hoja, también se tienen diferentes tipos de desgarradores:

- **De un diente.** Desgarra roca dura facilitando el empuje y disminuyendo la voladura. El empleo de un solo diente provee máxima penetración y fragmentación aunque en una sola línea de corte.
- **Multidientes.** Rompen suelo duro y apisonado y aflojan piedras enterradas facilitando el trabajo de empuje. Si se tienen dos dientes se produce material de fragmentación grande. Si aumenta el número de dientes se obtendrá material más pequeño.
- **Escarificador.** Cuenta hasta con 5 dientes para excavar en suelos con piedras enterradas, arcilla endurecida y caminos de acarreo apisonados. Con el escarificador se obtiene material de fragmentación más fina.



La facilidad del desgarramiento depende de la condición de las rocas. Las rocas sedimentarias son más fáciles de desgarrar y las rocas ígneas ofrecen un poco más de dificultades. Pero si la roca dura ocupa un espesor de capa más grueso, entonces es conveniente el uso de explosivos para su fragmentación previa. Existen de todas maneras condiciones que favorecen esta operación de excavación, como por ejemplo un alto grado de estratificación, presencia de humedad y el debilitamiento derivado de los fuertes cambios de temperatura. Pero también existen otras que limitan la operación del desgarrador, que son básicamente la capacidad de los dientes para poder penetrar en el material y la potencia del equipo en el cual se usen.

Para mejorar el proceso de desgarramiento normalmente se recomienda una selección adecuada de la potencia del tractor y efectuar un desgarramiento tan profundo como sea posible.

#### ESPECIFICACIONES HOJAS TOPADORAS

DESCRIPCION	VALORES
Capacidad	1.26-43.6m <sup>3</sup>
Ancho	2.55-6.71m
Altura	0.84-3.26m
Profundidad máxima de excavación <i>D</i>	41-76.6cm
Inclinación <i>H</i>	0.20-1.94m
Espacio sobre el suelo levantada completamente <i>E</i>	0.76-1.53m

#### ESPECIFICACIONES DESGARRADORES

DESCRIPCION	VALORES
Profundidad máxima de excavación	22-74.8cm
Prof. máx. exc. tractodesgarrador	0.4-1.61m

Además de la hoja y el desgarrador, también existe una diversidad de equipo para efectuar el desmonte de terrenos. En el caso de obras grandes, se usan preferentemente implementos y máquinas diseñadas para la ejecución de las diferentes operaciones de desmonte, como son: la hoja limpiadora, la cortadora de raíces, la cortadora de tallos, la motosierra, la empujadora de árboles y la destroncadora.

### **III.2. Cargadores frontales**

Los cargadores frontales son máquinas producto del desarrollo de los tractores, contribuyendo a la aplicación de éstos equipos en diferentes trabajos. El empleo de éstas máquinas surge de la necesidad de cargar simplemente y no de la excavación de un determinado material. El tipo de operación que realiza un cargador implica muchos cambios de dirección, con movimientos de avance y retroceso, agregando a ellos la variedad de posiciones del cucharón; por lo que puede decirse que el operador tiene una máquina difícil de controlar.

El cargador frontal es un equipo montado sobre orugas o neumáticos, que tiene un cucharón de gran tamaño en su extremo frontal y su funcionamiento radica en excavar o cargar tierra o material granular, levantarlo, acarrearlo cuando sea necesario y vaciarlo desde cierta altura. Ambos tipos de cargadores son capaces de realizar tareas similares y se usan básicamente para cargar material suelto o para excavar al nivel de las ruedas o de las orugas en suelos relativamente sueltos y pueden emplearse en las siguientes actividades:

- Manipulación de materiales suaves, bancos de arena, grava, etc.
- Carga de materiales suaves sueltos o provenientes de voladuras en una excavación en roca, a unidades de acarreo.
- Limpieza de construcción que comprenda el recogimiento del material y su vaciado en algún otro lugar.
- Transporte del material a distancias moderadas.
- Excavación en superficie horizontal o de un talud y en pequeñas capas.

#### **III.2.1. CARGADORES SOBRE ORUGAS**

Son convenientes en terrenos sueltos y en aquellos trabajos que requieran de buena tracción, cuando no se requieran muchas maniobras por parte de la máquina y cuando se trate de material duro y difícil de excavar y, por lo regular, se manejan volúmenes pequeños. Estos cargadores gozan de excelente tracción y baja velocidad. Pueden desenvolverse en condiciones más duras. Tienen limitaciones por su poca velocidad de desplazamiento y resulta antieconómico su empleo cuando la distancia entre los puntos de excavación y descarga exceden 80m. Sin embargo, son más estables en superficies blandas y fangosas, lo cual contribuye a mejorar en lo posible su producción.

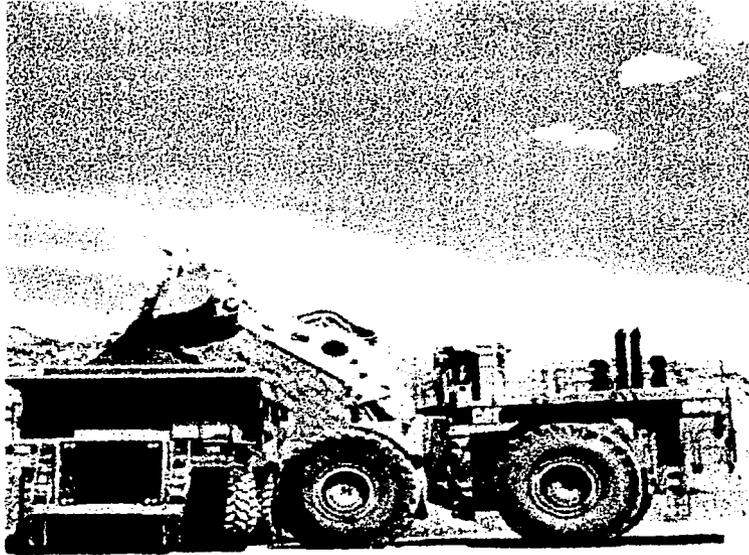


Foto III.3. Cargador sobre orugas equipado con ripper.

ESPECIFICACIONES CARGADORES SOBRE ORUGAS	
DESCRIPCIÓN	VALORES
Potencia	70-210hp
Peso	8485-25040kg
Velocidad de avance/retroceso	0-10km/hra
Capacidad del cucharón:	
Colmada	0.96-3.2m <sup>3</sup>
A ras	0.79-2.77m <sup>3</sup>
Altura	2.73-3.45m
Altura del cucharón levantado	4.67-6.52m
Profundidad máxima de excavación	18.2-24.1cm

### III.2.2. CARGADORES SOBRE NEUMATICOS

Este tipo de cargador es más rápido y se puede emplear para transporte hasta más de 200m. Puede desplazarse sobre carreteras pavimentadas sin causar daños. Es más móvil y manejable. Recomendable en distancias de acarreo considerables, cuando los materiales de la superficie de rodamiento sean abrasivos y provoquen desgaste excesivo a las orugas y mejor aún si el suelo es duro y seco. Se usan cuando se cuenta con espacio suficiente para maniobrar, ya que si éste es limitado entre las posiciones de carga y descarga, se pueden presentar problemas.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Foto III.4. Cargador sobre neumáticos de descarga frontal.

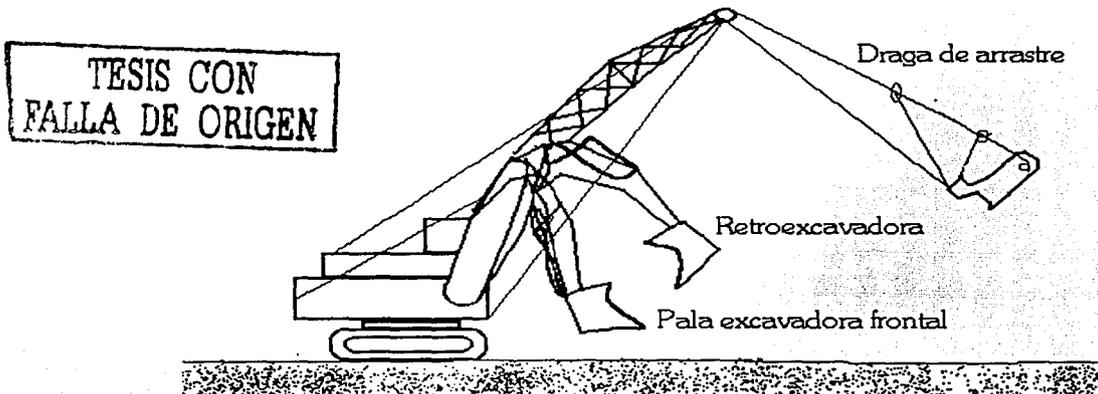
ESPECIFICACIONES CARGADORES SOBRE NEUMATICOS	
DESCRIPCION	VALORES
Potencia	45-1250hp
Velocidad de avance	20-38.5km/hra
Velocidad de retroceso	20-42.8km/hra
Capacidad del cucharón a ras:	
-	Hasta 5.3m <sup>3</sup>
Roca	Hasta 14.5m <sup>3</sup>
Carbón	Hasta 25.6m <sup>3</sup>
Altura	2.65-6.71m
Longitud total	5.2-17.64m
Altura del cucharón levantado	3.97-11.36m
Altura de descarga a 45° a levantamiento máximo	2.31-5.92m
Profundidad máxima de excavación	5-26.2cm

Pero además, los cargadores también se clasifican de acuerdo a su descarga. Los hay con mecanismo de descarga frontal, la más común; con sistema de descarga lateral, el cual tiene como ventaja no hacer tantos movimientos para colocarse en posición de cargar el equipo de acarreo y; con dispositivo de descarga trasera, cuyo empleo es peligroso para el operador.

El elemento básico de carga es el cucharón y de acuerdo con el tipo de material a mover debe ser el tipo de cucharón a emplear. Entre los principales tipos de cucharones tenemos el universal, para roca, el multiusos y el de rejilla.

### III.3. Máquinas para excavación

Como ya se ha mencionado, dentro de las máquinas fijas de excavación se distinguen varios tipos según la forma de realizar dicha operación, ya que si bien casi todas las máquinas poseen una estructura básica, pueden cambiar los equipos de trabajo según las tareas a realizar. Entre dichas máquinas se tienen la pala excavadora frontal, la retroexcavadora y la draga de arrastre. Esta variedad de equipos se debe a la necesidad de que una máquina tan costosa pueda rendir la máxima producción en las condiciones más diversas del suelo y en cualquier circunstancia. Entonces el equipo que debe escogerse para un trabajo dado, sólo podrá determinarse si se conoce el modo de funcionamiento y el campo de aplicación de cada máquina.



#### III.3.1. PALAS EXCAVADORAS FRONTALES

Una pala excavadora frontal es una máquina constituida por un sistema de montaje, un brazo y un cucharón, cuyo objetivo fundamental es excavar materiales y cargarlos a su vez a vehículos de acarreo. Si es accionada por cables se conoce como pala excavadora mecánica y si su sistema de acción es hidráulico se le conoce como pala excavadora hidráulica. Puede excavar cualquier tipo de material, excepto en roca fija, la cual debe ser fragmentada previamente con el uso de explosivos, ya que cuando se pretende sobrepasar el esfuerzo máximo de los dientes del cucharón surgen deformaciones y roturas anormales y, para evitar esto, es conveniente disgregar previamente el material a excavar, con lo cual puede llenarse el cucharón sin ningún riesgo y daño a la máquina.

En la actualidad la pala mecánica ha sido desplazada por la pala hidráulica aunque es común encontrar algunos modelos operando normalmente. Esto es debido a que las máquinas de acción hidráulica tienen un menor costo de mantenimiento y un mayor tiempo de vida, por lo que entonces tienden a desplazar a los equipos accionados por cables y engranajes. Pero las palas no sólo han sido fabricadas para poder adaptarse a diferentes accesorios, sino que también se han instalado en diferentes tipos de sistema de rodaje, tales como el de orugas y el de neumáticos.

Estas máquinas realizan excavaciones por encima del nivel natural del terreno pero, son capaces de realizar excavaciones a niveles ligeramente inferiores al del terreno de sustentación de su propio montaje, ya sea éste sobre orugas o neumáticos, siendo las actividades más comunes:

- Excavaciones considerables en roca o en material consolidado de un banco cuya cara se sostiene relativamente vertical. Este caso es el de mayor utilidad.
- Excavación inicial del corte en una ladera o en cajón para abrir un camino.
- Carga de material a unidades de acarreo.
- Levantamiento de capas del terreno y excavaciones en talud o a lo largo del camino.

### III.3.1.1. PALAS EXCAVADORAS FRONTALES SOBRE ORUGAS

Pueden trabajar en terrenos muy flojos o húmedos, de baja capacidad de carga y de poder de sustentación. La mayoría de las palas se instalan sobre orugas y una vez que están instaladas en su lugar de trabajo, no hay razones para trasladarlas. Puede decirse que se sacrifica la movilidad para ganar gran estabilidad. Es bastante adecuada para los trabajos de explotación de canteras y excavaciones en carreteras por su solidez, potencia y estabilidad, ya que esas explotaciones infieren mucha excavación.

La pala excavadora trabaja mejor si está situada sobre una superficie plana y si dispone de un frente de ataque que esté por encima del nivel de las orugas. Siendo entonces las orugas más ventajosas cuando se presentan las siguientes condiciones:

- » En terrenos flojos en los cuales la superficie de apoyo proporciona un movimiento adecuado y una completa estabilidad.
- » En excavaciones profundas donde proporcionan mejor estabilidad y mayor resistencia ante los esfuerzos dinámicos de la excavación.
- » Cuando el terreno es irregular o presenta fragmentos rocosos afilados que puedan causar perjuicios a los neumáticos y el peso y el tamaño de la máquina hacen poco práctico el sistema de montaje sobre éstos.



Foto III.5. Pala excavadora frontal hidráulica sobre orugas.

### III.3.1.2. PALAS EXCAVADORAS FRONTALES SOBRE NEUMATICOS

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Las palas sobre neumáticos se emplean en obras que requieren de excavadoras de gran movilidad para trabajar en diferentes frentes de ataque distribuidos en la misma. Su estabilidad es menor comparada con la máquina montada sobre orugas. Generalmente, se obtienen las máximas ventajas cuando operan bajo las siguientes condiciones:

- » Cuando la capacidad de la máquina para trasladarse rápidamente de un lugar a otro sea un factor importante.
- » Cuando el terreno sea lo suficientemente firme y parejo que permita el trabajo con neumáticos.
- » Cuando el uso de la oruga pueda dañar la superficie en que descansa o cuando quede excluido su uso por aspectos legales.

La herramienta básica de las palas es el cucharón, que debe ser seleccionado dependiendo del material y la operación, siendo los más comunes el especial para rocas y para excavaciones masivas, el de descarga frontal y el de descarga por el fondo.

Este último es el indicado cuando se necesita un cucharón adaptable a distintas condiciones. Su característica de descarga a mayor altura y de forma gradual, permite depositar la carga de manera rápida y limpia con mayor suavidad y precisión, produciendo menos deterioro en las cajas de los camiones y evitando el derrame del material. Aunque como es más pesado el cucharón su capacidad disminuye un 20%.

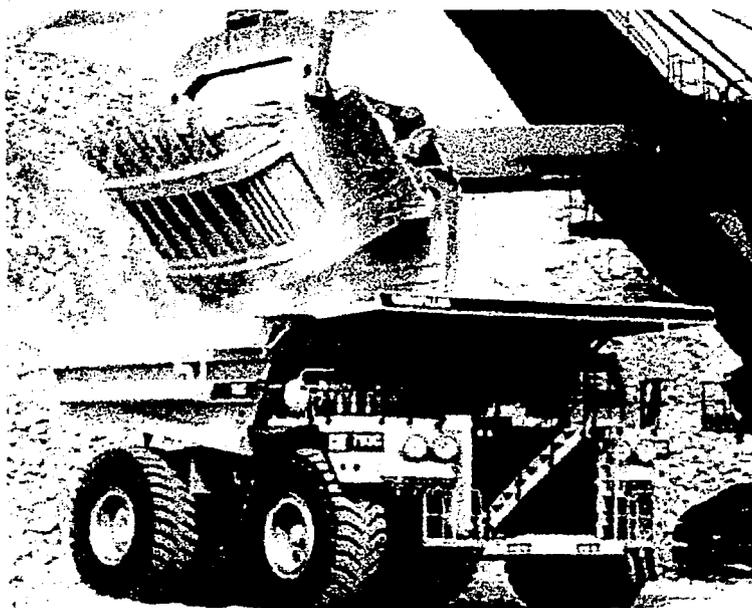


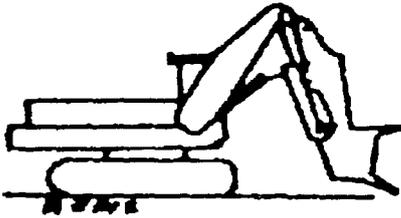
Foto III.6. Pala excavadora frontal mecánica sobre orugas equipada con un cucharón de descarga por el fondo.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

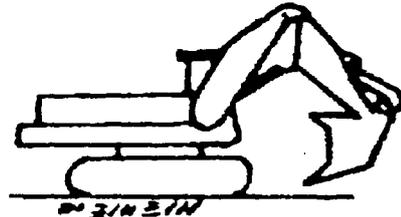
ESPECIFICACIONES PALAS EXCAVADORAS FRONTALES SOBRE ORUGAS	
DESCRIPCION	VALORES
Potencia	428-1470hp
Peso	83800-318500kg
Capacidad del cucharón colmado	5.2-17m <sup>3</sup>
Velocidad máxima de desplazamiento	2.5-4.4km/hra
Altura máxima de excavación	11-15m
Alcance máximo al nivel del suelo	9.5-14m

### III.3.2. RETROEXCAVADORAS

Estas máquinas tienen los mismos elementos que las palas excavadoras frontales de acción hidráulica y realizan la misma función que ellas, pero en vez de recoger el material por encima del nivel de su sistema de sustentación, lo recogen en un plano inferior, esto es, mientras la pala mueve su cucharón hacia arriba y se aleja de la fuente de poder y de los controles del operador para excavar material de un banco de elevación superior al de asiento del equipo, la retroexcavadora mueve su cucharón hacia abajo y hacia el operador. Se les puede encontrar montadas sobre orugas o sobre neumáticos.



Pala excavadora frontal



Retroexcavadora

Las retroexcavadoras se utilizan para excavar por debajo del nivel de sustentación a una profundidad mayor que las palas excavadoras, por ejemplo en:

- Excavación de cunetas para carreteras.
- Excavaciones bajo el agua y trabajos de excavación en espacios limitados.
- Trabajos de excavación, afinamiento y limpieza en canales.
- Carga de material a camiones u otro equipo de acarreo.
- Excavación en afloramientos de roca sobre la línea de construcción de la carretera.

En cuanto a su sistema de sustentación, se tienen las mismas consideraciones que para las palas. En los trabajos sobre superficies de material suelto donde se requiere de un buen apoyo, son convenientes las retroexcavadoras sobre orugas, ya que su montaje tiene la ventaja de distribuir mejor el peso de la máquina y, generalmente se construyen de capacidades mucho mayores que las de neumáticos, aunque tienen menor movilidad. Las retroexcavadoras sobre neumáticos son más veloces y para su mayor producción deben trabajar sobre terrenos en buen estado y donde los caminos sean transitables.

Al igual que las palas excavadoras, la herramienta principal de éstas máquinas lo es el cucharón y hay de diversos tipos, los más usuales son los siguientes: para excavar tierra arcillosa o suelos cohesivos y el universal. Además de los cucharones antes mencionados, se encuentran otros para diversos usos, como por ejemplo: para trabajo pesado, de gran capacidad, para remover pavimento, de descarga por el fondo, para fango, para roca, para arena, etc. La versatilidad de estas máquinas permite que puedan colocarse otro tipo de aditamentos. Uno muy conocido es el martillo hidráulico que se emplea cuando aparecen afloramientos de roca en la línea de construcción de la carretera.



Foto III.7. Retroexcavadora sobre orugas.

ESPECIFICACIONES RETROEXCAVADORAS SOBRE ORUGAS	
DESCRIPCION	VALORES
Potencia	17.4-428hp Exc. en gran volumen 800-1470hp
Peso	1673-82380kg Exc. en gran volumen 182000-316600kg
Capacidad del cucharón	0.018-5.6m <sup>3</sup> Exc. en gran volumen 8.5-27.5m <sup>3</sup>
Velocidad máxima de desplazamiento	4.4-5.5km/hra Exc. en gran volumen 2.5-3.3km/hra
Ancho	0.98-3.47m Exc. en gran volumen 4.4-7.51m
Altura	2.19-3.65m Exc. en gran volumen 4.82-7.46m
Altura máxima a los dientes del cucharón	3.32-14.52m Exc. en gran volumen hasta 16m
Altura máxima de carga del cucharón con dientes	2.36-10.35m Exc. en gran volumen hasta 10m
Profundidad máxima de excavación	2.13-10.84m Exc. en gran volumen hasta 9.5m
Alcance máximo al nivel del suelo	3.7-15.96m Exc. en gran volumen hasta 17m

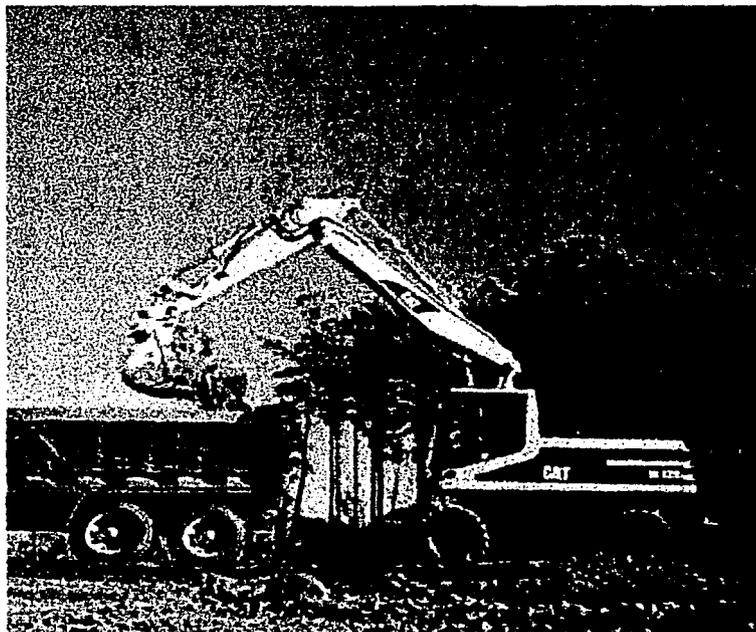


Foto III.8. Retroexcavadora sobre neumáticos.

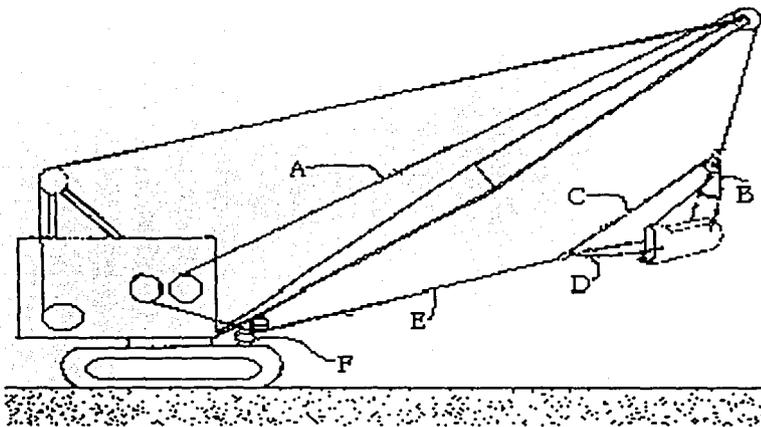
ESPECIFICACIONES RETROEXCAVADORAS SOBRE NEUMATICOS	
DESCRIPCION	VALORES
Potencia	114-140hp
Peso	13810-19410kg
Capacidad del cucharón	0.24-1.35m <sup>3</sup>
Velocidad máxima de desplazamiento	20-34km/hra
Ancho	3.84m
Altura	3.07m
Altura máxima a los dientes del cucharón	7.88-10.79m
Altura máxima de carga del cucharón con dientes	5.64-8.04m
Profundidad máxima de excavación	4.42-7.68m
Alcance máximo al nivel del suelo	7.62-11.18m
Capacidad del cucharón colmado	0.018-5.6m <sup>3</sup>

### III.3.3. DRAGAS DE ARRASTRE

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Este tipo de máquinas no son más que grúas dotadas de accesorios para excavación. La draga puede utilizarse en la modalidad de accionamiento por cables: para movimiento de la pluma, para la elevación y para el arrastre.

El sistema de excavación presenta la ventaja de que la cuchara se lanza con la pluma de tal forma que la excavación y la descarga pueden realizarse en puntos notablemente separados, ya que son de largo alcance. Si se desea tener mayor alcance de dragado, entonces debe usarse una pluma más grande pero hay que reducir el tamaño del cucharón. Pero esta forma de operar es difícil cuando el espacio es reducido. El sistema es de difícil manejo y requiere la habilidad de un operador experimentado.



- A, cable de elevación
- B, cadena de elevación
- C, cable de vaciado
- D, cadena de arrastre
- E, cable de arrastre
- F, cable de estabilización

Solo pueden excavar materiales sueltos como grava o arena con contenido medio de arcilla e incluso roca bien fragmentada, siendo la draga de arrastre capaz de obtener buenos rendimientos de hasta el 90% de la pala excavadora frontal en suelos sueltos. Este tipo de máquina es particularmente adecuada para excavar por debajo del nivel de su sistema de montaje ya sea éste sobre orugas, sobre neumáticos, sobre un camión o sobre dispositivos especiales, pudiendo ser utilizadas como alternativa de la retroexcavadora en muchos casos. Sin embargo, está siendo desplazada por otras máquinas de excavación ya que los costos que genera son altos en comparación con la retroexcavadora, por ejemplo. Además, debe considerarse el difícil trabajo de lanzar el cucharón a un punto determinado exacto y, por eso, este tipo de máquina es adecuada solamente para trabajos de excavación en gran volumen.

Dentro de la construcción de las terracerías este tipo de máquinas son más comunes en las excavaciones de suelos pantanosos, pero también se emplean en actividades como:

- Descarga de material en vertederos.
- Rectificación y excavación de canales y zanjas.
- Extracción de capa de recubrimiento, siendo eficaz en los terrenos irregulares.
- Con un operador eficiente puede realizarse hasta una tarea sorprendentemente precisa de nivelación de tierra.
- Explotación de yacimientos de grava bajo el agua.

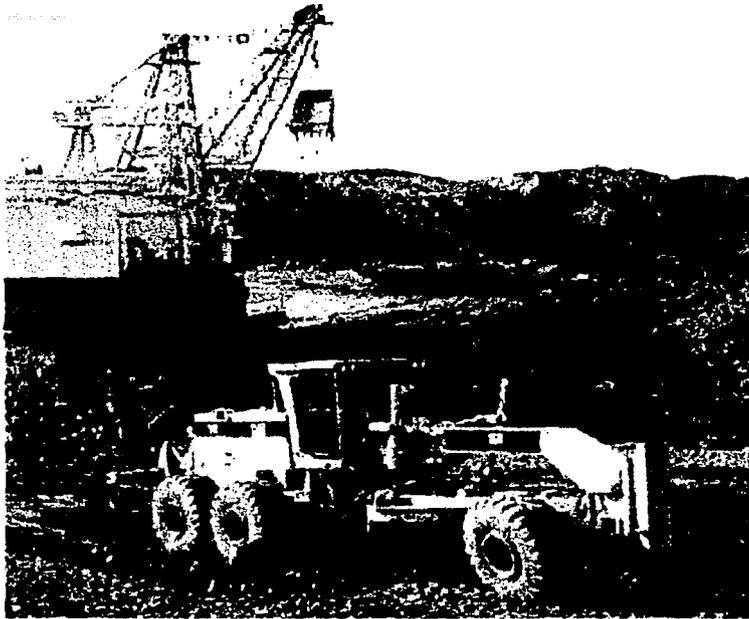


Foto III.9. Draga de arrastre y motoconformadora.

La herramienta principal de esta máquina lo es el cucharón de arrastre y cada fabricante tiene su propia variante para hacer su equipo más eficiente, siendo el cucharón determinante en la capacidad de excavación de la draga.

Al igual que las otras máquinas de excavación, para la draga también se tienen diversos tipos de cucharones como los ligeros, los medianos y los pesados, los cuales se utilizan de acuerdo al tipo de material a excavar en suelo suelto, seco o granular; en arcillas, arenas o gravas compactadas; o en roca triturada, respectivamente. En las excavaciones de materiales acompañados de agua, el peso de ésta y el cucharón cargado deben tenerse en cuenta a los efectos de estabilidad de la máquina, en este caso el cucharón tiene unas rejillas que permiten el desalojo del agua del mismo, de tal forma que solo se arrastre material.

Siempre es aconsejable usar los cucharones más grandes posibles dentro de los límites impuestos por la capacidad misma de la máquina y de la amplitud de los trabajos a realizar, o bien, considerar la conveniencia de adoptar el cucharón más ligero compatible con el trabajo a realizar.

### **III.4. Motoconformadoras**

Muchos de los proyectos de construcción de carreteras exigen que la superficie del terreno sea acabada con cuidado, de tal forma que ésta sea uniforme y plana, sin ondulaciones ni surcos. Aunque esto se puede conseguir en muchos casos con un tractor logrando resultados favorables, la motoconformadora es la máquina especial para este tipo de trabajos y de mayor uso en la construcción de carreteras, ya que se emplea para mezclar materiales y extender, nivelar y conformar los mismos.

Estas máquinas se utilizan para una gran variedad de operaciones de construcción en carreteras, como son por ejemplo:

- Construcción de canales.
- Construcción de zanjas, cortes y terrazas.
- Construcción y acabados finales de terraplenes.
- Desmonte de vegetación ligera.
- Escarificación de suelos.
- Nivelación y conservación de caminos provisionales de acceso a las obras.
- Formación de cunetas y afinamiento de taludes.
- Emparejamiento de superficies.
- Construcción y rehabilitación de caminos de tierra.
- Mezcla y extendido de materiales sobre una superficie con objeto de uniformarlos.
- Nivelación y conformación de pendientes transversales.
- Conformación y nivelación final de toda la anchura de un camino, como acotamientos, pendientes de taludes laterales y transversales desde la superficie del camino.

Las motoconformadoras, que son máquinas montadas sobre neumáticos, tienen un instrumento de trabajo muy eficiente conocido como hoja o cuchilla, la cual puede moverse por rotación alrededor de un eje vertical y de un eje longitudinal y por traslación siguiendo este eje.

Pero además de la cuchilla, a las motoconformadoras se les puede adaptar un escarificador, montado justo delante de ésta, el cual se emplea para remover o disgregar los terrenos duros antes de la entrada de la cuchilla, romper la superficie de un pavimento viejo y flexible, para reconformación o preparación para recibir una superficie mejor. También puede colocarse un ripper, en la parte trasera y una hoja convencional de tractor en la parte delantera.

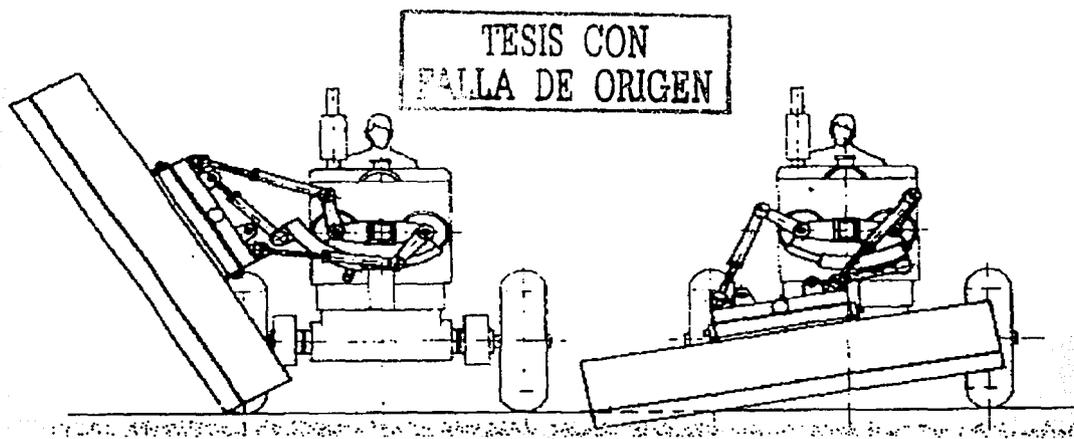
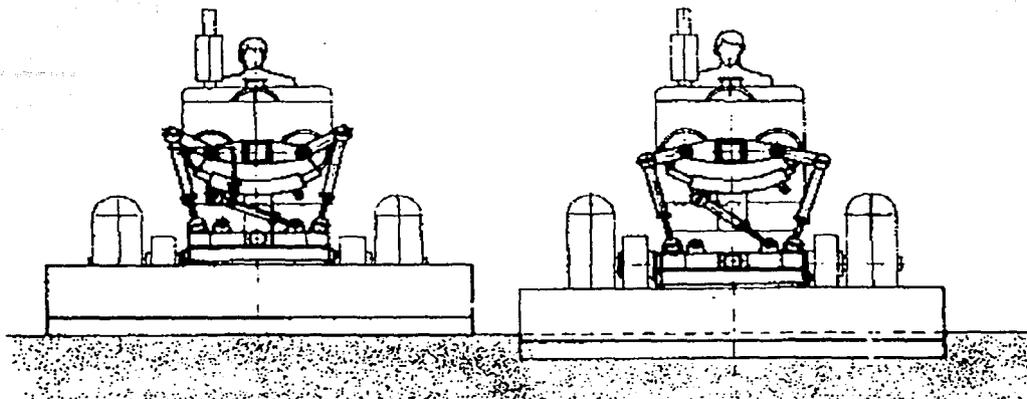


Foto III.10. Motoconformadora.

ESPECIFICACIONES MOTOCONFORMADORAS	
DESCRIPCION	VALORES
Potencia	125-500hp
Peso	11358-61950kg
Velocidad de avance	37.7-44.5km/hra
Velocidad de retroceso	31.3-47.3km/hra
Altura	3.11-4.35m
Longitud	8.5-15.8m
Anchura total	2.44-4.23m
Hoja estándar:	
Longitud	3.66-7.32m
Altura	0.61-1.07m
Levantamiento sobre el suelo	45.2-63.4cm

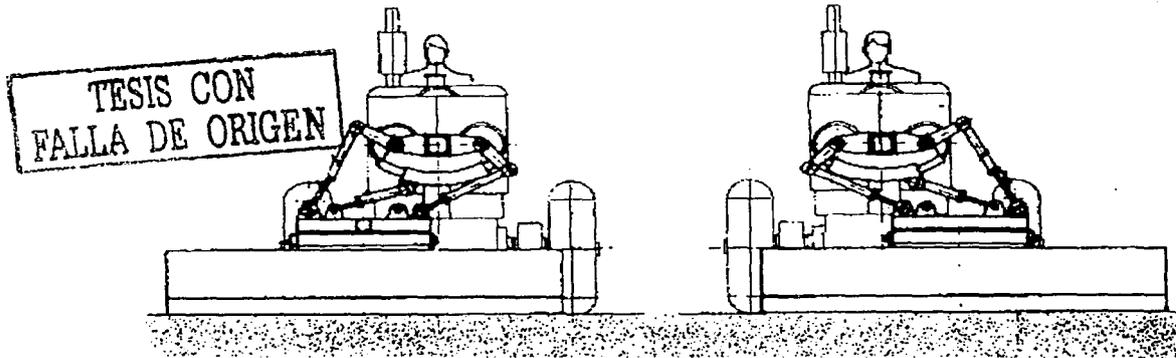
El operador de la máquina puede manejar la cuchilla en diferentes formas con cierta similitud a la de los tractores, pero no puede aplicar la potencia de movimiento ni de corte de éstos. La inclinación de la hoja puede ajustarse de acuerdo a las conveniencias del trabajo que se esté realizando y las posiciones más empleadas son las siguientes:

▫ Puede elevarse o bajarse e inclinarse verticalmente, así como desplazarse lateralmente para largos alcances a los costados de la máquina. Su colocación vertical, a cualquiera de los costados, es típica de su actuación.

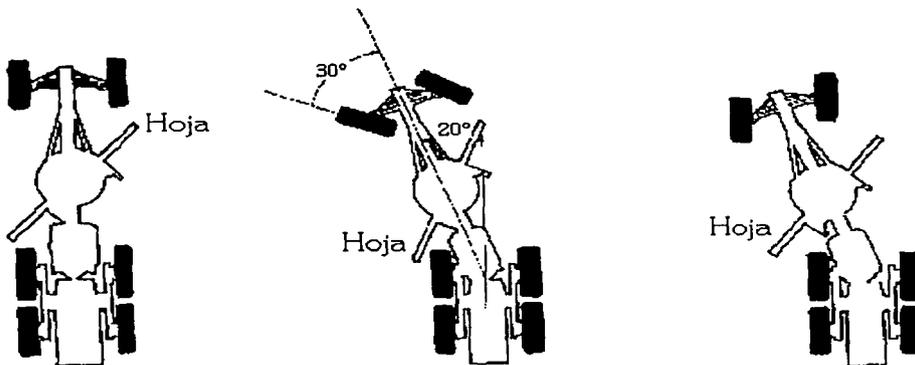


▫ Inclinarse hacia atrás cuando se trata de cortar el suelo y hacia delante cuando se trata de extender el material.

▫ Se puede mover la hoja hacia la izquierda y hacia la derecha.



▣ En cada una de las posiciones anteriores, el operador puede también girar la hoja horizontalmente hasta un ángulo de  $360^\circ$ .



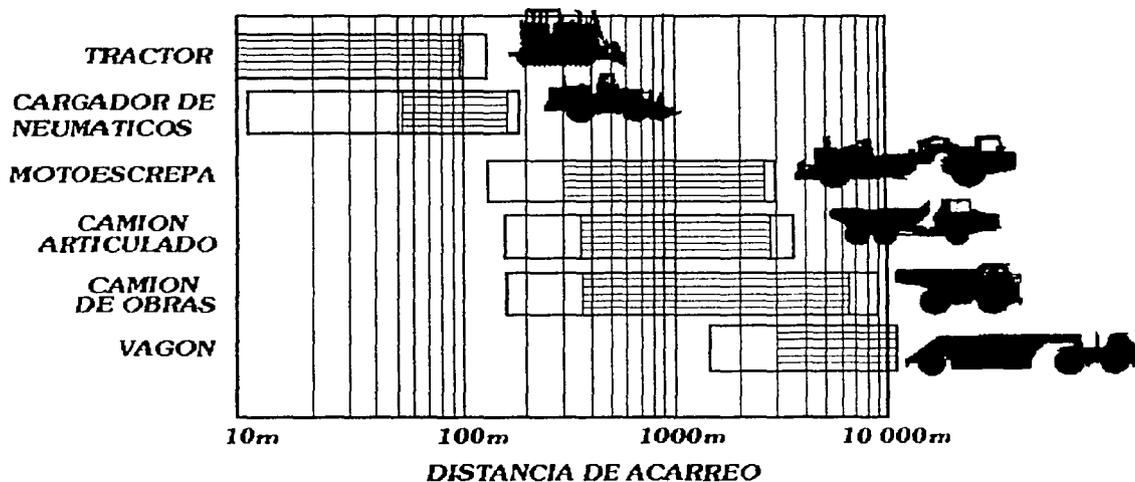
En las obras de carreteras, frecuentemente se instalan alambres a lo largo de la obra, y unos sensores instalados en la hoja controlan su altura automáticamente.

### **III.5. Equipo pesado de acarreo: motoescrepas y camiones fuera de carretera**

En un proyecto de construcción de carreteras normalmente se requiere de equipo que efectúe tanto un sistema de carga como transporte y descarga de materiales sueltos producto de las excavaciones. Dentro de las máquinas de transporte de materiales en gran volumen se distinguen dos grupos: los que cargan y transportan al mismo tiempo, y los que solamente efectúan el transporte. El primer grupo se refiere a las motoescrepas y el segundo a los camiones fuera de carretera.

En la figura siguiente pueden observarse las distintas máquinas que se emplean para acarrear a determinadas distancias. Aunque deben considerarse también las zonas de trabajo de acuerdo a la distancia, el tipo de terreno, las pendientes, el tipo de material, el régimen de producción y la habilidad de los operadores.

*DISTANCIAS GENERALES DE ACARREO DE SISTEMAS MOVILES*



### III.5.1. MOTOESCREPAS

Este tipo de máquina está constituida por una caja metálica y un motor montado sobre un tractor de neumáticos el cual se encarga de mover a todo el conjunto. Su función principal es cargar material, transportarlo y descargarlo a largas distancias. En esencia, se excava el material y se carga directamente en la caja de la motoescrepa, se transporta a la zona de descarga y finalmente se extiende en capas. Es la única máquina para construcción que puede hacer por sí misma todos estos pasos, que forman una operación completa, en forma económica y en un amplio intervalo de distancias de acarreo.

Acarrean material hasta distancias de 3000m, pero la máxima económica es de 1000m y la promedio de 500m. Son máquinas relativamente delicadas y no son convenientes en rocas duras y terrenos poco uniformes, ya que al tratar de cortar roca con la cuchilla de la caja se produciría una deformación de ésta, de tal modo que quedaría inservible a los pocos metros de avance.

La motoescrepa es una máquina que se utiliza en las siguientes actividades:

- Nivelaciones generales en torno a un área de construcción donde es práctica habitual excavar en pendiente hacia abajo para aprovechar al máximo la acción de la gravedad.
- Levantamiento de material suelto para después depositarlo en una capa uniforme en su colocación final.
- Conformación y nivelación de áreas cuando las cantidades de tierra que se van a mover no son suficientes para llenar la caja.
- Trabajos de corte y relleno de tierras en la construcción de carreteras y obras semejantes, en una gran variedad de condiciones donde el suelo es suficientemente firme para soportarlas, y es lo suficientemente fino y blando para manejarlo o se puede acondicionar por medio de escarificadores.
- Si las condiciones lo permiten puede cortar y terraplenear a la subrasante con precisión y, cuando el espacio es suficientemente ancho para hacer maniobras, puede dar bombeos y taludes también.

Existen diversos tipos de motoescrepas, donde las más utilizadas son:

#### *III.5.1.1. MOTOESCREPA ESTANDAR*

La excavación y transporte se llevan a cabo de manera similar a la escrepa remolcada, pero se requiere de un empuje suplementario durante la carga, el cual suele proporcionarse con la ayuda de un tractor sobre orugas. Dentro de este tipo de motoescrepas se tienen a su vez dos: de un motor solamente y de dos motores.

La motoescrepa de un motor requiere de un tractor para que la empuje y proporcione la fuerza necesaria, siendo adecuada para suelos sueltos y con baja resistencia a la rodadura. La de dos motores (en tandem o de empuje y tiro), uno instalado en la parte delantera y otro en la posterior, no requiere la ayuda de un tractor, ya que puede trabajar en conjunto con otra motoescrepa en tandem.

#### *III.5.1.2. MOTOESCREPA AUTOCARGADORA*

Esta máquina dispone de un elevador de paletas que facilita la carga y proporciona la fuerza necesaria para cortar la tierra que está cargando y para empacar el material en la caja de la motoescrepa. Es más pesada que la motoescrepa normal y provoca una resistencia mayor a la rodadura. Se puede emplear en todos los tipos de suelos, excepto en los duros o muy arcillosos. A veces requiere de la ayuda de un tractor para que su proceso de carga no sea lento y aumentar así el rendimiento.



Foto III.11. Motoescrepa de un motor.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

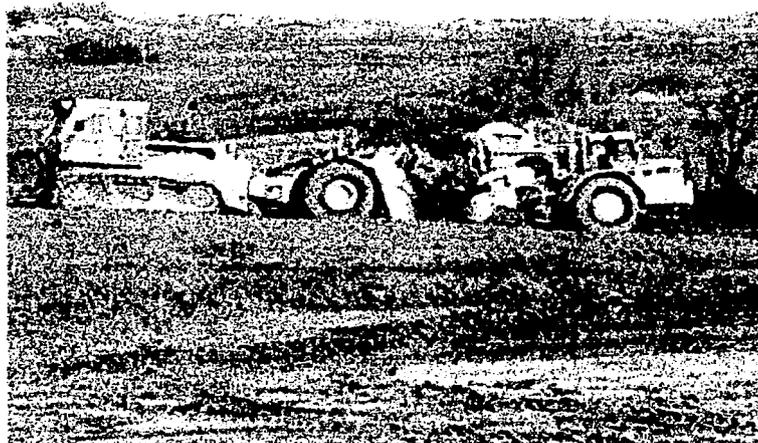


Foto III.12. Motoescrepa de un motor empujada mediante un tractor.

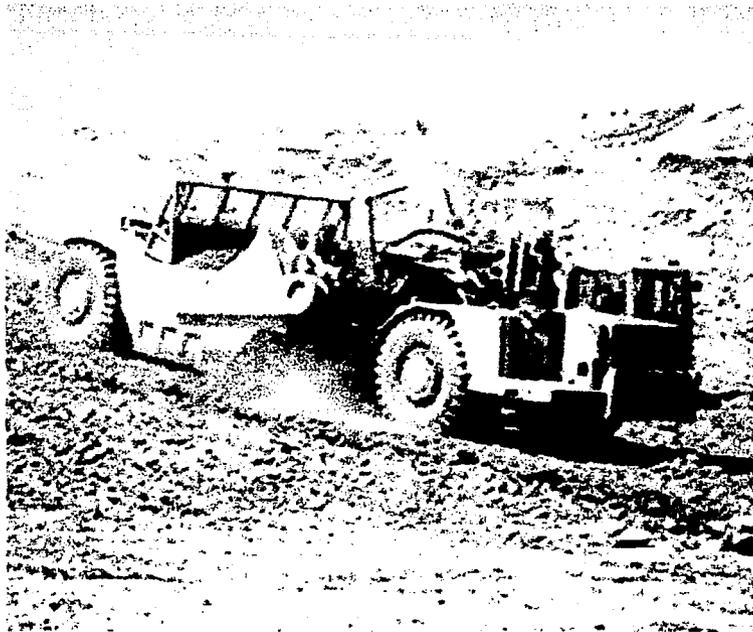


Foto III.13. Motoescropa de dos motores.

ORIGEN DE ORIGEN

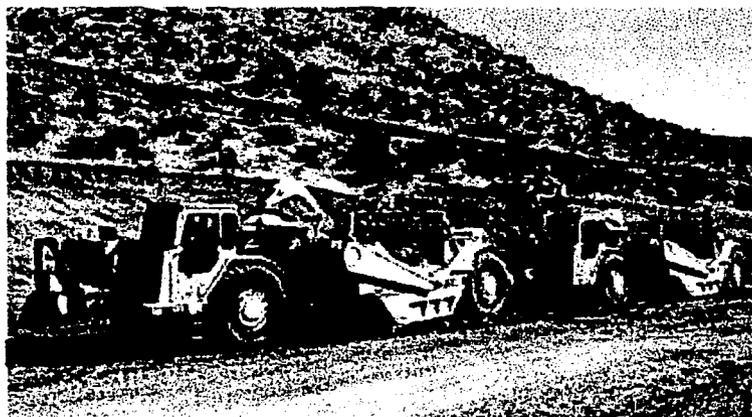


Foto III.14. Motoescrapas de dos motores trabajando en tandem.



Foto III.14. Motoescrpa autocargadora.

ESPECIFICACIONES MOTOESCREPAS			
TIPO	ESTANDAR	EN TANDEM	AUTOCARGADORA
DESCRIPCION	VALORES	VALORES	VALORES
Potencia:			
Tractor	265-605hp	330-605hp	175-490hp
Escrpa		225-328hp	
Peso	23900-61130kg	37060-70670kg	14970-51110kg
Capacidad:			
A ras	8-24.5m <sup>3</sup>	10.7-24.5m <sup>3</sup>	6.8-17.7m <sup>3</sup>
Colmada	11-33.6m <sup>3</sup>	15.3-33.6m <sup>3</sup>	8.4-26m <sup>3</sup>
Velocidad máxima (cargada)	44.4-53km/hra	51.3-53km/hra	35.1-53km/hra
Ancho de corte	2.9-3.85m	3.02-3.85m	2.35-3.5m
Profundidad máxima de corte	35.3-44cm	33.3-44cm	16-43.1cm
Espesor máximo al esparcir	37.6-66cm	48-66cm	37-57.8cm
Altura	3.24-4.71m	3.71-4.71m	2.92-4.24m
Longitud	12.02-16.18m	12.93-16.2m	10-14.8m
Ancho	3.27-4.35m	3.47-4.35m	2.44-3.96m

### III.5.1.3. MOTOESCREPA SINFIN

Además de las motoescrapas estándar y autocargadoras, también se tienen la motoescrapas con transportador sinfín y con transportador sinfín en tandem. Las motoescrapas con transportador sinfín y sinfín en tandem tienen un sistema de autocarga distinto al sistema convencional de motoescrapas de empuje y tiro o autocargadoras. El sinfín giratorio está ubicado en el centro de la motoescropa el cual levanta y distribuye uniformemente más del 50% del material que fluye por la cuchilla de la motoescropa. Esto reduce los esfuerzos de la cuchilla y permite que la motoescropa continúe moviéndose en el corte y logre rápidamente cargas completas.

Este tipo de motoescrapas sinfín tienen como ventajas una autocarga en igual o menor tiempo, una menor distancia de corte, pueden expulsar completamente el material, se utilizan en una amplia variedad de materiales y presentan una mejor retención de material en el camino de acarreo.

ESPECIFICACIONES MOTOESCREPAS		
TIPO	SINFIN	SINFIN EN TANDEM
DESCRIPCION	VALORES	VALORES
Potencia	365-605hp	330-605hp
Peso	37760-66575kg	42230-75875kg
Capacidad colmada	15.96-33.6m <sup>3</sup>	15.96-33.6m <sup>3</sup>

### III.5.2. CAMIONES FUERA DE CARRETERA

Otro de los equipos que se utilizan en la construcción de carreteras, y más precisamente en el transporte de materiales, son los camiones. Aparte de los camiones de volteo que circulan normalmente por las carreteras, están los camiones fuera de carretera y dentro de ellos se comprenden los camiones de obra y los camiones articulados, los cuales pueden transportar materiales a distancias entre 1 y 10km pero es posible su utilización para viajes más largos. Su función principal es como ya se ha mencionado el transporte de materiales en gran volumen a largas distancias.

#### III.5.2.1. CAMIONES DE OBRA

Son similares a los camiones normales de transporte, aunque sus componentes y mecanismos están más reforzados para poder resistir los efectos de las brucas sobrecargas impuestas por los caminos deficientes por recorrer y las fuertes cargas de impacto que se originan al cargar roca y otros materiales duros para ser transportadas. Algunos de ellos disponen de un mecanismo que permite verter el material en cualquiera de los tres sentidos: posterior, lateral izquierdo o lateral derecho.

El camión de obra se utiliza para una variedad de propósitos, desde la carga general de obra hasta las versiones para trabajos en cantera. Estos últimos se cargan frecuentemente con palas o retroexcavadoras que tienden a ser más violentas que otros equipos cargadores y por tanto requieren que el camión sea muy robusto. Las cajas de estos camiones son de piso plano, de doble declive, de canteras y de cantera con revestimiento de caja.



Foto III.15. Camión de obra.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

ESPECIFICACIONES CAMIONES DE OBRA	
DESCRIPCION	VALORES
Potencia	380-3400hp
Peso bruto del vehículo	68180-555990kg
Carga útil máxima	37430-326530kg
Capacidad:	
A ras	16.5-173m <sup>3</sup>
Colmada	24.2-220m <sup>3</sup>
Velocidad máxima (cargado)	52.57-75km/hra
Altura	3.8-7.24m
Longitud	7.4-14.53m
Altura para descarga	7.7-15m
Ancho	5.01-9.15m

### III.5.2.2. CAMIONES ARTICULADOS

Existen ahora en el mercado camiones grandes articulados con los que se puede alcanzar hasta un 25% de economía en tiempo de maniobra y que, además, son fácilmente maniobrables cuando hay que circular por caminos con curvas cerradas y obstáculos. Son también más largos y mas estrechos que el equipo rígido, dando así lugar a economías en la anchura de los caminos de acarreo. En acarreos largos tienen mayor velocidad al compararse con un camión de obra.

Estos camiones constan de una máquina que proporciona la potencia y una caja reforzada para transporte de materiales; estos dos elementos se encuentran articulados y no fijos, como en el caso de los camiones de obra. Pueden efectuar la descarga en tres formas: trasera, lateral o por el fondo.

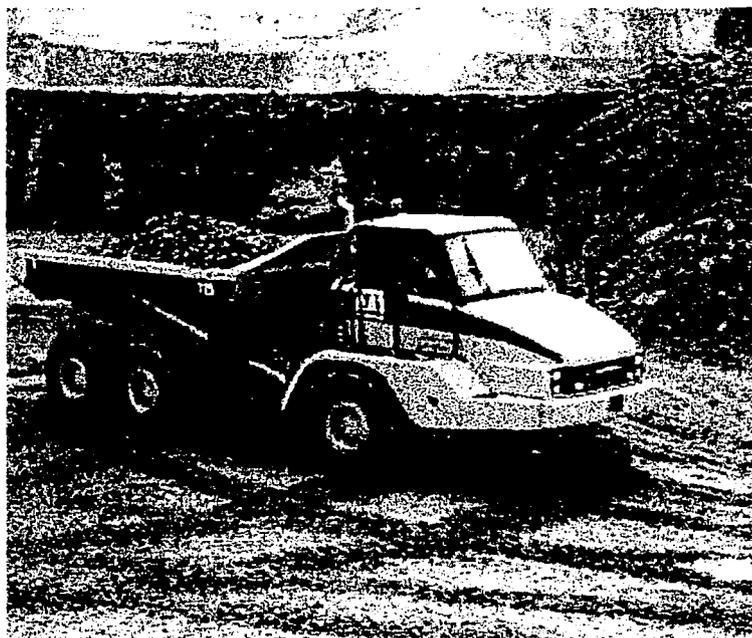


Foto III.16. Camión articulado.

ESPECIFICACIONES CAMIONES ARTICULADOS		
TIPO	DE DOS EJES	DE TRES EJES
DESCRIPCION	VALORES	VALORES
Potencia	260-285hp	270-405hp
Peso	19450-21690kg	21600-31650kg
Velocidad máxima (cargado)	48-52km/hra	49-58.6km/hra
Peso bruto del vehículo	42250-49150kg	44280-67950kg
Capacidad máxima:	A ras	10.5-16.5m <sup>3</sup>
	Colmada	14-16.5m <sup>3</sup>
Altura	3.34-3.40m	3.35-3.58m
Longitud	8.79-8.89m	9.99-10.65m
Altura para descarga	5.19-5.46m	6.40-6.92m
Ancho	3-3.3m	2.88-3.43m

### **III.6. Equipo de compactación**

Los terraplenes que se construyen en la implantación de carreteras y otras obras suelen estar sueltos después de la excavación y deben ser compactados para evitar deformaciones y asentamientos. El grado de compactación que se puede alcanzar depende mucho del tipo de material, de su contenido de humedad y del método que se utiliza con una máquina de compactación a fin de aplicar energía mecánica en el suelo, con el objeto de apisonarlo. Así, para poder obtener una compactación satisfactoria en la gran variedad de suelos que se encuentran en la práctica, los métodos que se llevan a cabo se dividen en: estáticos, de amasado, vibratorios y de impacto, los cuales pueden desarrollarse por medio de un tipo de compactador en específico o por varios y, los más usuales en terracerías son los que se describen enseguida.

#### **III.6.1. COMPACTADOR DE RODILLO DE PATAS DE CABRA**

Este equipo de compactación consiste de un cilindro en el cual hay unas piezas soldadas que sobresalen, conocidas con el nombre de patas de cabra. El cilindro está hueco y puede llenarse con agua, arena o ambas para aumentar su peso. La forma de las patas puede ser de diversos tipos, con las cuales se busca evitar que éstas al salir del terreno durante la compactación lo aflojen. Su funcionamiento radica en que el área reducida de la superficie de contacto con el suelo transmite a éste una presión elevada, que produce un efecto de amasado de las partículas del suelo y así, con repetidas pasadas, las patas van subiendo gradualmente hacia arriba en el terreno.

Se utiliza comúnmente cuando se tratan de compactar terraplenes con gran contenido de arcillas, gravas y limos, o bien, materiales compuestos por suelos finos y muy cohesivos.

En la actualidad, en la obra se emplea la versión conocida como 'tractocompactor', el cual es un tractor sobre cuatro cilindros 'pata de cabra' equipado a su vez con una hoja topadora.

Se consideran también dentro de este tipo de compactador los que poseen rodillos de rejilla y los de rodillos segmentados, empleados en materiales que necesitan de disgregación.

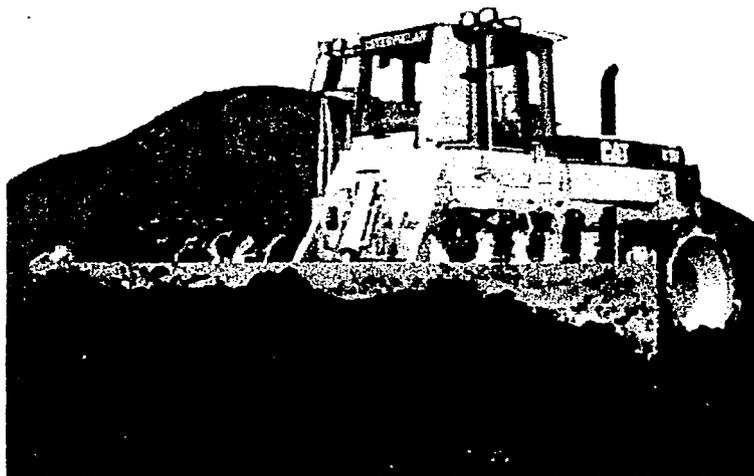


Foto III.17. Tractocompactor.

**ESPECIFICACIONES TRACTOCOMPACTADORES**

DESCRIPCION	VALORES
Potencia	220-315hp
Peso en orden de trabajo	20879-31740kg
Velocidad de avance	6.5km/hra
Ancho tambor	0.98-1.13m
Pisones:	
Por rueda	60-65
Por hilera	12.13
Longitud del pisón	19.8-20.3cm
Diámetro del tambor con pisones	1.42-1.68m
Longitud	6.82-8.24m
Ancho	3.24-3.65m
Hoja topadora recta:	
Ancho	3.24-3.65m
Altura	3.76-4.41m

### III.6.2. COMPACTADOR DE NEUMATICOS

Este tipo de compactador también es utilizado en la construcción de terracerías, sobre todo, en los trabajos de la capa subrasante. Comúnmente, la máquina es autopropulsada y con lastre, para lo cual se usa agua o arena, aumentando con ello su peso, incluso puede llegar a duplicarlo. Este equipo se construye en dos ejes, con un número variado de ruedas neumáticas de rodadura lisa o con la rugosidad suficiente, dispuestas de tal forma que las huellas de las ruedas traseras solapen a las huellas delanteras para evitar dejar ondulaciones; además, individualmente las ruedas pueden moverse hacia arriba y hacia abajo para pasar sobre terrones duros y adaptarse a las irregularidades del camino.

El compactador de neumáticos es un equipo diseñado especialmente como equipo de compactación, que combina la acción de amasado con la de peso estático y depende, para su eficacia, del área de la presión de contacto, del número de pasadas, del tipo de suelo y del espesor de la capa que se esté compactando.

La compactación con este tipo de equipo es particularmente efectiva sobre los suelos sueltos y arenosos con finos poco plásticos, en los que no existen grumos que requieran de mayor presión.



Foto III.18. Compactador de neumáticos con llantas lisas.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

ESPECIFICACIONES COMPACTADORES DE NEUMATICOS	
DESCRIPCION	VALORES
Potencia	105-150hp
Peso en orden de trabajo:	
Con lastre	23-35ton
Sin lastre	14-19ton
Velocidad de avance y retroceso	20-26.5km/hra
Configuración de ruedas	3 delanteras / 4 traseras
Ancho de compactación	1.90-2.42m
Ancho total	2-2.5m
Altura	3-3.63m
Longitud	5.3-6.27m

### III.6.3. COMPACTADOR DE RODILLO LISO DE ACERO

Este compactador es aplicable a los materiales que no requieren concentraciones elevadas de presión, por no formar grumos o por no necesitar disgregación; por lo general, en gravas y arenas relativamente limpias. Puede ser remolcado o con sistema de autopropulsión y lastrado con agua o arena para aumentar su peso propio y mejorar la calidad de su trabajo. También se emplea para el acabado final de la superficie superior de las capas compactadas (subrasante y de pavimentos).

### III.6.4. COMPACTADOR VIBRATORIO

En la actualidad los compactadores con rodillos lisos de acero y de pata de cabra se construyen con una unidad vibratoria, cuya frecuencia puede variarse para hacer que el método se adapte a la mayoría de los casos, incluso a la compactación de un material granular bien dosificado y de escurrimiento libre o roca fragmentada.

Este equipo permite compactar capas de mayor espesor que las que es común usar con otro tipo de compactadores, lo que aumenta el rendimiento del trabajo y disminuye los costos de operación. Estos equipos pueden ser autopropulsados o de remolque.

Si se comparan con un compactador de rodillo liso de acero, éste debe ser mucho más pesado para poder obtener resultados similares.

Tienen pruebas de ser muy efectivos en la compactación de piedras y arenas limpias y gravas. Los resultados en arcillas y otros suelos de grano fino han sido menos convenientes.

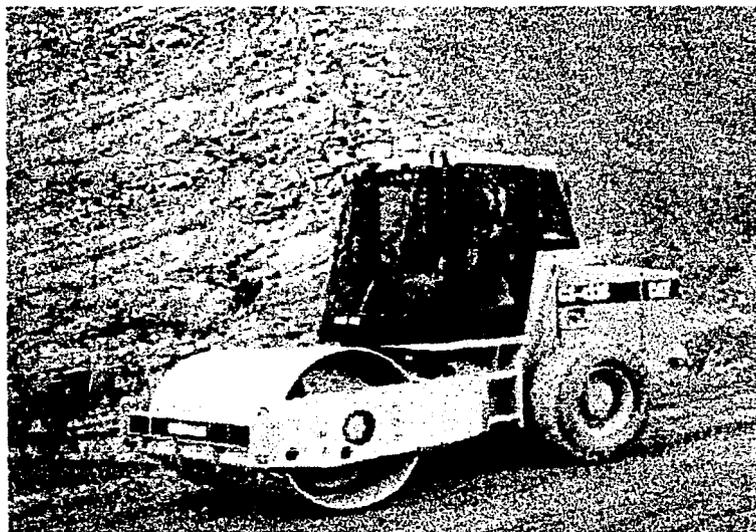


Foto III. 19. Compactador de rodillo liso de acero vibratorio.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Foto III.20. Compactador de rodillo "pata de cabra" vibratorio.

ESPECIFICACIONES COMPACTADORES CON 1 TAMBOR VIBRATORIO Y HOJA DE EMPUJE		
TIPO	RODILLO LISO DE ACERO	RODILLO CON PISONES
DESCRIPCION	VALORES	VALORES
Potencia	70-145hp	70-145hp
Velocidad máxima de avance y retroceso	8.9-12.8km/hra	8.9-13.3km/hra
Peso	4540-15460kg	4745-11670kg
Ancho del tambor	1.27-2.13m	1.27-2.13m
Diámetro del tambor	1.01-1.52m	1.02-1.55m
Ancho	1.40-2.51m	1.56-2.74m
Altura	2.51-3m	2.51-2.99m
Longitud	4.1-5.4m	4.1-5.26m

### III.6.5. COMPACTADORES COMBINADOS

También se tienen otros tipos de compactadores que son combinados, como por ejemplo: uno formado por un eje delantero con ruedas neumáticas y un rodillo liso de acero en el eje posterior, conocido como "Duo-Pactor", que aplanan las huellas dejadas por la rodada múltiple y, otro compactador, "Tri-Pactor", con la combinación anterior más el efecto de vibración en el rodillo liso de acero que presiona fuertemente sobre el terreno. Sin embargo, éstas no son las únicas combinaciones posibles, ya que pueden obtenerse otras de acuerdo a las condiciones de trabajo que se presenten.

Además, existe otro tipo de compactador muy adecuado cuando en los proyectos de construcción de carreteras se tiene una producción muy elevada debido a un gran número de máquinas de movimiento de tierras. Este es el compactador de alta velocidad que posee un chasis articulado para mejorar su dirección y va montado sobre cuatro ruedas poligonales, con cuatro o cinco lados cada una, y con una disposición tal que los segmentos traseros pisen entre las huellas de los delanteros, para asegurar una total cobertura de la superficie. Este compactador combina el peso estático, el impacto y el amasado, con lo que ofrece considerables ventajas sobre otros tipos de compactadores en áreas con suelos plásticos, limos, gravas y lechos de piedra partida.

### III.7. Rendimiento

El rendimiento o producción es la cantidad de trabajo que realiza una máquina por unidad de tiempo. La producción de las máquinas siempre ha sido un punto importante dentro de la construcción de carreteras sobre todo en lo relativo a los costos que ello implica. Para poder conocer el rendimiento de la maquinaria empleada en la construcción de terracerías, se requiere de una amplia experiencia en el tema, ya que en su determinación intervienen numerosos factores que pueden modificar los resultados obtenidos.

La producción o rendimiento de la maquinaria de construcción no es una cantidad fija, sino que depende principalmente de las condiciones del trabajo y de la dirección del mismo, así como de la destreza del operador, de su persistencia y de la coordinación con las demás fuerzas de construcción. Este rendimiento puede obtenerse por varias formas, como son: de la experiencia y observación directa en trabajos ya realizados con determinado tipo de máquina, donde se lleven registros de tiempo y rendimiento; por medio de fórmulas y cálculos aritméticos y; con uso de tablas y gráficas proporcionadas en los catálogos de fabricantes de maquinaria.

Sin embargo, aunque los cálculos del rendimiento se hacen de manera analítica, en la realidad es más práctico determinarlo por medio de manuales de rendimiento que los fabricantes de maquinaria proporcionan en la entrega de cada máquina. En los manuales, se proporcionan métodos de cálculo con empleo de gráficas, fórmulas y tablas, donde además se incluyen algunos ejemplos.

### **III.7.1. TRACTORES**

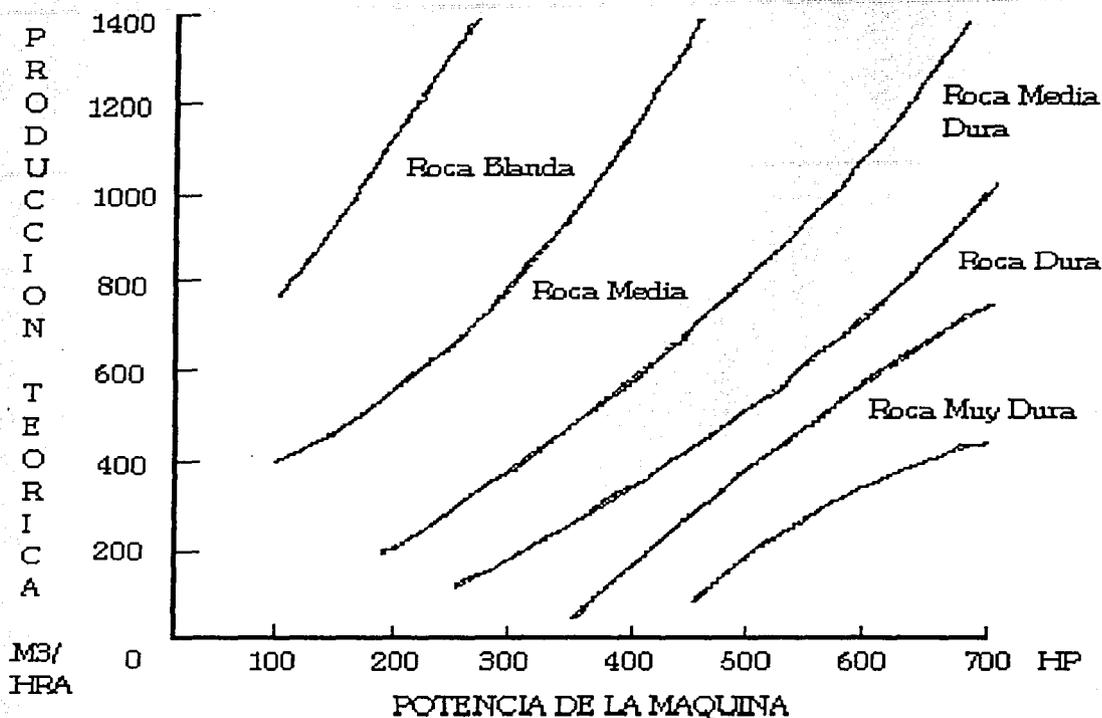
El rendimiento que puede estimarse para un equipo como el tractor es extremadamente variable debido a la gran cantidad de operaciones que puede efectuar. Por ejemplo, el rendimiento calculado para una operación de desgarramiento es diferente del determinado en el empuje de materiales o de motoescrapas. A menudo la producción de desgarramiento no es necesario determinarla ya que comúnmente se hace a la vez que se carga el material que se está excavando.

Esta es la razón por la que un tractor para un proyecto grande de construcción de terracerías se encuentra equipado tanto con una hoja frontal como con un desgarrador trasero. Además, el empleo de desgarradores ayuda a aumentar el rendimiento, pudiéndose obtener economías de hasta el 80% en comparación con el costo resultante de utilizar explosivos. Sin embargo, para una mayor operación de desgarramiento, es económicamente deseable saber qué rendimiento puede calcularse.

En la gráfica de la página siguiente se muestra como puede variar la producción de desgarramiento de acuerdo a los diferentes tipos de rocas 'desgarrables'.

De todas las actividades en que puede emplearse el tractor, la preponderante y más económica es la de excavación y transporte sucesivo del material a lo largo de la dirección de marcha según un ciclo de ida y vuelta, en donde para obtener el máximo rendimiento se procura seguir una fase útil, es decir, un avance en excavación y empuje, de forma que se pueda disponer de la máxima potencia y fuerza de empuje posible, procurando no mover materiales a distancias superiores a 60m, ya que el rendimiento puede disminuir considerablemente. El rendimiento calculado para esta operación depende primordialmente del tamaño de la hoja y de la potencia del tractor que la empuja, así como de la distancia a la que se mueve el material.

## PRODUCCION TEORICA EN ROCA DESGARRABLE



Los datos de rendimiento que se muestran en la página siguiente representan la producción ideal en condiciones favorables para un grupo de tractores sobre orugas; los valores deben ser ajustados para tener en cuenta las circunstancias del lugar donde se ubica la obra.

La gráfica siguiente da la producción máxima no corregida de la hoja universal y se basa en las siguientes condiciones:

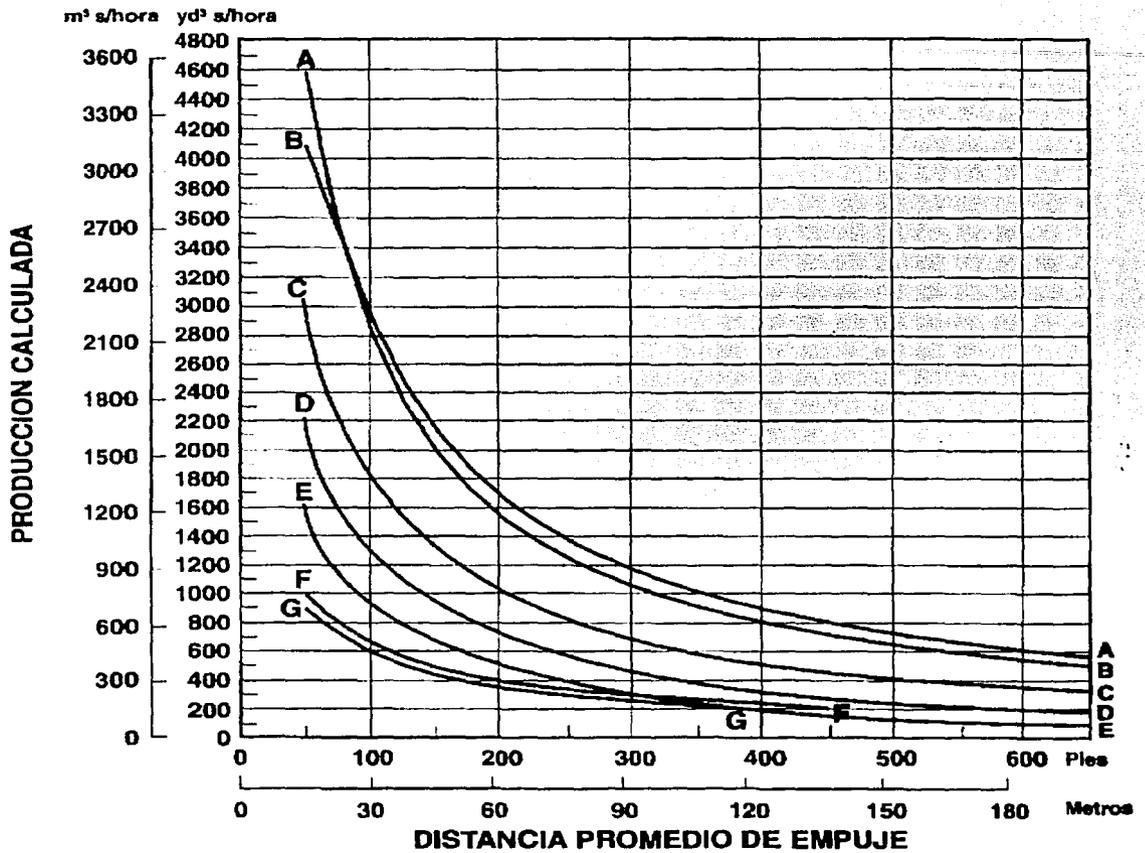
- 100% de eficiencia (60min por hora).
- Densidad del suelo: 1370kg/m<sup>3</sup> suelto.
- Tiempos de 0.05min.
- Para el volumen en perfil multiplicar el volumen suelto por el factor correspondiente.

NOTA: para otros tipos de suelo multiplicar la producción,

Suelo suelto	1.20
Suelo firme	0.80
Roca partida	0.65

### PRODUCCION PARA TRACTORES SOBRE ORUGAS

PRODUCCION CALCULADA • Hojas universales • D7G hasta D11R



#### CLAVE

- A — D11R-11U
- B — D11R CD
- C — D10R-10U
- D — D9R-9U
- E — D8R-8U
- F — D7R-7U
- G — D7G-7U

### **III.7.2. CARGADORES FRONTALES**

El rendimiento puede determinarse estimando la carga real medida en banco del material y calculando el tiempo que toma el manejar cada cucharón lleno. El tiempo para manejar cada cucharón se separa en varios componentes: variables y fijos. Los variables dependen de las distancias que recorre el cargador con cada cucharón lleno, esto es, las posiciones o acomodos que pueda tomar para cargar y descargar el material en el lugar adecuado. Los fijos se refieren a los tiempos requeridos para cargar el cucharón, para maniobrar y para descargar el material.

La producción puede verse afectada por una inadecuada coordinación de trabajos con las unidades de acarreo, ya que si éstas no guardan una sincronía en su acomodo, indudablemente se tendrá un tiempo de espera tanto para el cargador como para otras unidades de acarreo, afectándose para uno, el otro u ambos el rendimiento esperado.

La información sobre producción que se da en la siguiente página corresponde a un cargador frontal sobre neumáticos, el más común y a unas condiciones ideales, por lo que debe ser ajustada en cada caso particular.

### **III.7.3. MAQUINAS PARA EXCAVACION**

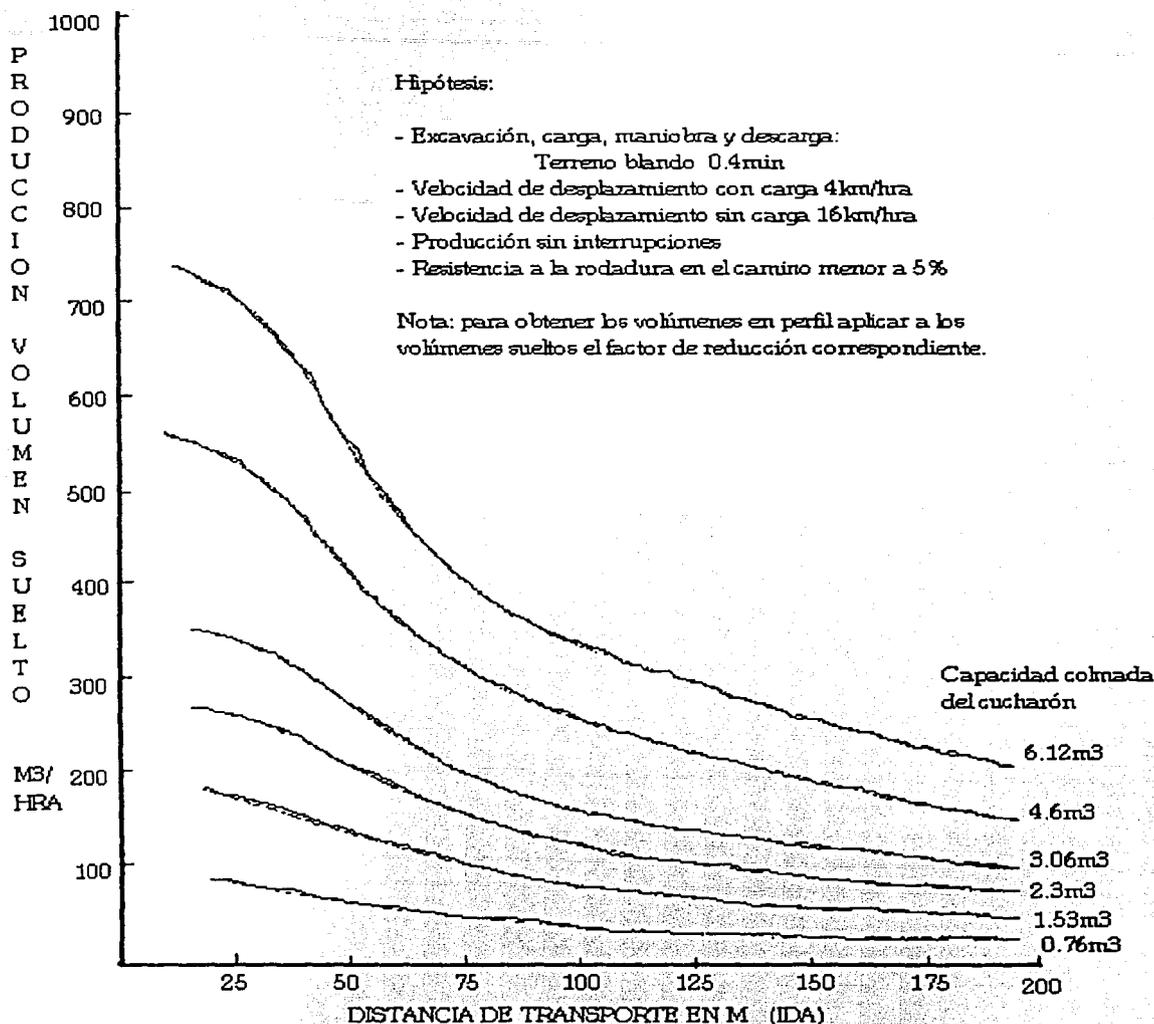
#### **III.7.3.1. PALAS EXCAVADORAS FRONTALES**

El rendimiento se refiere a la cantidad de metros cúbicos excavados por hora, lo cual depende de las características de la pala, la condición del material que se está excavando y de la disposición de la pala en el trabajo, sin olvidar las habilidades de operación con que se disponga para ejecutar la excavación. Para estas máquinas la producción se ve afectada por la altura real de corte, el ángulo real de giro y las condiciones de la obra.

En cuanto al efecto en el rendimiento debido a la altura de excavación, si es menor que la óptima y a la vez muy pequeña, será imposible llenar el cucharón en una sola pasada. En este caso hay que efectuar varias pasadas para llenar el cucharón, o llevar el cucharón parcialmente lleno, lo que en ambos casos resulta en un menor rendimiento de la pala. Si la altura de excavación es mayor a la óptima será necesario que se reduzca la profundidad de penetración del cucharón en la pared de excavación para que el cucharón se llene con una sola pasada; o será necesario que el cucharón comience a excavar de la mitad del frente de ataque hacia arriba para después atacar la parte inferior.

Sea cual sea el procedimiento empleado el rendimiento queda reducido si la altura de corte no es la óptima. La altura óptima de corte es aquella con la que se consigue un máximo rendimiento en volumen excavado y la posibilidad de llenar sin dificultades el cucharón completamente en un solo recorrido de la misma.

## PRODUCCION TEORICA PARA UN CARGADOR SOBRE NEUMATICOS



Para el ángulo de giro, que es el ángulo horizontal entre la posición del cucharón en el momento de excavar y su posición cuando está descargando, como el tiempo total de la pala en un ciclo incluye la excavación, el giro hasta la posición de descarga, la descarga y el regreso del cucharón a la posición de excavar, si se aumenta el ángulo de giro aumenta el tiempo requerido para completar un ciclo y por lo tanto se reduce el rendimiento; por el contrario, si se reduce el ángulo de giro, se incrementa el rendimiento ya que se reduce el tiempo del ciclo de la pala.

Lo normal es que se impongan a la pala movimientos de giro menores a los 70°, cuidando de no sobrepasar los 90°; aunque habrá ocasiones en que una determinada operación implique un giro mucho mayor, con la consecuente disminución de la producción. Sin embargo, la buena planeación y el control ayudarán a incrementar el rendimiento.

Cuando una pala está trabajando en un terreno con topografía uniforme donde se puede mantener constante la altura óptima de corte, cuando trabaja en terreno firme y bien drenado en donde las unidades de transporte pueden colocarse a ambos lados de la pala para eliminar tiempos perdidos en espera y también se cuenta con un camino de acarreo más o menos uniforme, entonces se dice que la obra se encuentra en condiciones excelentes de trabajo. Si sucede lo contrario, se presentan malas condiciones de la obra. Estas condiciones el constructor las debe de determinar para poder predecir como se verá afectado el rendimiento.

Otro factor que afecta en el rendimiento de la pala es el número y tamaño adecuado de las unidades de acarreo. Este es uno de los factores más importantes al momento de preparar la obra en el suministro de la cantidad indispensable de vehículos para poder realizar un ciclo de trabajo uniforme e ininterrumpido y obtener así un rendimiento máximo.

Cualquier deficiencia en la flota de transporte se verá reflejada en el rendimiento de la pala. Muchas veces ocurre que después de invertir tiempo en la selección de la pala, no se le da lugar a que rinda el rendimiento máximo porque las unidades de acarreo ofrecen deficiencias como: tamaño pequeño, insuficientes en número, pierden tiempo, no existen vehículos de repuesto, no se mueven con sincronización y no se colocan bien para ser cargados por la pala.

Como una regla aproximada se puede decir que la capacidad de los vehículos debe ser como mínimo de 5 a 6 veces la capacidad del cucharón de la pala.

En un principio la solución del problema de sincronización parece estar ligado a una separación debida entre las unidades de transporte. A partir del instante en que salga del cargadero un camión cargado, es necesario que se encuentren o vayan llegando a cargar un numero suficiente de camiones vacíos, para que la pala no interrumpa su trabajo, mientras transcurre el ciclo de viaje que invierte el primer camión cargado hasta que regresa al cargadero y, por tanto, el rendimiento no pueda verse afectado para ambos tipos de máquinas.

### III.7.3.2. RETROEXCAVADORAS

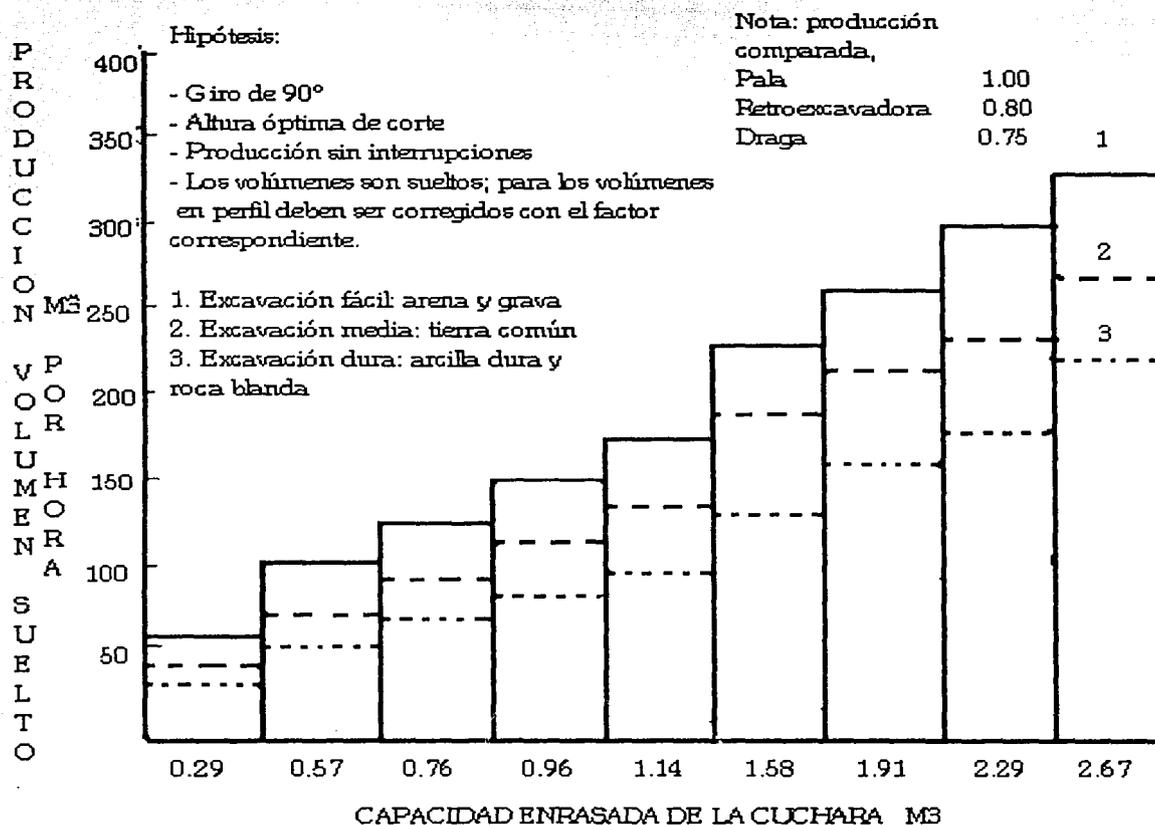
En este caso los mismos aspectos señalados para las palas excavadoras frontales pueden aplicarse con similitud a las retroexcavadoras. Considerando que el rendimiento real depende de la profundidad de la excavación para las retroexcavadoras y las dragas de arrastre, y de la altura de corte para las palas excavadoras frontales.

## III.7.3.3. DRAGAS DE ARRASTRE

La draga de arrastre en su rendimiento se ve afectada también por la profundidad de excavación y el ángulo de giro, así como por condiciones de obra. A medida que aumenta la profundidad de excavación, se reduce fuertemente su rendimiento, obteniéndose una mayor producción cuando se excava cerca de la máquina debido al reducido tiempo del ciclo y a que el material cae con mayor facilidad al cucharón cuando se tira hacia arriba cerca de la máquina. Para la draga de arrastre los giros admisibles de la máquina pueden llegar y sobrepasar los 90°, no siendo frecuente, por otra parte, que se presenten en la práctica giros menores.

Enseguida se muestra un gráfico donde aparece la producción comparada de las máquinas para excavación tomando como base el rendimiento de la pala excavadora frontal.

## PRODUCCION IDEAL DE LA PALA EXCAVADORA FRONTAL



### III.7.4. MOTOCONFORMADORAS

El rendimiento de una motoconformadora en su operación básica de nivelación, se determina de acuerdo con el tiempo que se utiliza para realizar su trabajo. Este es diferente del de un tractor y de otras máquinas de movimiento de tierras, los cuales se calculan en base a los m<sup>3</sup> por hora. En el caso de esta máquina, el volumen real de material movido es demasiado variable y no se considera de relevante importancia, ya que lo más significativo es el número de pasadas que se requieren para nivelar un área dada, es decir, el número de veces que la motoconformadora tiene que recorrer el área hasta nivelarla correctamente. Este número depende del estado inicial de la superficie a nivelar y de la precisión requerida en el acabado.

En general, la velocidad de avance es lenta y constante, para poder permitirle al operador mantener buen control sobre su nivelación. A su vez, la eficiencia de la operación depende de factores como la habilidad del operador y los lineamientos sobre los que ha de guiarse, esto es, de la correcta ubicación de las estacas y de los datos de construcción adecuados.

Esta máquina trabaja en conjunto con otras más durante la construcción de terracerías y quizá no sea la que controle el rendimiento de toda la operación.

Cualquiera que sea el trabajo ejecutado el rendimiento dependerá de las velocidades a que transite durante las diversas fases de la operación, así como del número de pasadas que deberá ejecutar para terminar el trabajo. La fórmula más usual para calcular el rendimiento de la motoconformadora es la siguiente:

$$R = (V \times A \times e \times E) / N \text{ m}^3/\text{hora.}$$

En donde,

V= velocidad de la máquina en m/hora

A= ancho de la faja por nivelar en m

e= espesor de la capa por nivelar en m

E= factor de eficiencia

N= número de pasadas que requiere la máquina para revolver, tender y nivelar la faja de trabajo.

### III.7.5. EQUIPO PESADO DE ACARREO

#### III.7.5.1. MOTOESCREPAS

Para que las motoescrepas puedan ser utilizadas de forma eficiente es necesario tener presente siempre las condiciones de carga, el transporte del material al lugar de descarga y el tendido del material.

En cuanto a la carga debe procurarse cargar la máxima capacidad tolerable efectuando esta operación a distancias cortas, con un llenado de la caja en el menor tiempo posible; encontrándose la profundidad de corte entre 15cm y 20cm en tierra común, ya que una profundidad de corte menor aumenta el tiempo de carga y la distancia de recorrido para llenar, como también una profundidad de corte mayor produce contratiempos y pérdida de eficiencia.

El estado del camino debe permitir las velocidades máximas ya que una superficie mal nivelada aumenta la resistencia al rodamiento, provoca vibraciones y golpes induciendo fatigas al operador, lo cual redundará en disminución del rendimiento. A fin de que el rendimiento sea el máximo, debe efectuarse la descarga a mayor velocidad y en la mínima distancia, procurando a su vez evitar las pendientes desfavorables.

Como limitaciones de las motoescrepas pueden figurar las rampas fuertes en el terreno a excavar y la eventual falta de adherencia de los neumáticos en los terrenos. Así, el rendimiento aumenta cuando no se les obliga a cargar ni en horizontal ni en rampa y cuando los recorridos son en horizontal o en pendientes poco pronunciadas.

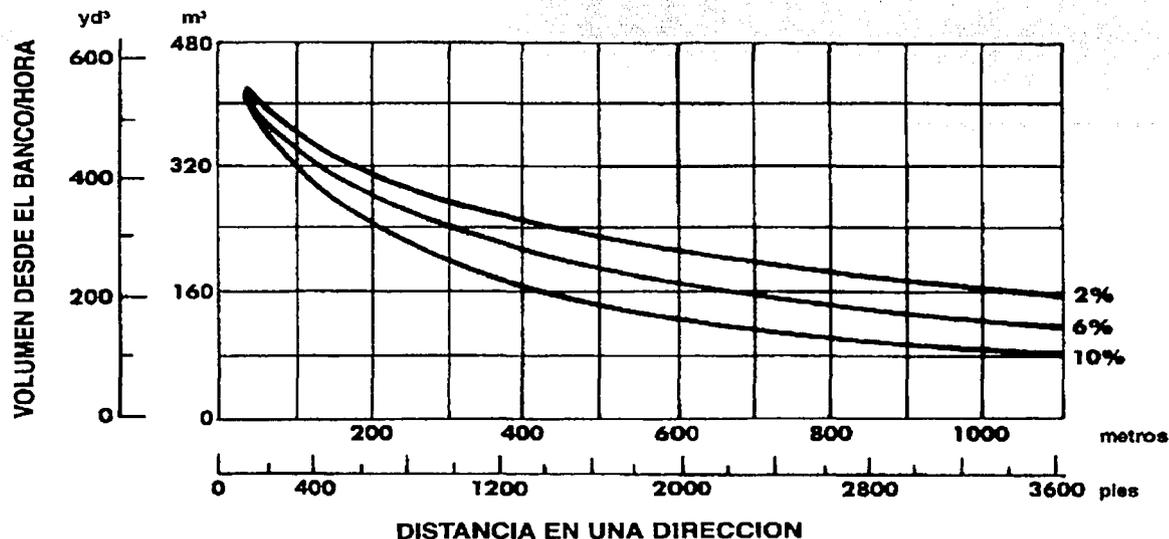
Otra máquina que le ayuda a mejorar el rendimiento lo es el tractor empujador. Este puede atender a tres o cinco motoescrepas que trabajan en equipo. Aunque en la práctica puede alcanzarse una buena producción, el elevado costo del equipo integrado por la motoescrepa y el tractor auxiliar limitan su utilización al caso de proyectos relativamente importantes.

Para la motoescrepa también se tienen gráficas que proporcionan datos de producción, las cuales podemos emplear como información previa. En la práctica, el rendimiento puede variar considerablemente a partir de las siguientes cifras y debe de ser ajustado convenientemente.

La gráfica siguiente tiene como condiciones:

- Un camino de acarreo plano.
- Los porcentajes representan sólo la resistencia a la rodadura.
- La eficiencia es del 100% (hora de trabajo de 60min).
- Densidad del material de 1780 kg/m<sup>3</sup>.
- Carga útil de 21770kg (12.2 m<sup>3</sup>b).
- Peso vacío de 32085kg.
- Tiempo fijo de 1.2minutos.

*DISTANCIA VS PRODUCCION PARA UNA MOTOESCREPA ESTANDAR*



*III.7.5.2. CAMIONES FUERA DE CARRETERA*

Los camiones fuera de carretera generalmente se cargan mediante una excavadora y después de terminar la operación de carga hay un corto espacio de tiempo perdido mientras se posiciona el camión siguiente para su carga. Evidentemente, el tiempo de espera de la excavadora se reduce cuando aumenta el tamaño del camión, por el contrario cuando el camión es más pequeño disminuye el período de carga y aumenta el tiempo de espera. En ambas formas, el rendimiento tanto de la pala como del camión se verán afectados.

Para lograr una operación eficiente, con buen equilibrio entre el cargador y sus unidades de acarreo, el cargador necesita entre 3 y 6 cucharones llenos para cargar la unidad. Si necesita menos de tres, se perderá mucho tiempo en posicionar las unidades de acarreo en el sitio del cargador, y sin duda, éste no estará trabajando a su rendimiento esperado. Si la unidad se carga con más de 6 cucharones llenos, la unidad de acarreo y su operador estarán parados demasiado tiempo sin hacer nada y no se utilizará la producción esperada en el tiempo de recorrido para mover el material.

Por lo tanto, deben seleccionarse adecuadamente el número y capacidad de las unidades de acarreo para que no se incurran en faltantes. El rendimiento de los camiones puede variar entre 10 y 300ton/km por hora.

### **III.7.6. EQUIPO DE COMPACTACION**

En cuanto a este equipo el rendimiento puede determinarse mediante la siguiente expresión, en la cual se ven los factores que pueden afectarlo.

$$R = (V \times E \times D \times A \times 1000) / N$$

En donde:

- R= m<sup>3</sup> de material suelto compactado en una hora
- V= velocidad en km/hra de la máquina que compacta
- E= eficiencia de la operación
- D= profundidad en m de la capa de material suelto
- A= ancho efectivo del rodillo compactador en m
- N= número de pasadas necesarias para compactar

En las siguientes páginas se presentan tablas de producción para dos de los equipos de compactación que ya antes se han mencionado.

Finalmente, para una información más detallada sobre el rendimiento de las máquinas, deben consultarse otras fuentes de información ya que el tema de rendimiento en sí no es sencillo. Cada máquina puede efectuar diversas actividades y, por tanto, puede determinarse para cada una de éstas el rendimiento efectivo. Además, se requiere de otro tipo de tratamiento para su explicación, lo cual abarcaría una cantidad mayor en cuanto a tablas y gráficos, dejando a consulta lo referente a los cálculos y ejemplos en diversas condiciones, en otras fuentes especializadas en la materia.

### **III.8. Selección de maquinaria**

En principio, la selección de la maquinaria adecuada para una obra de terracerías forma parte del proceso de organización de la obra y debe elegirse, para cada tarea en particular, solamente después de tener en cuenta muchos aspectos que están interrelacionados. El tamaño del proyecto, la topografía de la zona, el volumen de tierras a mover y muchos otros factores, influyen en la selección del tipo de máquina.

TABLA DE PRODUCCION PARA TRACTOCOMPACTADORES

MODELO Y PASADAS DE LA MAQUINA*	VELOCIDAD MEDIA		ESPESOR DE LA CAPA COMPACTADA								
	km/h	mph	100 mm m <sup>3</sup> /h	4 pulg yd <sup>3</sup> /hr	150 mm m <sup>3</sup> /h	6 pulg yd <sup>3</sup> /hr	200 mm m <sup>3</sup> /h	8 pulg yd <sup>3</sup> /hr	250 mm m <sup>3</sup> /h	10 pulg yd <sup>3</sup> /hr	
815F	3	6,5	4	419	548	628	822	837	1095	—	
		9,5	6	628	822	942	1232	1256	1643	—	
		13,0	8	837	1095	1256	1643	1675	2191	—	
	4	6,5	4	314	411	471	616	628	822	—	
		9,5	6	471	616	706	924	942	1232	—	
		13,0	8	628	822	942	1232	1256	1643	—	
	5	6,5	4	251	329	377	493	502	657	—	
		9,5	6	377	493	565	739	754	986	—	
		13,0	8	502	657	754	986	1005	1314	—	
	6	6,5	4	286	274	314	411	419	548	—	
		9,5	6	314	411	471	616	628	822	—	
		13,0	8	419	548	628	822	837	1095	—	
825G	3	6,5	4	488	642	731	962	975	1283	1219	1604
		9,5	6	713	962	1089	1444	1425	1925	1761	2406
		13,0	8	975	1283	1463	1925	1950	2566	2438	3208
	4	6,5	4	366	481	534	722	731	962	914	1203
		9,5	6	534	722	802	1083	1069	1444	1338	1804
		13,0	8	731	962	1097	1444	1463	1925	1828	2406
	5	6,5	4	293	385	439	577	585	770	731	962
		9,5	6	428	577	641	866	855	1155	1069	1444
		13,0	8	585	770	878	1155	1170	1540	1463	1925
	6	6,5	4	244	321	366	481	488	642	609	802
		9,5	6	356	481	534	722	713	962	891	1203
		13,0	8	488	642	731	962	975	1283	1219	1604

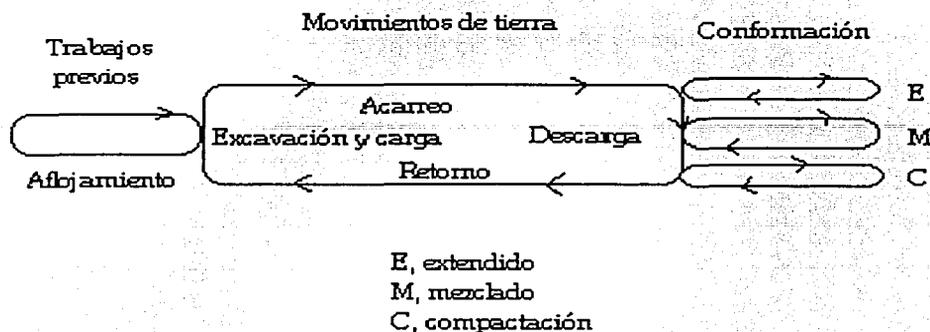
\*El número requerido de pasadas de la máquina depende del tipo de suelo, así como del contenido de humedad, la compactación deseada y el peso de la máquina. REF. MANUAL DE RENDIMIENTO CATERPILLAR.

TABLA DE PRODUCCION 'COMPACTADORES DE UN RODILLO LISO DE ACERO VIBRATORIO'

MODELO Y PASADAS DE LA MAQUINA	VELOCIDAD PROMEDIO MPH	GRUESO DE CAPA COMPACTADA							
		150 mm m <sup>2</sup> /hr	6 pulg yd <sup>2</sup> /hr	200 mm m <sup>2</sup> /hr	8 pulg yd <sup>2</sup> /hr	250 mm m <sup>2</sup> /hr	10 pulg yd <sup>2</sup> /hr	300 mm m <sup>2</sup> /hr	12 pulg yd <sup>2</sup> /hr
CS-323C	3 2,5	240,5	326,0	332,7	434,7	415,9	543,3	499,0	652,0
	3 3,0	299,4	391,2	399,2	521,6	499,0	652,0	598,8	782,4
	3 3,5	349,3	456,4	465,8	608,5	582,2	760,7	698,7	912,8
	3 4,0	399,2	521,6	532,3	695,5	685,4	869,3	798,5	1043,2
	4 2,5	187,1	244,5	249,5	326,0	311,9	407,5	374,3	489,0
	4 3,0	224,6	293,4	299,4	391,2	374,3	489,0	449,1	586,8
	4 3,5	262,0	342,3	349,3	456,4	436,7	570,5	524,0	684,6
	4 4,0	299,4	391,2	399,2	521,6	499,0	652,0	598,8	782,4
	5 2,5	149,7	195,6	199,6	260,8	249,5	326,0	299,4	391,2
	5 3,0	179,7	234,7	239,5	313,0	299,4	391,2	359,3	469,4
	5 3,5	209,8	273,8	279,5	365,1	349,3	456,4	419,2	547,7
	5 4,0	239,6	313,0	319,4	417,3	399,2	521,6	479,1	625,9
CS-431C	3 2,5	343,1	448,3	467,5	597,7	571,8	747,1	688,2	896,5
	3 3,0	411,7	537,9	548,9	717,2	686,2	896,5	823,4	1075,8
	3 3,5	480,3	627,6	640,4	836,7	800,5	1045,9	960,7	1255,1
	3 4,0	548,9	717,2	731,9	956,3	914,9	1195,3	1097,9	1434,4
	4 2,5	257,3	336,2	343,1	448,3	428,9	560,3	514,6	672,4
	4 3,0	308,8	403,4	411,7	537,9	514,6	672,4	617,6	806,9
	4 3,5	360,2	470,7	480,3	627,6	600,4	784,4	720,5	941,3
	4 4,0	411,7	537,9	548,9	717,2	686,2	896,5	823,4	1075,8
	5 2,5	205,9	269,0	274,5	358,6	343,1	448,3	411,7	537,9
	5 3,0	247,0	322,7	329,4	430,3	411,7	537,9	494,1	645,5
	5 3,5	288,2	376,5	384,3	502,0	480,3	627,6	576,4	753,1
	5 4,0	329,4	430,3	439,2	573,8	548,9	717,2	658,7	860,6
CS-433C	3 2,5	343,1	448,3	467,5	597,7	571,8	747,1	688,2	896,5
	3 3,0	411,7	537,9	548,9	717,2	686,2	896,5	823,4	1075,8
	3 3,5	480,3	627,6	640,4	836,7	800,5	1045,9	960,7	1255,1
	3 4,0	548,9	717,2	731,9	956,3	914,9	1195,3	1097,9	1434,4
	4 2,5	257,3	336,2	343,1	448,3	428,9	560,3	514,6	672,4
	4 3,0	308,8	403,4	411,7	537,9	514,6	672,4	617,6	806,9
	4 3,5	360,2	470,7	480,3	627,6	600,4	784,4	720,5	941,3
	4 4,0	411,7	537,9	548,9	717,2	686,2	896,5	823,4	1075,8
	5 2,5	205,9	269,0	274,5	358,6	343,1	448,3	411,7	537,9
	5 3,0	247,0	322,7	329,4	430,3	411,7	537,9	494,1	645,5
	5 3,5	288,2	376,5	384,3	502,0	480,3	627,6	576,4	753,1
	5 4,0	329,4	430,3	439,2	573,8	548,9	717,2	658,7	860,6
CS-533C	3 2,5	436,7	570,5	582,2	760,7	727,8	950,8	873,3	1141,0
CS-563C	3 3,0	524,0	684,6	698,7	912,8	873,3	1141,0	1048,0	1369,2
CS-573C	3 3,5	611,3	798,7	815,1	1064,9	1018,9	1331,2	1222,6	1597,4
CS-583C	3 4,0	698,7	912,8	931,5	1217,1	1164,4	1521,3	1397,3	1825,6
	4 2,5	327,5	427,9	436,7	570,5	545,8	713,1	655,0	855,8
	4 3,0	393,0	513,5	524,0	684,6	655,0	855,8	786,0	1028,9
	4 3,5	458,5	599,0	611,3	798,7	764,2	998,4	917,0	1198,1
	4 4,0	524,0	684,6	698,7	912,8	873,3	1141,0	1048,0	1369,2
	5 2,5	262,0	342,3	349,3	456,4	436,7	570,5	524,0	684,6
	5 3,0	314,4	410,8	419,2	547,7	524,0	684,6	628,8	821,5
	5 3,5	366,8	479,2	489,1	639,0	611,3	798,7	733,6	958,4
	5 4,0	418,2	547,7	568,8	730,2	698,7	912,8	838,4	1095,4

REF. MANUAL DE RENDIMIENTO CATERPILLAR.

En el caso de construcción de terracerías, el ciclo de trabajo puede descomponerse en las siguientes actividades:



El ingeniero debe poseer una idea de las actividades que caracterizan este ciclo, para poder planear los procedimientos de trabajo y la maquinaria adecuada. Todas estas actividades pueden realizarse utilizando un tipo de máquina seleccionada, o bien, mediante una selección de dos o más tipos trabajando en conjunto.

Por tanto, como en la construcción de terracerías las actividades principales son la ejecución de excavaciones y la formación de terraplenes, la selección de maquinaria debe basarse en el conocimiento de las operaciones que puede ejecutar cada máquina en diversas condiciones de trabajo. Algunas máquinas se adaptan para realizar una operación específica, en tanto que otras tienen una amplia variedad de usos. La selección apropiada y el uso eficiente de estas máquinas son partes importantes del campo de las carreteras.

La selección de la maquinaria se basa primordialmente en los trabajos de construcción en los que ha de utilizarse. Los aspectos específicos del trabajo deben conocerse antes de seleccionar una adecuada máquina para su uso. Aunque existe la desventaja de pensar que una sola máquina sirve exclusivamente para un tipo de operación, lo cual en ocasiones no es cierto. Sin embargo, el constructor, al momento de planear su equipo de trabajo, estará consciente de las funciones que puede realizar cada máquina y considerará su posible aplicación en varias actividades.

En el caso de la maquinaria para la construcción de terracerías deben tomarse en cuenta ciertos factores para su selección, los cuales describiré brevemente en los siguientes párrafos.

*El trabajo específico de construcción es el factor primario en la selección de la máquina adecuada. Esto comprende el conocimiento del trabajo físico, la disponibilidad de espacio de trabajo y los requisitos y la disponibilidad de fuerza que la máquina puede proporcionar.*

*La capacidad del equipo es importante por el volumen de material a manejar en relación con el tiempo disponible en el programa de construcción. Se requiere el conocimiento de la naturaleza del material y de la manera de prepararlo para su manejo y colocación final, debiendo poder determinar la cantidad de material que puede trabajarse en un ciclo, es decir, la capacidad de producción de la máquina para movimiento de tierra. Al poder calcular los rendimientos de manera realista, el ingeniero debe conocerlos y aplicar su criterio al utilizarlos para comparar una máquina con otra o al considerar el trabajo simultáneo de varias, en donde los valores de rendimientos deben poder ser comparables para que exista un amplio análisis en la selección de la máquina adecuada.*

Otro factor de selección lo es la versatilidad y adaptabilidad de la máquina. El ingeniero debe considerar este factor cuando tiene varias operaciones que requieren de maquinaria similar, si todas las operaciones pertenecen a un mismo proyecto, algunas máquinas podrán usarse para trabajar en varias actividades. Como ejemplo de una máquina versátil se encuentra el tractor que puede emplearse en una gran variedad de actividades.

*Los costos del método elegido se refieren al procedimiento de trabajo más adecuado desde un punto de vista puramente constructivo, ya que éste puede exigir la utilización de máquinas de un elevado costo económico, las cuales pueden no estar disponibles a su debido tiempo en el sitio de trabajo. También en la comparación del costo con otras alternativas es primordial que se analicen todas las posibles y que se evalúen sus respectivos costos y, una vez que se haya seleccionado un grupo o una combinación adecuada de máquinas, el ingeniero hará su análisis económico del trabajo.*

Dentro de las limitaciones de ejecución están, por ejemplo, el que la selección pudiera estar limitada por el costo de las obras auxiliares provisionales en el caso de que en el área de construcción no esté permitido el arrastre de tierras, que los costos de montaje, transporte y desmontaje de grandes máquinas de excavación no resulten económicos, que la duración de los trabajos implique marchas forzadas, etc. Otra limitante lo es la forma de realizar el trabajo, donde la distancia y el sentido del transporte, la velocidad y frecuencia del movimiento, la secuencia del movimiento, el estado del terreno, etc., deben ser considerados.

En la práctica cada proyecto presenta su propia problemática particular. En muchos casos la selección dependerá de las necesidades de movilidad y de transporte de los materiales, donde el movimiento necesario de la máquina de trabajo y de los materiales para una operación dada requerirá de cierto espacio libre, donde el movimiento planeado de una actividad a otra no se vea afectado.

Las condiciones climáticas son también limitantes en la selección de maquinaria. Deben considerarse la temperatura, la humedad y el viento, ya que todas afectan al funcionamiento de las máquinas y de los operadores de diversas maneras.

Por ejemplo, la mayoría de las máquinas para movimiento de tierras son móviles y transportan muy eficazmente los materiales a largas distancias, pero con la presencia de lluvia o humedad excesiva en el terreno sobre el que viaja la máquina pueden presentarse problemas, ya que cuando la superficie esta mojada la tracción es más deficiente para la máquina y pueden presentarse atascamientos.

Otro caso lo es cuando en un corte en ladera, por estar la tierra demasiado mojada, se presentan una serie de derrumbes debido a la inestabilidad provocada por la lluvia. En el caso del clima ventoso y caliente, pueden producirse efectos de secado en los materiales, los cuales pueden requerir de un control en el contenido de agua durante el proceso de conformación del material en las capas de las terracerías.

Otro factor importante es el correspondiente a *las especificaciones de un contrato de construcción*, las cuales deberían dictar solamente los resultados finales deseados. En tal caso, no se requeriría especificar máquina alguna, ya que existe una gran variedad de máquinas que podrían escogerse para lograr los productos terminados deseados. Para evitar la obtención de un producto terminado indeseable, bajo ciertas circunstancias, es necesario especificar pasos intermedios o maquinaria intermedia. El objeto de tales especificaciones es asegurar los resultados finales deseados que de otra manera serían difíciles de controlar o de obtener. Un ejemplo lo es con el caso de formación de capa subrasante donde se especifica el espesor y el número de capas parciales con las cuales el equipo de compactación puede ejecutar su trabajo. Pero otras especificaciones más rigurosas indican el tipo determinado o el tamaño de una máquina para hacer una operación cuando tal exigencia o restricción puede no ser necesaria.

Por ello, no debe especificarse ningún tipo, tamaño o marca de máquina en particular, cuando hay otras que pueden producir un resultado final satisfactorio. Sin embargo, permanece el hecho de que una variedad de máquinas se especifican bajo diferentes circunstancias para realizar diversas operaciones particulares. La justificación de especificaciones para maquinaria o procedimientos de trabajo para realizar una actividad, no es responsabilidad del ingeniero constructor, debiendo éste regirse por la especificación indicada para cada máquina en particular, a no ser que en el contrato mismo se tengan otras alternativas aprobadas en cuanto a máquinas con las que pueda apoyar y decidir su selección. Siendo entonces que toda especificación relativa a la maquinaria influirá forzosamente en la selección de la misma.

La selección de la maquinaria adecuada también depende directamente del *plazo de ejecución del proyecto*, es decir, de las consideraciones de tiempo. Este plazo puede fijarse en el contrato de construcción mediante una fecha de terminación, un cierto número de días calendario o un cierto número de días hábiles de trabajo. Este tiempo de trabajo indicará los casos en que deba emplearse maquinaria de pequeño o gran volumen, de bajo o alto costo de operación, o bien, de bajo o alto rendimiento.

El último factor que se considera en la selección de maquinaria lo es referente a *las máquinas interdependientes*. Para que éstas trabajen juntas en formas efectiva y económica deben tener regímenes de producción compatibles en cuanto sea posible. Las medidas que se toman en la selección de estas máquinas para asegurar su compatibilidad se basan en el balanceo de las mismas. Esto es, las máquinas que trabajan juntas deben estar balanceadas, en cuanto a tamaño y producción para lograr una operación económica y una parte del balanceo de estas máquinas interdependientes consiste en hacer compatibles los tamaños de sus herramientas de trabajo. Por ejemplo, un cucharón de carga debe poder llenar un recipiente de acarreo con un cierto número de cucharones llenos. Si el cargador es de 1m<sup>3</sup> de capacidad la unidad de acarreo debe tener capacidad de 5 o 6m<sup>3</sup>.

A continuación, señalo aspectos interesantes que deben considerarse en la selección de las máquinas de las que ya he venido hablando anteriormente.

*Los tractores* tienen diversas aplicaciones, pero puede decirse que aquellos con potencia de 50hp a 100hp pueden utilizarse en el escarificado somero y en el arrastre de escrepas remolcables de pequeño volumen, arrastre de rodillos pata de cabra y rodillos de compactadores; de 100hp a 200hp los tractores se usan en el desgarramiento profundo y en el arrastre de motoescrepas pesadas, taluzado grueso y labores similares y, desde 200hp en adelante (los hay hasta de 1000hp) los trabajos pueden ser en el empuje de motoescrepas y desgarramiento a gran profundidad.

En cuanto a la herramienta del tractor, el bulldozer y el angledozer aún teniendo campos de trabajo afines, tienen sin embargo límites de empleo económico bien determinados en relación sobre todo a las características claramente distintas de la hoja que los equipa.

En cuanto a la selección de una *pala excavadora frontal* y una *retroexcavadora*, se entiende que tratándose de máquinas de un elevado costo, una prudencial cautela en la selección puede ser básica para una explotación eficiente. En primer lugar conviene insistir en que la dureza del material a excavar es un elemento básico en la selección de la máquina; cuando el trabajo de excavación sea duro, muy especializado y de gran permanencia en la obra, resulta conveniente el empleo de la pala excavadora frontal, que además, puede ser dotada de implementos que la capacitan para trabajos diversos.

Cuando se trata de excavar arcillas blandas es suficiente cualquier tipo de máquina por débil y pequeña que ésta sea, cuando se pretende hacer la excavación de materiales rocosos duros, aunque sean previamente volados con explosivos no es aconsejable el empleo de palas excavadoras de capacidad inferior a los  $\frac{3}{4}$  de m<sup>3</sup>.

También debe considerarse que la pala y la retroexcavadora necesitan de un lugar suficientemente amplio para poder evolucionar con facilidad. Los espacios libres necesarios para su operación vienen indicados en los manuales de rendimiento que se entregan con toda máquina.

Otro punto importante que hay que tener en cuenta al adquirir una pala o una retroexcavadora es la necesidad de su cambio de tajo una vez acabada la realización de cada trabajo. Cuando se pretende hacer excavaciones muy pequeñas en sitios muy distantes unos de otros lo recomendable es adquirir una máquina sobre neumáticos. Cuando no solamente el volumen a excavar sea grande en cada tajo sino que también las distancias entre los mismos sean pequeñas, estará indicada una máquina sobre orugas. También está indicado el adquirir una máquina sobre orugas cuando los volúmenes a excavar sean grandes y el material muy consistente, aunque la distancia entre los distintos puntos de excavación sea muy importante.

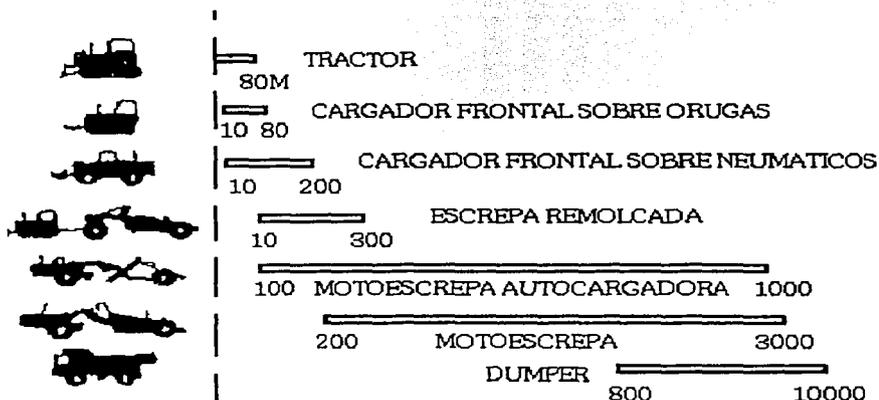
Además, otro factor importante a considerar en la selección lo es la forma de trasladar a este tipo de máquinas, ya que el transporte sobre plataformas especiales de ferrocarril o sobre plataformas de 'trailers' en la carretera puede ser difícil, aunque en este caso es muy frecuente que haya que desmontarlas en sus tres partes fundamentales.

Para elegir una pala excavadora frontal y una retroexcavadora hay que tener en cuenta el volumen de las cajas de los camiones fuera de carretera que las sirven. Se da como regla general, para la selección de éstas máquinas, el que los camiones de transporte puedan ser llenados con cinco cucharadas o seis como máximo de la máquina que efectúa la carga.

En el caso de excavaciones con *dragas de arrastre* el transporte es muy corto y se realiza por giro de la pluma de la misma máquina. No obstante, hay casos en que la draga carga vehículos de transporte. Si se llega a seleccionar este tipo de máquina es por los grandes volúmenes de excavación en materiales fangosos o sueltos presentados en el proyecto.

La selección de *unidades de acarreo* adecuadas para una operación dada de movimiento de materiales depende de un análisis completo del trabajo. Dicho análisis debe considerar cada una de las partes del ciclo de trabajo de cada máquina.

#### EQUIPO DE ACARREO PARA MOVIMIENTO DE TIERRAS



Para una operación de movimiento de materiales el ciclo comprende: la carga, el acarreo, la descarga, el retorno y el acomodo para tomar la siguiente carga. Los factores que influyen en la selección de las unidades de acarreo pueden relacionarse conjuntamente en el ciclo anterior.

La etapa de carga requiere que se conozcan el tamaño y el tipo de la máquina cargadora, el tipo y el estado del material que se va a cargar, la capacidad de una unidad de acarreo y la destreza de los operadores.

La etapa de acarreo o de traslado requiere que se conozcan la distancia a la que tiene que moverse cada carga, el estado de la ruta de acarreo, las pendientes que hay en la ruta, los cambios de dirección y la habilidad del equipo de acarreo para trabajar bajo las condiciones del camino, las pendientes y demás adversidades que haya en su recorrido.

La descarga o vaciado afecta la selección de la unidad de acarreo por el tipo y el estado del material, la manera en que ha de manejarse el material en el sitio de descarga y el tipo de facilidad que ofrece el equipo para las maniobras en un área de descarga restringida.

El viaje de retorno debe cubrirse como el de acarreo con carga y generalmente este componente del ciclo de acarreo no rige la selección del tipo de unidad pero puede presentarse una excepción cuando la unidad de acarreo deba regresar vacía ascendiendo una pendiente mucho más fuerte o una ruta que esté en peores condiciones que la que tuvo que recorrer con carga y; el acomodo de la unidad de acarreo para recibir su carga requiere conocer el tipo de máquina cargadora, las diversas posiciones que debe adoptar el cargador para cargar material y la facilidad de maniobras que ofrece la unidad de acarreo para tomar una buena posición para su carga.

Para una operación en la que deba moverse material suelto y en la cual la distancia de acarreo en un sentido sea a más de varios cientos de metros y no haya otros factores que permitan que sea más económica la utilización de motoescrepas, probablemente sea preferible emplear camiones fuera de carretera. Pero si se puede recorrer en forma efectiva una parte significativa de esa distancia de acarreo sobre caminos ya existentes, la selección se inclinará hacia camiones para tránsito sobre carretera.

También uno de los aspectos de selección de unidades de acarreo lo es el equilibrio entre los tamaños de las máquinas y otro la producción de los equipos dependientes. La flotilla de acarreo debe ser de un tamaño tal que permita que el *cargador* logre su productividad normal en todo momento y su máximo régimen de producción por lo menos en una parte del tiempo. Empero, esto no debe lograrse a expensas de tener un número excesivo de unidades de acarreo para la operación total. En trabajos muy grandes, la planeación puede indicar la existencia de equipos ociosos de repuesto que se tengan para entrar en servicio en cualquier momento.

Por ello, la máquina cargadora, que pudiera ser un *cargador frontal*, debe seleccionarse del tamaño adecuado para que no interfiera en el trabajo en conjunto de todas las máquinas que trabajan en terracerías; siendo razonable el empleo de la máquina montada sobre neumáticos, ya que es la más adecuada a la mayoría de las operaciones que puede efectuar.

El análisis de la selección de un *camión fuera de carretera* es muy difícil de determinar y depende mucho de las condiciones locales. En la práctica, el tamaño óptimo de camión suele estar entre 3 y 10 veces el tamaño de las cucharas cargadoras, siendo 5 un buen valor medio; pero la selección final del tamaño de camión depende mucho de la experiencia adquirida en obras anteriores, con suelos de características diversas y con maquinaria distinta.

La *motoescrepa*, es en general, el equipo óptimo y más económico para los trabajos de corte y relleno cuando la distancia de acarreo está comprendida entre 90 y 900m. Pueden seleccionarse diversos tipos y formas de motoescrepas, pero la unidad de dos motores proporciona mayor tracción aunque a un costo adicional de alrededor del 25%, siendo más económica cuando hay pendientes adversas de 10-15% en los acarreos con carga en ciclos cortos.

Dentro de los aspectos generales a considerar en la selección de las motoescrepas también está el correspondiente a los caminos de acarreo, los cuales deben ser suficientemente anchos para permitir el desplazamiento de éstas, debiendo estar bien conservados, carecer de rodadas y estar bien drenados.

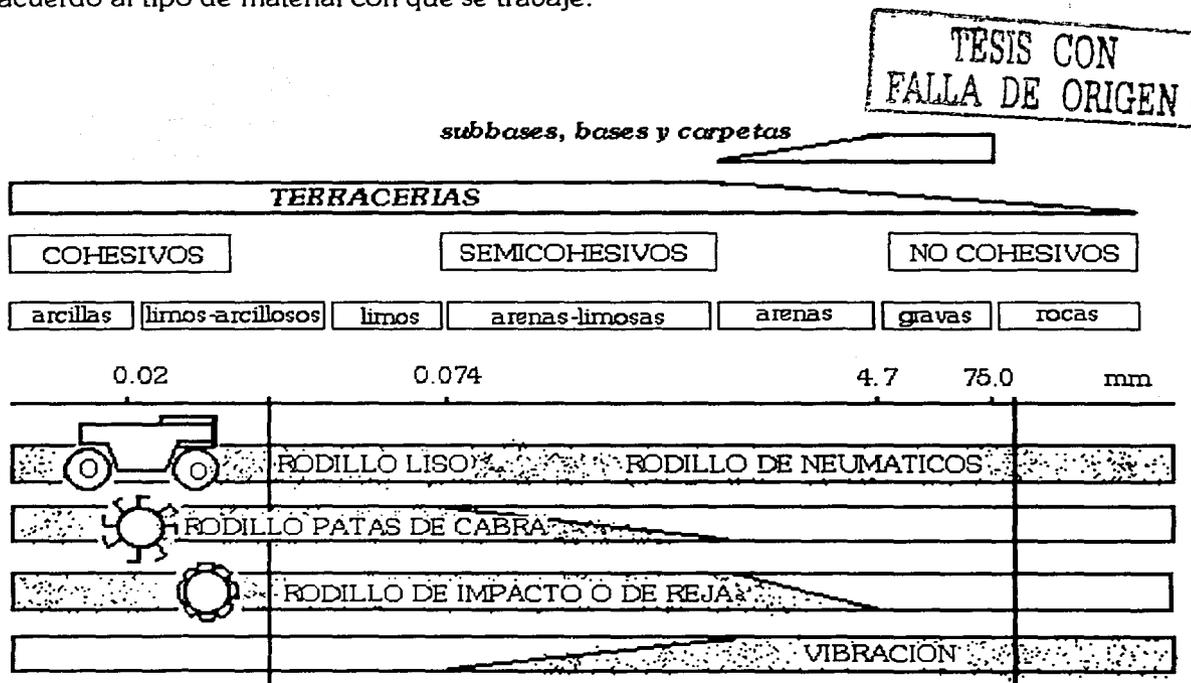
También la forma y la extensión del área a descubrir, así como lo que ha de hacerse con la tierra excavada, fijará el empleo de motoescrepas. Si el área es pequeña, las motoescrepas más chicas dotadas de características de autocarga y tal vez un tractor de orugas, pueden ser las más convenientes a usar. En cambio, para un área grande, es más económico usar motoescrepas grandes de alta velocidad con tractor empujador para ayudar a la carga.

Hablando de la *motoconformadora*, si la distancia media de acarreo es de alrededor de 30m o menor, debe compararse el costo de utilización de un tractor equipado con hoja frontal de empuje o ésta. El costo de una motoconformadora es fácilmente compensado por los menores costes de conservación y de reparación de los camiones. Cuando a ésta disminución de costos se añade al menor desgaste de las cámaras y un mayor rendimiento resultante de las grandes velocidades que se pueden alcanzar, la motoconformadora aparece como una máquina fundamental en las operaciones de movimiento de tierras, debiendo seleccionarse aquella del tamaño conveniente de acuerdo al grado del proyecto.

Los principales factores que intervienen en la selección del *equipo de compactación* que se utilizará en un proyecto dado, comprenden las especificaciones bajo las cuales debe realizarse el trabajo y las alternativas del equipo disponible por el contratista.

Con frecuencia para un conjunto dado de circunstancias, se puede utilizar con éxito más de un tipo de equipo y procedimientos de compactación; no obstante, es usual que se tenga una combinación que ofrezca el resultado más económico. Entre los factores pertinentes que deben considerarse se encuentran el espesor de cada capa, pesos totales y presiones unitarias ejercidos sobre el suelo, número necesario de pasadas, velocidades de operación, tipo de suelo y contenido de humedad.

En la siguiente figura se da una indicación sobre la selección de equipo de compactación de acuerdo al tipo de material con que se trabaje.



Por lo que para una operación económica, a partir de los diversos tipos de compactadores que hay, debe hacerse un balance apropiado entre los equipos de compactación; viéndose entonces difícil la selección del equipo de compactación.

Lo que brevemente se ha explicado en este tema ayuda a afirmar que hay muchas variables en el movimiento de tierras tales como el tamaño y la complejidad del contrato, el proyecto, la naturaleza del material, las condiciones del clima y la habilidad y experiencia de los operadores y supervisores, las cuales hacen difícil la selección de maquinaria para construcción de terracerías.

En todo caso, al seleccionar la maquinaria deberá seguirse una línea realista, considerando la actividad de construcción por ejecutar, la condición del lugar sobre el que ha de hacerse la construcción, las alternativas posibles de selección de máquinas para realizar las operaciones, las combinaciones posibles, productividades y costos de operación para cada tipo de máquina, de tal forma que la construcción del proyecto con el conjunto de máquinas seleccionadas previamente sea eficiente y económica.

### **III.9. Adelantos modernos en maquinaria**

En la actualidad, las máquinas de construcción han cambiado a comparación con las que se tenían hace una década. Pero esto no quiere decir que dicho cambio sea de un grado tal que ahora sean totalmente diferentes. Su perfeccionamiento en sistemas de montaje, de accionamiento, de adaptabilidad a diferentes herramientas, aumento de potencia y dimensiones, etc., son sólo algunos de los adelantos realizados. Sin embargo, las máquinas comerciales tienen una capacidad limitada y prefijada, debido a que su fabricación en serie exige el acomodarse por parte de los fabricantes a los tipos más usualmente solicitados por los constructores y a las necesidades requeridas.

No obstante, varias de las máquinas antiguas se emplean todavía, pero poco a poco van siendo sustituidas por las nuevas. Y, aún así, las nuevas también van siendo desplazadas conforme la tecnología las rebasa. Tal es el caso que se presenta en Japón, donde las grandes excavaciones y los movimientos de tierra, están comenzando a efectuarse con máquinas a control remoto. Estas, disponen de sensores y cámaras de video instaladas en diferentes partes de su chasis, para poder tener controlados todos y cada uno de sus movimientos. A su vez, en otro lugar alejado de la obra en construcción, se encuentra completamente instalado un sistema de computación manejado por personal eficiente que se encarga de realizar los movimientos y verificar los mismos, conforme avanza la construcción. Lo cual garantiza la seguridad del personal que labora en la obra y altos rendimientos en las máquinas; incluso, el sitio de construcción puede quedar completamente vacío, es decir, sin gente trabajando al lado de las máquinas y, además, puede laborarse tanto en el día como en la noche. Esto nos confirma que una vez más la tecnología avanza en el sentido de la construcción, donde es parte también importante la seguridad de los trabajadores dentro del medio.

**IV**

***MATERIALES DE  
CONSTRUCCION***

## **capítulo IV**

# **MATERIALES DE CONSTRUCCION**

En la construcción de una carretera se utilizan una gran variedad de materiales desde los pétreos y térreos hasta los industriales como el cemento, la cal y el asfalto. Estos materiales deben cumplir con ciertas características que se señalan en las normas de calidad, por ejemplo, en las de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Como ya se ha mencionado anteriormente, las capas de las terracerías se construyen con materiales provenientes de las excavaciones efectuadas en los cortes o en los préstamos cercanos a la línea de trabajo, los cuales presentan características adecuadas para cumplir las funciones que tendrán en la estructura de la carretera y, más propiamente, en la estructura del pavimento.

En general, cualquier suelo natural es aprovechable para construir terracerías, exceptuándose los suelos muy orgánicos o aquellos cuyo rebote elástico sea importante y, por lo tanto, produzcan deformaciones excesivas a las capas superiores.

### **IV. 1. Materiales empleados**

Los materiales para terracerías provienen de la corteza terrestre y ya sea que se extraigan de cortes o préstamos para ser utilizados en la construcción de terraplenes, se pueden emplear solos, mezclados o estabilizados con otros materiales naturales o industriales, de tal forma que reúnan las características adecuadas para su uso. Las capas de materiales que se localizan a mayor profundidad, con respecto al pavimento, pueden ser de menor calidad en relación con el nivel de esfuerzos que recibirán. Pero ello no significa que la calidad de los materiales deba ser deficiente ya que éstos ciertamente deben de cumplir con normas no muy rigurosas, lo cual permite construir las terracerías de manera económica al poder utilizar los materiales extraídos de las excavaciones adyacentes a línea central de la carretera.

Los materiales para las terracerías se clasifican en fragmentos de roca y suelos según su utilidad (cuadro A) y, para obtener mejores resultados al utilizarlos se recomienda, de acuerdo con sus características, seguir con las normas de calidad indicadas en el cuadro B.

En el caso de que por condiciones de extrema necesidad tengan que emplearse en el terraplén materiales que no deban de usarse, las personas encargadas del proyecto o la propia SCT con base en pruebas de laboratorio podrán autorizar su empleo, fijando los porcentajes respectivos de compactación que juzguen adecuados, así como señalando las pruebas para determinar los pesos volumétricos secos máximos.

Si se encuentra con una terracería existente en que la capa subrasante no reúna la características adecuadas, entonces tendrá que dársele un tratamiento adecuado para que cumpla con las normas, o bien, si ello no es posible, se construirá una nueva capa subrasante sobre la anterior o después de rebajar ésta en el espesor necesario si se tiene la necesidad de respetar un determinado nivel de la subrasante.

Existen varias normas de calidad para los materiales. Además de las indicadas en los cuadros A y B editadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes también se tienen las especificadas por la AASHTO, las cuales pueden verse en las siguientes tablas.

VALORES DE CALIDAD PARA MATERIALES DE TERRAPLEN

CARACTERISTICA	CALIDAD		
	DESEABLE	ADECUADA	TOLERABLE
Granulometría: (Porcentaje en volumen y tamaño en mm)	80% mínimo de 76 95% mínimo de 200	80% mínimo de 750	-
Tamaño máximo (mm)	-	1000 o ½ espesor del cuerpo	1500 o ½ espesor del cuerpo
Porcentaje de finos (Mat. 0.074mm)	30 máx.	40 máx.	40 máx.
Límite líquido LL (%)	40 máx.	50 máx.	60 máx.
Índice plástico IP (%)	15 máx.	20 máx.	25 máx.
Compactación (AASHTO estándar con humedad ligeramente mayor a la óptima de prueba, %)	95 mín.	95 ± 2	95 ± 2
Valor Relativo de Soporte (Compactación dinámica, %)	10 mín.	10 mín.	5 mín.
Expansión (%)	3 máx.	3 máx.	3 máx.

Especificaciones AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)



Tipo	Subtipos	Identificación		Símbolo de Grupo	Notas	
<p style="text-align: center;">S U E L O S</p> <p style="text-align: center;">(Partículas menores de 7.6cm)</p>	<p style="text-align: center;">DE PARTICULAS GRUESAS. Más de la mitad del material se retiene en la malla No.200</p> <p style="text-align: center;">Se estima que las partículas más apreciables a simple vista corresponden a un tamaño de 0.074mm (Malla No.200)</p> <p style="text-align: center;">GRAVAS. Más de la mitad de la fracción gruesa se retiene en la malla No.4</p> <p style="text-align: center;">ARENAS. Más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla No.4</p> <p style="text-align: center;">Para clasificación visual puede considerarse 5mm como equivalente a la abertura de la malla No.4</p>	<p style="text-align: center;">Gravas limpias</p> <p>(Poco o nada de partículas finas)</p>	<p>Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, poco o nada de finos. Deben tener un coeficiente de uniformidad <math>C_u</math> mayor de 4 y un coeficiente de curvatura <math>C_c</math> entre 1 y 3.</p> <p>Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena, poco o nada de finos. No satisface los requisitos de graduación para GW.</p>	<p>Menos de 5% en peso pasa la malla No.200.</p> <p>Menos de 5% en peso pasa la malla No.200.</p>	<p style="text-align: center;">GW</p> <p style="text-align: center;">GP</p>	<p>4. Como los símbolos de los suelos proceden en general de los nombres en el idioma inglés, a continuación se dan las equivalencias de las letras que aparecen en los mismos:</p> <p>G- Grava S- Arena M- Limo C- Arcilla W- Bien graduado P- Mal graduado L- Baja compresibilidad H- Alta compresibilidad O- Suelo orgánico Pt- Turba</p> <p>5. Tratándose de suelos con partículas gruesas, en que el porcentaje en peso que pasa la malla No.200 queda comprendido entre 5 y 12%, se tienen casos frontera que requieren el uso de símbolos dobles.</p> <p>Ejemplos:</p> <p>GW-GC, corresponde a una mezcla de grava y arena bien graduada, con cementante arcilloso.</p> <p>GW-SM, corresponde a un material bien graduado con menos de 5% pasando la malla No.200 y formada su fracción gruesa por iguales proporciones de grava y arena.</p>
		<p style="text-align: center;">Gravas con finos</p> <p>(Cantidad apreciable de partículas finas)</p>	<p>Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo, mal graduadas.</p> <p>Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcillas, mal graduadas.</p>	<p>Más de 12% en peso pasa la malla No.200 y las pruebas de límites efectuadas en la fracción que pasa la malla No.40, la clasifican como un suelo ML, debajo de la línea A de la carta de plasticidad, o <math>I_p &lt; 6</math>.</p> <p>Más de 12% en peso pasa la malla No.200 y las pruebas de límites efectuadas en la fracción que pasa la malla No.40, la clasifican como un suelo CL, arriba de la línea A de la carta de plasticidad, o <math>I_p &gt; 6</math>.</p>	<p style="text-align: center;">GM</p> <p style="text-align: center;">GC</p>	
		<p style="text-align: center;">Arenas limpias</p> <p>(Poco o nada de partículas finas)</p>	<p>Arenas bien graduadas, arenas con grava, poco o nada de fino. Deben tener un coeficiente de uniformidad <math>C_u</math> mayor de 6 y un coeficiente de curvatura <math>C_c</math> entre 1 y 3.</p> <p>Arenas mal graduadas, arenas con grava, poco o nada de finos. No satisfacen los requisitos de graduación para SW.</p>	<p>Menos de 5% en peso pasa la malla No.200.</p> <p>Menos de 5% en peso pasa la malla No.200.</p>	<p style="text-align: center;">SW</p> <p style="text-align: center;">SP</p>	
		<p style="text-align: center;">Arenas con finos</p> <p>(Cantidad apreciable de partículas finas)</p>	<p>Arenas limosas, mezclas de arena y limo mal graduadas.</p> <p>Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcillas mal graduadas.</p>	<p>Más de 12% en peso pasa la malla No.200 y las pruebas de límites, efectuadas en la fracción que pasa la malla No.40, la clasifican como un suelo ML, debajo de la línea A de la carta de plasticidad, o <math>I_p &lt; 6</math>.</p> <p>Más de 12% en peso pasa la malla No.200 y las pruebas de límites, efectuadas en la fracción que pasa la malla No.40, la clasifican como un suelo CL, arriba de la línea A de la carta de plasticidad, o <math>I_p &gt; 6</math>.</p>	<p style="text-align: center;">SM</p> <p style="text-align: center;">SC</p>	

Tipo	Subtipos	Identificación	Símbolo de grupo	Notas			
SUELOS (Partículas menores de 7.6cm)	DE PARTÍCULAS MÁS FINAS. Más de la mitad del material pasa la malla No.200.  Se estima que las partículas más pequeñas apreciables a simple vista corresponden a un tamaño de 0.074mm. (Malla No.200)	Limos y arcillas. Límite líquido.	Menor de 50%	Limos orgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas ligeramente plásticas. (Dentro de la zona I de la carta de plasticidad)	ML	6. Los coeficientes de Uniformidad Cu y de Curvatura Cc que se utilizan para juzgar la graduación de los suelos GW, GP, SW y SP, están dados por las siguientes expresiones:  $Cu = D_{60}/D_{10}$ $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$	
			Entre 50 y 100%	Arcillas inorgánicas de baja o mediana plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres. (dentro de la zona II de la carta de plasticidad)	CL		
			Mayor de 100%	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de media y alta plasticidad. (Dentro de la zona I de la carta de plasticidad)	OL		
			Altamente orgánico	Limos inorgánicos de baja o mediana plasticidad, arenas finas o limos micáceos o diatomáceos, limos elásticos. (Dentro de la zona III de la carta de plasticidad)	MH1		7. La clasificación de los suelos de partículas finas se determina, principalmente, haciendo pruebas de límite de plasticidad, a la fracción que pasa la malla No.40 para ubicarlos en la carta de plasticidad.
				Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas. (Dentro de la zona IV de la carta de plasticidad)	CH1		
				Limos y arcillas orgánicas de media y alta plasticidad. (Dentro de la zona III de la carta de plasticidad)	OH1		
Limos inorgánicos de alta plasticidad. (Dentro de la zona V de la carta de plasticidad)	MH2						
		Arcillas inorgánicas de muy alta plasticidad. (Dentro de la zona VI de la carta de plasticidad)	CH2	8. Se ha observado que los suelos OL, OH1 y OH2, caen dentro de las mismas zonas de la carta de plasticidad que los suelos ML, MH1 y MH2, respectivamente. Sin embargo, casi siempre quedan más cerca de la línea A que estas últimas, en virtud de presentar mayores índices plásticos.			
		Limos y arcillas orgánicas de alta plasticidad. (Dentro de la zona V de la carta de plasticidad)	OH2				
		Fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa. Turba y otros suelos altamente orgánicos.	Pt				



**CLASIFICACION DE MATERIALES PARA TERRACERIAS. CUADRO B**

S U E L O S				F R A G M E N T O S			R O C A		Tipo	Sub-tipos	Símbolo de Grupo	Características para su acomodo	Pruebas específicas para la determinación de los PVSM	Recomendaciones para su uso					
Finos		Gruesos		CHICOS Mayores de 7.6cm y menores de 20cm.	MEDIANOS Mayores de 20cm y menores de 75cm.	GRANDES Mayores de 75cm y menores de 2m.	Cuerpo del Terraplén	Capa Subrasante en Terraplenes y Cortes											
Alimento orgánicos	Turba	Pt	Límite líquido > de 100				MH2 CH2 OH2	Susceptibles de compactarse con equipo especial para este tipo de tratamiento.	Susceptibles de acomodarse por bandeo con tractor y/o con el equipo de construcción	Susceptibles de acomodarse por bandeo con tractor y/o con el equipo de construcción	Susceptibles de acomodarse por bandeo con tractor y/o con el equipo de construcción	Pueden utilizarse en todo el cuerpo del terraplén, tendiéndolos en capas del espesor mínimo que permita el tamaño de los fragmentos mayores.	Pueden utilizarse en todo el cuerpo del terraplén, acomodándolos en su posición más estable, entendiéndose que el simple volteo no constituye un acomodo adecuado.	Pueden utilizarse en todo el cuerpo del terraplén, tendiéndolos en capas del espesor mínimo que permita el tamaño de los fragmentos mayores.	Pueden utilizarse en todo el cuerpo del terraplén, acomodándolos en su posición más estable, entendiéndose que el simple volteo no constituye un acomodo adecuado.	El proyecto deberá especificar aquellos casos en que no sea posible construir por que predominen éstos, podrán en algunas ocasiones, ser susceptibles de compactación. Esto podrá solo hacerse en el cuerpo del terraplén y el proyecto fijará el procedimiento a seguir en estos casos.	NO DEBEN USARSE	NO DEBEN USARSE	
			Límite líquido ÷ 50 y 100	MH1 CH1 OH1	Porter Porter Proctor	90% de compactación	No deberán usarse materiales con valor relativo de soporte saturado menor de 10% o expansión mayor de 3%.												95% de compactación
			Límite líquido < de 50	ML CL OL	Porter si $Ip < 6$ Proctor si $IP > 6$ Proctor														
			Arenas	SW SP SM SC	Porter Porter Porter Proctor														
		Gravas		GW GP GM GC															

## VALORES DE CALIDAD PARA MATERIALES DE LA CAPA SUBRASANTE

CARACTERISTICA	CALIDAD		
	DESEABLE	ADECUADA	TOLERABLE
Granulometría (Tamaño máximo en mm)	76	76	76
Porcentaje de finos (Mat. 0.074mm)	25 máx.	35 máx.	40 máx.
Límite líquido LL (%)	30 máx.	40 máx.	50 máx.
Índice plástico IP (%)	10 máx.	20 máx.	25 máx.
Compactación (AASHTO estándar con humedad de compactación hasta 3% mayor a la óptima, %)	100 mín.	100 ± 2	100 ± 2
Valor Relativo de Soporte (Compactación dinámica, %)	30 mín.	20 mín.	15 mín.

*Especificaciones AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)*

En algunos casos y a juicio del proyecto, podrán emplearse en la construcción de la capa subrasante, materiales estabilizados con cal, cemento o productos asfálticos, siendo necesario para esto hacer los estudios y pruebas de laboratorio pertinentes antes de iniciar con la construcción de dicha capa.

Finalmente, la clasificación, características y requisitos para el uso adecuado de los materiales empleados en la construcción de una obra de terracerías deberán verificarse haciendo las pruebas necesarias de acuerdo con las que se indican más adelante.

#### **IV.2. Bancos de materiales**

Indudablemente uno de los costos más relevantes en la construcción de carreteras es el correspondiente a los materiales. Su localización y selección es uno de los tantos problemas básicos que debe prever el ingeniero. Normalmente al contratista se le proporciona la información completa y detallada de la disponibilidad de los materiales y los datos referentes a la localización de los sitios de préstamos de los que han de salir los suelos y rocas que formarán la obra, exceptuando el caso en que sea el propio contratista quien los proponga en la etapa de proyecto. Estos datos incluyen información sobre la geotecnia de la línea central de la carretera, las características y utilización de los materiales con los que se trabajará, las pruebas de campo y de laboratorio específicas, los volúmenes de proyecto e incluso, si así se requiere, indicaciones sobre posibles métodos de tratamiento y estabilización de suelos.

Los bancos de materiales son lugares donde existe un volumen alcanzable y explotable de suelos o rocas que puede emplearse en la construcción de una determinada parte de la estructura del pavimento, satisfaciendo las especificaciones de calidad y los requerimientos de volumen necesarios. Los bancos seleccionados e indicados en el proyecto, de entre todos los mejores y factibles, deben garantizar lo siguiente:

- Una calidad de los materiales extraíbles juzgada en relación con el uso que tendrán.
- Fáciles accesos y poder de explotación por medio de procedimientos eficientes.
- Una producción con las mínimas distancias de acarreo de los materiales a la obra.
- Procedimientos constructivos más sencillos y económicos durante su excavación y colocación final de materiales en la obra, requiriendo a su vez de los mínimos tratamientos.
- Una explotación que no conduzca a problemas de orden legal de lenta solución y que puedan dañar a los habitantes cercanos al lugar de trabajo.

Comúnmente se localizan bancos para materiales de terracerías y pavimentos, siendo muchas de las veces el mismo banco el que proporciona material para varios usos, sometiendo su producto a diferentes tratamientos. Los bancos para terracerías abundan y son fáciles de localizar, pues para ese fin sirven casi todos los materiales que sean económicamente explotables. Estos bancos no suelen exceder los 5km entre banco y banco, aunque pueden haber casos especiales en que estas distancias sean mucho mayores y lleguen a los 10km.



Foto IV.1. Vista de un banco de materiales para terracerías.



Foto IV.2. Banco de materiales donde se observan los estratos de suelos, los vehículos de acarreo y la forma de trabajo con tractores.



Foto IV.3. Otra vista del banco de materiales anterior donde se observa el equipo de acarreo.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

En el caso de los materiales para las capas del pavimento, a diferencia de los requeridos para las terracerías, éstos están condicionados por diversos tratamientos mecánicos para poder satisfacer las normas de calidad, necesitando de la instalación de equipos especiales y plantas complejas para poder llegar al tamaño del material requerido.

### **IV.3. Tratamiento de materiales**

Los materiales procedentes de bancos que van a ser usados en el cuerpo del terraplén de las terracerías no suelen sujetarse a ningún tipo de tratamiento especial y se utilizan tal como se obtienen. En esa condición natural deberán cumplir las especificaciones constructivas y de calidad que se señalen, pero se considera universalmente irrazonable desde el punto de vista económico el empleo de tratamientos, salvo casos muy especiales. Sin embargo, puede darse el caso de que los materiales cercanos a las obras no cumplan con los requisitos necesarios para poder ser utilizarlos en las capas subyacente y subrasante y, entonces, es necesario realizar uno o varios tratamientos que puedan mejorar sus características.

Los tratamientos más usuales son el disgregado, el cribado, el triturado, la estabilización y la compactación. Aunque éste último tratamiento se considera como una de las tantas actividades implícitas que conforman una obra de terracerías, siendo necesario para poder terminar de construir completamente las capas de las terracerías y de los pavimentos.

#### **IV.3.1. DISGREGADO**

Esta operación se hace generalmente en bancos de suelo duro, de roca muy alterada o en materiales con la consistencia de aglomerados poco cementados. Para ejecutar este tratamiento pueden emplearse compactadores de rodillos lisos de acero, los cuales pasan sobre el material hasta que el desperdicio, es decir, la cantidad de partículas con tamaño mayor que el necesario, sea menor del 10%. Si el costo del tratamiento es alto, ya sea por el equipo de compactación o porque el desperdicio resulte ser mayor al especificado, entonces debe pensarse en la utilidad de los otros tratamientos.

#### **IV.3.2. CRIBADO**

Generalmente se utiliza para obtener un material de granulometría adecuada o para eliminar porcentajes altos de partículas mayores que el tamaño máximo requerido. Porcentajes de materiales desperdiciados arriba del 10% o 15% conviene eliminarlos con éste método.

Para el cribado se utilizan plantas con mallas o tamices de diferentes tamaños, con aberturas ligeramente mayores al tamaño de la partícula a separar, y una serie de bandas para transportar los materiales a las mallas o a los sitios de depósito.

### IV.3.3. TRITURADO

Es el tratamiento a que generalmente se recurre para llegar a la granulometría adecuada a partir de materiales naturales muy gruesos o de fragmentos de roca. Cuando el desperdicio del cribado es mayor que el 25%, lo más conveniente es triturar. La trituración se efectúa en varias etapas según el producto final al que desee llegarse y suele realizarse en plantas muy completas que incluyen alimentadores, bandas de transportación, plantas de cribado, elevadores de material y máquinas trituradoras. Es importante la relación de tamaños de la partícula en las etapas inicial y final del proceso, lo cual define el tipo de equipo que ha de usarse y el costo de la operación. Con las trituradoras puede obtenerse material con la granulometría necesaria.

De acuerdo con los tamaños de material que admiten las trituradoras, éstas pueden ser primarias, secundarias o terciarias. Las primarias admiten fragmentos de roca de hasta 75cm y producen fragmentos con un tamaño máximo de 15cm. Las trituradoras secundarias trabajan con material de hasta 25cm reduciéndolo a un tamaño máximo de 5cm. Las terciarias aceptan partículas menores de 5cm transformándolas en grava chica, arena y polvos.



Foto IV.4. Banco de materiales formado en su mayor parte de roca. La retroexcavadora toma el material y lo coloca en la trituradora.



Foto IV.5. Vista panorámica del banco de materiales anterior, donde se observan las bandas transportadoras que cargan el material ya triturado.



Foto IV.6. Retroexcavadora colocando el material de mayor tamaño en la trituradora.

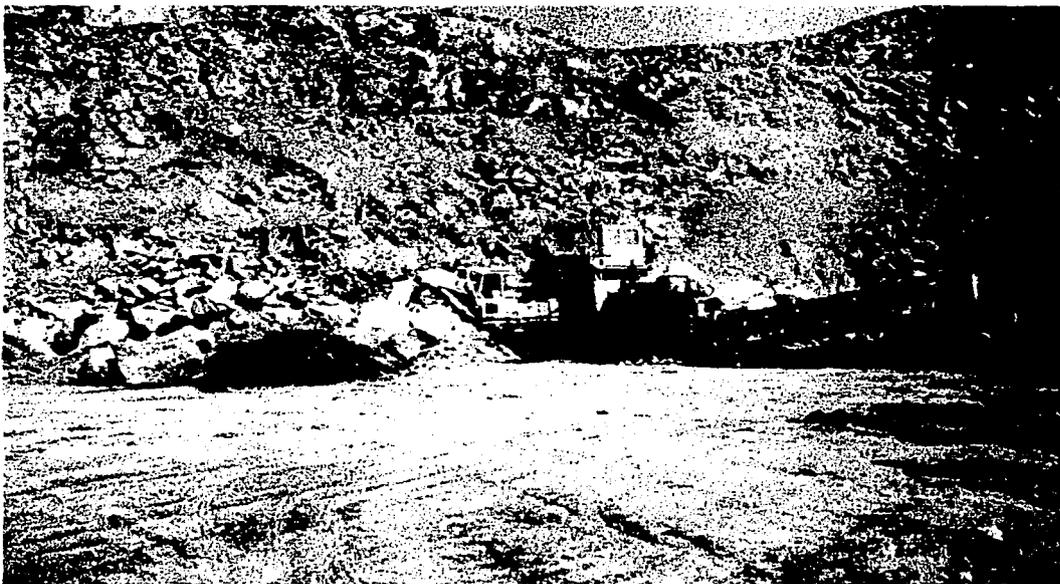


Foto IV.7. Otra vista del banco de materiales donde se ve al pie del mismo la máquina excavadora, la máquina de trituración y parte de las bandas transportadoras.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### **IV.3.4. ESTABILIZACION**

Es normal que el ingeniero encuentre no adecuados los materiales que ha de utilizar con algún fin en la construcción de terracerías. Puede aceptarse el material como tal y efectuar la construcción sobre un diseño determinado, eliminar el material inadecuado y sustituirlo por otro más conveniente, o bien, modificar las propiedades del material existente para que cumpla con las especificaciones requeridas.

La estabilización es un procedimiento que puede seguirse para lograr la mejoría de las propiedades de los suelos para hacerlos apropiados a un uso en específico, donde el proceso consiste en someter a los suelos naturales a ciertos tratamientos para aprovechar sus mejores cualidades de manera que puedan soportar las condiciones adversas futuras. Las propiedades de los suelos que se mejoran más seguido con la estabilización son la estabilidad volumétrica, la resistencia, la permeabilidad, la compresibilidad y la durabilidad. Habrá métodos que mejoren simultáneamente varias de esas propiedades, pero también al mejorar algunas de ellas pueden a su vez dañarse otras.

Los tipos de estabilización son variados y los más usuales para la construcción de la capa subrasante de las terracerías, en el caso de requerirse, son generalmente por medios mecánicos y químicos. Por medios mecánicos están la mezcla de suelos, empleando para ello a los granulares, y la ya bastante conocida compactación.

Los agentes químicos que se utilizan son productos de naturaleza industrial como el cemento, la cal y el asfalto, donde la gran diversidad de suelos y sus componentes, harán que cada agente químico resulte sólo aplicable a un número limitado de tipos de materiales. Sin embargo, debe reconocerse que el tratamiento de estabilización no es una técnica ventajosa en todos los casos y situaciones que se puedan presentar; por lo tanto, debe tenerse conocimiento de las propiedades que se deseen mejorar y de la relación entre lo que se logrará al mejorarlas y el costo respectivo, para poder fijar la factibilidad técnica de dicho tratamiento.

En las siguientes tablas se proporcionan algunas respuestas de componentes del suelo hacia la estabilización e indicaciones sobre problemas típicos y las posibilidades de emplear este tipo de tratamiento en algunos suelos comunes.

<i>MINERAL O COMPONENTE DEL SUELO</i>	<i>ESTABILIZACION RECOMENDABLE</i>	<i>FINALIDAD</i>
Materia orgánica	Mecánica	Los demás métodos no son efectivos.
Arenas	Mezcla con materiales finos no plásticos. Cemento Asfalto	Para estabilidad mecánica Para incrementar resistencia Para adquirir cohesión
Limos	No responden a los métodos en uso.	-----
Alófanos	Cal o mezclas de cal y yeso	Para incrementar la resistencia
Caolín	Arena Cemento Cal	Para estabilidad mecánica Para incrementar la resistencia a corto plazo. Para mejorar la trabajabilidad y adquirir resistencia a largo plazo.
Ilita	Cemento Cal	Para incrementar la resistencia a corto plazo. Para mejorar la trabajabilidad y adquirir resistencia a largo plazo.
Montmorilonita	Cal	Para mejorar la trabajabilidad y adquirir resistencia a corto plazo.
Clorita	Cemento	No se tienen resultados sobre los efectos logrados con esta estabilización.

TIPO DE SUELO	PROBLEMAS Y MEDIOS DE ESTABILIZACION USUALES
Suelos arenosos.	Cuando la granulometría es uniforme puede convenir la estabilización con mezcla de otros suelos. Las arenas limpias pueden mejorar sus características con cemento o asfalto.
Suelos limosos con algo de arcilla.	El único tratamiento económico al que son susceptibles es la compactación.
Suelos limosos con muy poca o ninguna arcilla.	No existen tratamientos económicos. Debe evitarse su uso en superficies expuestas, por los polvos que producen cuando se secan.
Suelos arcillosos agrietados.	Responden a la estabilización con cal.
Suelos arcillosos no agrietados y de textura abierta.	Responden a la compactación.
Arcillas suaves.	Susceptibles a la estabilización con cal.

#### IV.3.4.1. ESTABILIZACION CON CEMENTO

Este tipo de tratamiento es uno de los más utilizados en la actualidad. Cualquier suelo que no tenga cantidades excesivas de materia orgánica puede ser tratado con cemento para mejorar su comportamiento mecánico. Para que el suelo sea tratado con cemento y su estabilización sea razonablemente económica deberá de cumplir con ciertas características, como no tener partículas de más de 8cm o un tercio del espesor de la capa tratada, un límite líquido menor de 50%, un índice plástico menor de 18%, el material que pase la malla No. 200 debe ser menor del 50% y un porcentaje de vacíos, compactada la muestra en el cilindro proctor, menor del 35%.

El proporcionamiento de las mezclas de suelo-cemento es una cuestión fundamental, pues el cemento es el elemento más costoso y fijar su proporción determina la factibilidad técnica de la estabilización, aparte de que las propiedades que se logren dependerán de la cantidad de cemento que se emplee. Así, el éxito de esta estabilización dependerá también del conocimiento de un contenido adecuado de cemento, del peso volumétrico seco máximo y de la humedad óptima para un tipo determinado de suelo; si se hacen las suficientes comprobaciones durante la construcción para tener la seguridad de que se están obteniendo estos valores, entonces se podrá asegurar que la estabilización proporcionará un buen servicio.

#### IV.3.4.2. ESTABILIZACION CON CAL

La técnica de estabilización con cal es bastante similar a la estabilización con cemento. El uso se extiende mucho más hacia los materiales arcillosos no siendo así para el caso de materiales granulares de naturaleza friccionante. Tiene su máximo efecto en las gravas-arcillosas, en las que puede producir mezclas más resistentes que las que se obtienen con cemento.

Este tratamiento puede emplearse en las arcillas que presentan alta plasticidad y grandes cambios de volumen con las variaciones de su contenido de humedad. Como no todos los suelos cohesivos reaccionan de la misma manera cuando se les adiciona cal, pues existen ciertas arcillas que se estabilizan más lentamente, se debe disponer de métodos adecuados para identificar los tipos de arcillas que pueden ser estabilizados económicamente con cal.

#### IV.3.4.3. ESTABILIZACION CON ASFALTO

El mejoramiento de las propiedades de los suelos con la adición de asfalto o productos asfálticos es una técnica frecuentemente muy efectiva. Se emplean generalmente productos bituminosos, asfálticos y los residuos de la destilación destructiva de materiales orgánicos como el carbón, aceites y madera. Las emulsiones y los asfaltos rebajados son los productos más usados en las estabilizaciones de suelos en donde el tipo de trabajo a realizar indicará cuál producto asfáltico es el que producirá los resultados más satisfactorios.

Prácticamente todos los tipos de suelos responden a la estabilización con asfalto, incluyendo las arcillas más compresibles y activas, pero los mejores resultados se obtienen sin duda con arenas y con gravas arenosas, materiales a los que el asfalto da cohesión e impermeabilidad.

La granulometría de los suelos no es esencial, pero se piden algunos requerimientos como: un tamaño máximo de la partícula menor a un tercio del espesor compactado de la capa, más del 50% del material debe ser menor que la malla No.4, 35% del material debe ser más fino que la malla No.40, el material retenido en la malla No.200 debe estar comprendido entre 10 y 50%, el límite líquido de la fracción fina debe ser menor que 40% y el índice de plasticidad de la fracción fina debe ser menor que 18%.

Es esencial el emplear la cantidad adecuada de producto asfáltico si se quieren obtener resultados satisfactorios. Cuando se vaya a estabilizar una capa de material con productos asfálticos hay que tener en cuenta que cada tipo de suelo que exista en el camino influye sobre la selección del producto asfáltico y sobre el sistema de construcción a emplear, por lo que deben obtenerse datos completos sobre estos suelos tales como su granulometría, límites de consistencia y cambios de volumen, antes de planear el procedimiento de trabajo, el equipo conveniente, el tiempo de construcción y la facilidad para disponer de los materiales.

Puede decirse en términos generales que se recurre al uso de una estabilización con cemento cuando se desea una capa resistente, de resistencia uniforme, capaz de proporcionar un buen apoyo homogéneo. Otras veces se busca colocar en la sección estructural de la carretera una capa potente, capaz de desarrollar esfuerzos de tensión, que proteja a una subrasante o a una terracería débiles.

En cuanto a la estabilización con cal, los efectos que se buscan y que se logran en muchos casos son mejorar la plasticidad, las características de compactación y la estabilidad volumétrica de los suelos finos; como logro secundario, se tiene el aumento en la resistencia en suelos granulares relativamente gruesos. Las estabilizaciones con asfalto no se reportan con demasiada frecuencia, aunque logran objetivos de resistencia o estabilidad de la mezcla ante el agua.

Finalmente, también se tienen estabilizaciones diferentes a las anteriores, como la de arena-arcilla y la de grava-arena-arcilla. La mezcla de arena con arcilla es un material estabilizado en forma económica cuando el suelo natural es arena y la arcilla se puede obtener mediante un acarreo razonable. Por ejemplo, en zonas cercanas a la playa el material para la subrasante generalmente es arena con buen drenaje que puede ser fácilmente estabilizado con arcilla. Como la arena ya se encuentra sobre la línea de la carretera, debe determinarse con cuidado la cantidad de arcilla con la que se va a mezclar y fijarse la manera de operar el equipo, para que la mezcla no contenga demasiada arena.

También existen otros tipos de estabilizaciones como la estabilización electrosmótica y la estabilización con otros compuestos químicos como cloruro de sodio, de calcio y resina de anilina, pero éstas son más apropiadas a la tecnología de los pavimentos.

#### **IV.3.5. COMPACTACION**

La compactación es un tratamiento mecánico que se emplea para mejorar las características de resistencia, compresibilidad y esfuerzo-deformación de los materiales. El objetivo primordial es obtener un suelo de tal manera estructurado que posea y mantenga un comportamiento mecánico adecuado a través de toda la vida útil de la obra.

##### **IV.3.5.1. COMPACTACION EN EL CAMPO**

Un suelo se puede compactar de varias maneras, y en cada caso, se obtendrá un resultado diferente; lo mismo sucede para una sola forma de compactación aplicada en diferentes materiales. Los resultados del proceso empleado dependerán de varios factores entre los que se encuentran la granulometría del material, la humedad óptima, el tipo de compactador utilizado, el número de pasadas, el tipo de suelo y el espesor de la capa a compactar.

Así, puede decirse que una compactación intensa produce un material muy compacto y resistente pero con posibilidades de agrietamiento y que puede llegar a absorber mucha agua si se le presentan las condiciones propicias, con lo cual su resistencia disminuirá pero, si al suelo se le compacta con mucha menor energía consecuentemente tendrá menor resistencia y será más estable ante la presencia de agua, manteniendo la resistencia no tan variable pero de grado suficiente.

En cuanto a humedades este se conoce de la forma que sea semejante a la misma de que se se conoce de valor especifico entonces se puede hacer y distribuir el mejor volumen de agua especifico en cada compactacion y se distribuye a valor de la humedad convenientemente de conseguirse de los volumenes de compactacion.

En el proceso de compactacion se de importancia a espesor de la capa compactada. Para el conocimiento de la mejor forma de compactacion y requerimiento de la misma a medida que aumenta el espesor de la capa aumenta el numero necesario de pasadas de rodillo como mayor sea el grado de compactacion que se exige por exigencias generales de las capas con que se trabaja. Es necesario que en trabajos de terracerias de estradas oprimas de capa inferior como 2<sup>a</sup> y 3<sup>ra</sup> se usen equipos vibratorios que en general permiten capas de mayor espesor.

Para compactar en terracerias se utilizan diferentes equipos de compactacion de acuerdo con las características de la suela con que se trabaja. Las maquinas que se emplean dependen de la naturaleza de los materiales de compactacion, de ser estacion o por presion, ya vibratorias ya vibratorias con vibración mediante las cuales se proporciona la cantidad de energía necesaria.

Los equipos que consisten en rodillos lisos de acero o de fundición, son buenos para compactar materiales granulares plásticos, y se emplean de arriba hacia abajo. Sin embargo, cuando estos compactadores se utilizan para compactar materiales finos plásticos, al cabo de un tiempo, cuando se trabajan largas y pesadas grutas en la parte superior de la capa de obra, se registra que esta se va agrietando por excesiva compactación, en comparación con la parte inferior de la misma capa que resulta menos compactada y con resistencia igualmente menor. Por ello, en compactaciones que no cuentan con "dientes" no son adecuadas para este tipo de materiales.

Los compactadores conocidos como 'Pata de cabra' o 'Tractocompactadores', trabajan al introducir los dientes en el material compactándose así de abajo hacia arriba. Por eso su mayor eficiencia se logra en los materiales finos plásticos. Dentro de este tipo de equipo de compactación se consideran también los que poseen rodillos de rejilla o segmentados, de los cuales el primero se emplea en los materiales más finos y el último en materiales finos con grumos.

Por último, se tienen los compactadores con sistemas de vibración, que transmiten ondas dinámicas a los materiales y les producen un acornado masivo, siendo muy efectivos para compactar materiales inertes como gravas y arenas, teniendo la ventaja principal de poder trabajar con capas de espesores mayores a diferencia de otros equipos de compactación. Entre los equipos que cuentan con sistema de vibración se tienen los compactadores de rodillo liso de acero y de 'Pata de cabra'.

En cuanto a la humedad, ésta se controla de tal forma que sea semejante a la óptima, ya que si se excede del valor especificado entonces se puede llegar a disminuir el peso volumétrico seco esperado; en caso contrario, si se disminuye el valor de la humedad obviamente no se conseguirá el peso volumétrico seco requerido.

En el proceso de compactación es de importancia el espesor de la capa compactada. Para un determinado tipo de suelo, equipo de compactación y requerimiento de la misma, a medida que aumenta el espesor de la capa aumenta el número necesario de pasadas, de hecho cuanto mayor sea el grado de compactación que se exija más delgadas deberán ser las capas con que se trabaje. Es frecuente que en trabajos de terracerías los espesores óptimos de capa fluctúen entre 20 y 30cm, cuando no se usan equipos vibratorios que en general permiten capas de mayor espesor.

Para compactar los materiales se utilizan diferentes equipos de compactación de acuerdo con las características de los suelos con que se trabaje. Las máquinas que se emplean ejercen uno o varios tipos de métodos de compactación, ya sean estáticos o por presión, por amasado, por impacto o con vibración, mediante los cuales se proporciona la cantidad de energía necesaria.

Los equipos que constan de rodillos lisos de acero o de neumáticos, son buenos para compactar materiales granulares plásticos y su efecto es de arriba hacia abajo. Sin embargo, cuando estos compactadores se utilizan para compactar materiales finos plásticos, al cabo de un cierto número de pasadas llegan a presentarse grietas en la parte superior de la capa debido a la rigidez que esta zona adquiere por excesiva compactación, en comparación con la parte inferior de la misma capa, que resulta menos compactada y con resistencia igualmente menor. Por ello los compactadores que no cuentan con "dientes" no son eficientes para este tipo de materiales.

Los compactadores conocidos como 'Pata de cabra' o 'Tractocompactadores', trabajan al introducir los dientes en el material compactándolo así de abajo hacia arriba. Por eso su mayor eficiencia se logra en los materiales finos plásticos. Dentro de éste tipo de equipo de compactación se consideran también los que poseen rodillos de rejilla o segmentados, de los cuales el primero se emplea en los materiales más finos y el último en materiales finos con gruesos.

Por último, se tienen los compactadores con sistemas de vibración, que transmiten ondas dinámicas a los materiales y les producen un acomodo masivo, siendo muy efectivos para compactar materiales inertes como gravas y arenas, teniendo la ventaja principal de poder trabajar con capas de espesores mayores a diferencia de otros equipos de compactación. Entre los equipos que cuentan con sistema de vibración se tienen los compactadores de rodillo liso de acero y de 'Pata de cabra'.

De acuerdo con el tipo de compactador que se utilice, la compactación del material se verá influida por el número de pasadas que dé el equipo sobre el material tendido. En la práctica se ha encontrado que el número económico de pasadas fluctúa entre 5 y 10, según los casos que se presenten. Pero el número de pasadas también se ve afectado por el peso del equipo de compactación, de tal forma que si se emplea un equipo muy pesado se logrará más pronto el mismo efecto que con uno más ligero. Por ello, se acostumbra utilizar compactadores pesados con la finalidad de reducir el número de pasadas sobre el material que formará parte de una determinada capa.

#### IV.3.5.2. VERIFICACION DE LA COMPACTACION

Cuando se va a realizar una obra en la que el suelo vaya a ser compactado se recaban muestras de los materiales que se usarán y en el laboratorio se sujetan éstos a distintas condiciones de compactación hasta encontrar algunas que garanticen un proyecto seguro y que puedan lograrse económicamente con el equipo de compactación de campo existente. Con el equipo de campo que vaya a usarse se reproducen las condiciones de laboratorio adoptadas para el proyecto, lo cual suele hacerse construyendo y compactando en el campo un terraplén de prueba con el suelo a usar, en el que se ve el número de veces que deba pasar el equipo, el espesor de las capas de los suelos depositados para compactar, etc. Una vez iniciada la construcción, verificando la compactación lograda en el campo con muestras al azar tomadas del material compactado en la obra, se puede comprobar que en ésta se están satisfaciendo los requerimientos del proyecto.

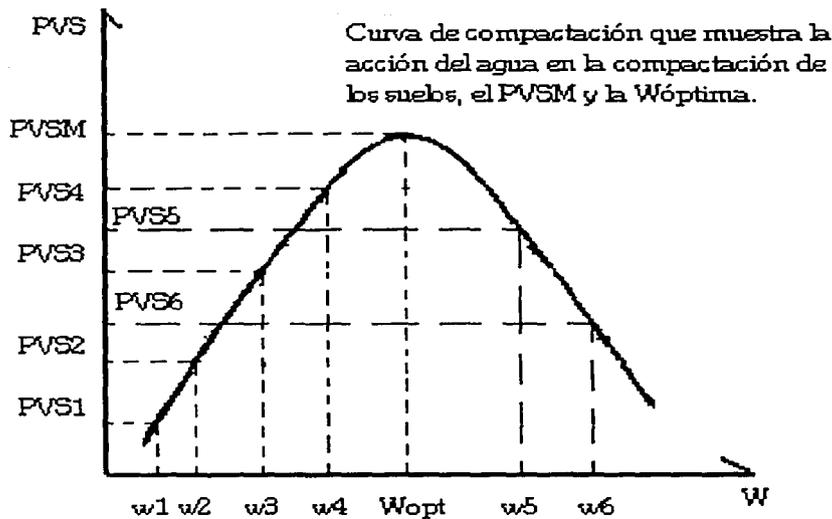
Ya que en el campo se termina la compactación de alguna capa, ya sea del cuerpo del terraplén o de las capas subyacente y subrasante, es necesario que se verifique si se alcanzó el peso volumétrico marcado en el proyecto. La compactación alcanzada puede medirse y controlarse en el campo con la determinación de pesos volumétricos mediante el grado de compactación, que se define como la relación porcentual del peso volumétrico seco que se obtiene en la obra y el máximo que se obtiene en el laboratorio, efectuando la prueba que corresponda.

El grado de compactación se determina con la siguiente expresión:

$$G_c(\%) = 100 \times \frac{\gamma_d}{\gamma_d \text{ máx}}$$

donde:  $\gamma_d$ , peso volumétrico seco en campo (kg/m<sup>3</sup>)  
 $\gamma_d \text{ máx}$ , peso volumétrico seco máximo en laboratorio (kg/m<sup>3</sup>)

Entonces, se puede comparar el peso volumétrico seco con la curva de compactación para el suelo, obtenida de estudios en laboratorio, y con el esfuerzo de compactación que interviene, para ver si el peso que se ha obtenido en el campo satisface los requerimientos establecidos en el laboratorio.



Así, de acuerdo a los requerimientos de compactación fijados en el proyecto, el trabajo de un equipo de compactación en el campo deberá planearse para lograr el grado de compactación especificado en la forma más económica posible. La SCT tiene especificado el no compactar los terraplenes a menos del 90% y exige por lo general un mínimo del 95% en la capa subrasante.

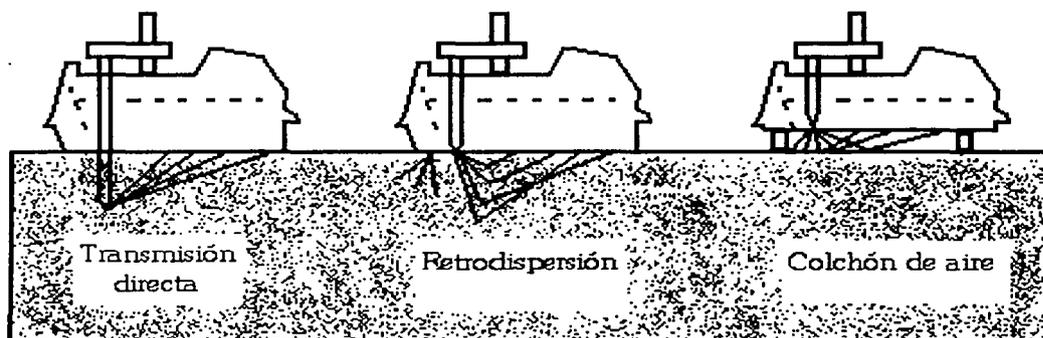
#### IV.3.5.3. CONTROL DE LA COMPACTACION CON DISPOSITIVOS NUCLEARES

Como ya se ha mencionado el proceso de compactación en el campo se controla verificando con relativa frecuencia la humedad y el peso volumétrico seco. Entonces, se puede comparar éste peso con la curva de compactación para el suelo, para ver si el peso que se ha obtenido en la obra satisface los requerimientos establecidos en el laboratorio. Por supuesto, el número y frecuencia de las verificaciones que se hagan para mantener un control adecuado del peso volumétrico y de la humedad, serán función de las condiciones de trabajo.

Por otro lado, se tiene el problema del tiempo pues el constructor solicita los resultados del grado de compactación lo más pronto posible, para proseguir con la construcción de las capas superiores. Muchos constructores utilizan dispositivos nucleares para medir el peso volumétrico húmedo y la humedad del suelo en la obra, en donde la determinación del mismo, a través de este método, está basada en la interacción de los rayos gamma provenientes de una fuente radiactiva y los electrones de las órbitas exteriores de los átomos del suelo, la cual es captada por un detector gamma situado a corta distancia de la fuente emisora, sobre, dentro o adyacente al material a medir.

Como el número de electrones presente por unidad de volumen de suelo es proporcional al peso volumétrico de éste, es posible correlacionar el número relativo de rayos gamma dispersos con el número de rayos detectados por unidad de tiempo, el cual es inversamente proporcional al peso volumétrico húmedo del material. La lectura de la intensidad de la radiación, es convertida a medida de peso volumétrico húmedo por medio de una curva de calibración apropiada del equipo.

Existen tres formas para hacer las determinaciones: transmisión directa, retrodispersión y colchón de aire, con las cuales se entregan resultados satisfactorios en espesores aproximados de 5 a 30cm.



Estos métodos son útiles como técnicas rápidas no destructivas siempre y cuando el material bajo ensaye sea homogéneo, considerando a su vez las siguientes observaciones:

- El equipo utiliza materiales radiactivos que pueden ser peligrosos para la salud de los operarios a menos que se tomen las precauciones adecuadas.
- Los resultados obtenidos pueden ser afectados por la composición química, la heterogeneidad o la textura de la superficie del material medido (ejemplo: materiales orgánicos con alto contenido de sal).
- La colocación del medidor en la superficie del material a medir, es crítica para la exitosa determinación del peso volumétrico. La condición óptima es el contacto total entre la superficie del medidor y la del material bajo ensaye. Como esto no es posible en todos los casos, para corregir las irregularidades de la superficie, se utiliza una arena fina o material similar. El espesor del relleno no deberá exceder los 3 mm y el área total rellena no debe ser mayor que el 10% del área de la base del medidor.
- Al momento de la medición, no debe haber otra fuente de radiación cercana al medidor que pueda alterar los resultados.

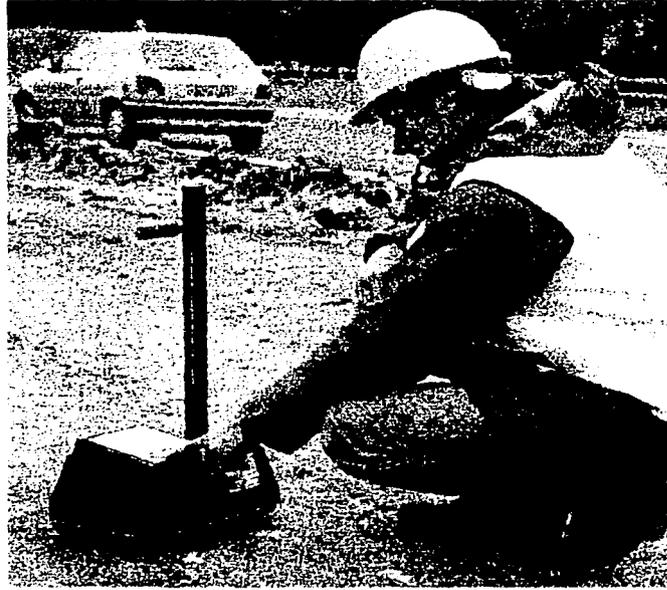


Foto IV.8. Dispositivo nuclear.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La ventaja de estos dispositivos es su rapidez, ya que requieren de un tiempo pequeño aproximadamente inferior a una quinta parte del tiempo necesario para las pruebas convencionales; además, no alteran las propiedades de los suelos, por lo que se pueden utilizar en varios materiales.

#### IV.3.5.4. PRUEBAS DE COMPACTACION EN EL LABORATORIO Y EN EL CAMPO

La eficiencia de cualquier proceso de compactación depende de varios factores y para poder analizar la influencia particular de cada uno se requiere disponer de procedimientos estandarizados que reproduzcan los procesos de compactación de campo en el laboratorio. Por ello son primeramente importantes las pruebas de laboratorio.

Los criterios para elegir una determinada prueba que pueda servir como base de proyecto o como norma de control de calidad en un proceso de compactación son relativamente sencillos, pues se trata de elegir una prueba que reproduzca la relación entre los pesos volumétricos y contenidos de agua y la estructura del suelo en el campo permitiendo estudiar el efecto de las condiciones de compactación en los suelos particulares que vayan a usarse, con el fin de definir en forma racional las condiciones en que se lleve a cabo el procedimiento de compactación de campo.

En el laboratorio pueden representarse diferentes procesos de compactación, como lo son por impactos, por amasado y por aplicación de carga estática, incluso también con vibración. En el campo esto se refiere a equipos de compactación como los compactadores de 'Pata de cabra', de neumáticos y de rodillo metálico liso, por ejemplo.

Con las pruebas de campo se encuentra el peso volumétrico seco alcanzado en la obra, para lo cual esencialmente se hace una excavación en el sitio de prueba elegido a una profundidad igual que el espesor de la capa en estudio y con un ancho o diámetro de tres o cuatro veces el tamaño máximo del agregado, se pesa el material extraído y se relaciona este peso con el volumen del sondeo, el cual puede ser medido mediante el uso de arena, por ejemplo. El material que se extrae del sondeo es el que se emplea en el laboratorio para determinar la humedad y el peso volumétrico húmedo del material y, con ello, poder calcular el peso volumétrico seco del mismo. Si el peso volumétrico seco es igual o mayor que el requerido, se puede decir que la compactación es satisfactoria y puede procederse a la construcción de la siguiente capa. Si dicho peso es menor que el especificado, entonces es necesario compactar más o ajustar el contenido de agua.

Como existen varios métodos de compactación en el campo, entonces también se tienen diferentes tipos de pruebas que los representan. La prueba de compactación principal es la Proctor AASHTO Estándar, donde el espécimen se elabora compactando el material por medio de pisonos que tienen un área de contacto menor que la sección libre del molde que se usa. Pero además, se tienen otros tipos de pruebas como lo son: Proctor SCT, Proctor ASSHTO Modificada 3 y 5 capas y Porter.

#### **IV.4. Pruebas de laboratorio y de campo**

##### **IV.4.1. PRUEBAS QUE SE EFECTUAN A LOS MATERIALES DE TERRACERIAS**

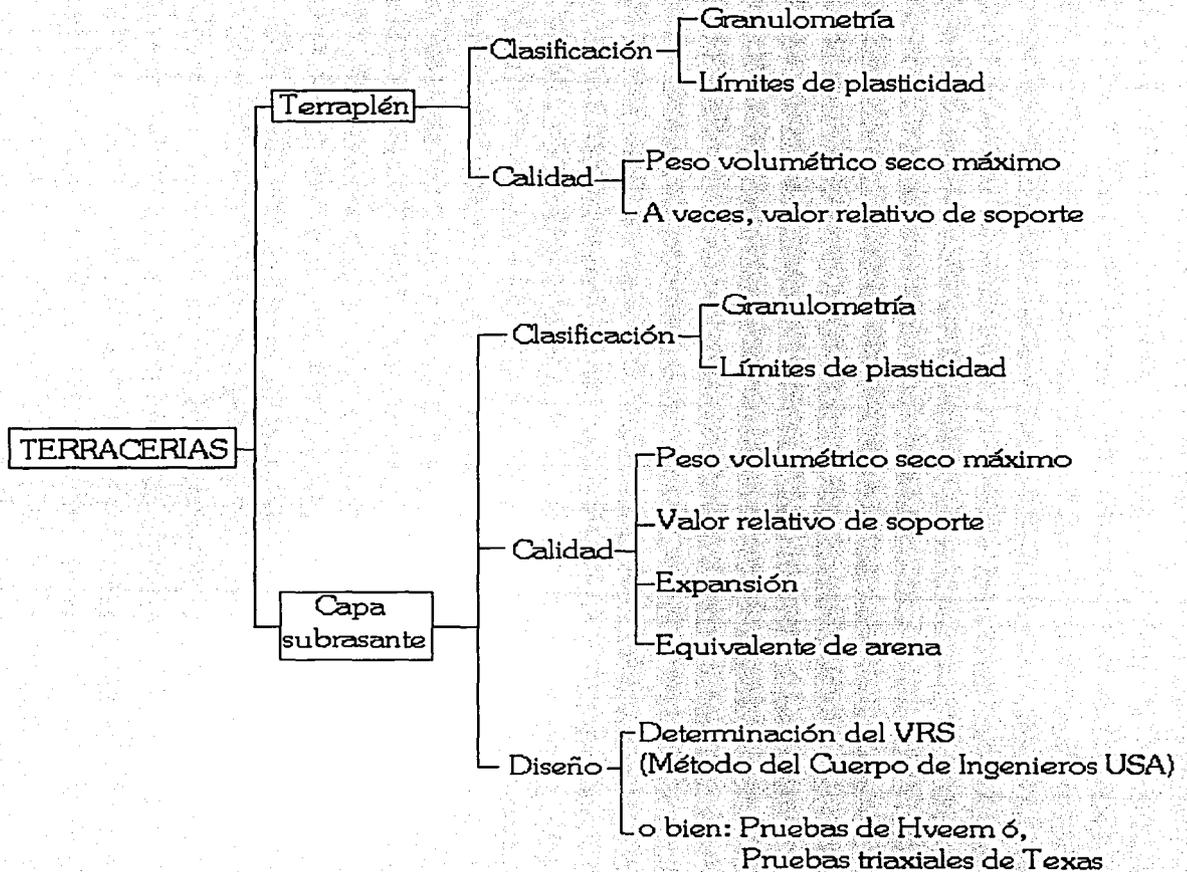
Para conocer las características de los materiales, se realizan pruebas de campo y de laboratorio, las cuales se dividen en: pruebas de clasificación, pruebas de control de calidad y pruebas de diseño. Las *pruebas de clasificación* permiten identificar los materiales y decidir si pueden utilizarse en algunas capas de las terracerías y, a su vez, formular los procedimientos de construcción adecuados. Con las *pruebas de control de calidad* se verifica si la obra cumple con las normas mínimas del proyecto. Por último, las *pruebas de diseño* permiten, valga la redundancia, diseñar en sí esta parte de la estructura del pavimento. Estas pruebas se indican con bastante detalle en las Normas para Muestreo y Pruebas de Materiales, Equipos y Sistemas publicadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

En general, las pruebas que requieren los suelos que van a usarse en terracerías, aunque sean en parte similares a las de pavimentos, suelen hacerse con menos acuciosidad y en menor número; por ejemplo, una granulometría en material para terracería muchas veces no va más allá de la separación de las porciones de grava-arena y finos, en tanto que los materiales de pavimento requieren la curva completa.

De la misma manera los análisis de compactación y valor relativo de soporte probablemente han de hacerse con mayor intensidad en la subrasante y demás capas del pavimento que en otras partes bajas del terraplén.

Las pruebas que se hacen a los distintos materiales que van a ser utilizados en la construcción de terracerías pueden dividirse en:

*PRUEBAS DE LABORATORIO QUE SE EFECTUAN A MATERIALES SEGUN SU UTILIZACION*



Los datos obtenidos de estas pruebas suelen anotarse en formatos preestablecidos como el que se muestra a continuación:

<b>PEMEX</b>	<b>MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE INGENIERIA DE DISEÑO</b>			<b>AYUDAS</b>
	<b>MECANICA DE SUELOS</b>			<b>C</b>
SPCO GIP	ELABORÓ: SUPTCIA. GENERAL DE GEOTECNIA .	REV: 0	JUN 1991	HOJA 203 DE 333

**FORMATO  
SUPERINTENDENCIA GENERAL DE GEOTECNIA  
PROGRAMA DE PRUEBAS DE LABORATORIO  
(TERRACERIAS Y PAVIMENTOS)**

OBRA: \_\_\_\_\_ PROGRAMA: \_\_\_\_\_  
 LUGAR: \_\_\_\_\_ APROBO: \_\_\_\_\_  
 No. PROYECTO: \_\_\_\_\_ RECIBIO: \_\_\_\_\_  
 BANCO: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_

IDENTIFICACION DE LABORATORIO																				
No. DE MUESTRA																				

1. CONTENIDO NAT. AGUA CLASIFICACION																				
2. LIMITES DE CONSISTENCIA																				
3. GRANULOMETRIA																				
4. CONTRACCION LINEAL																				
5. VALOR CEMENTANTE																				
6. EQUIV. DE ARENA																				
7. COMPAC. PROCTOR																				
8. COMPAC. PORTER																				
9. VAL. REL. DE SOPORTE																				
% DE COMPACTACION _____																				
% DE COMPACTACION _____																				
% DE COMPACTACION _____																				
10. I. DE DURABILIDAD																				
11. OTRAS PRUEBAS:																				

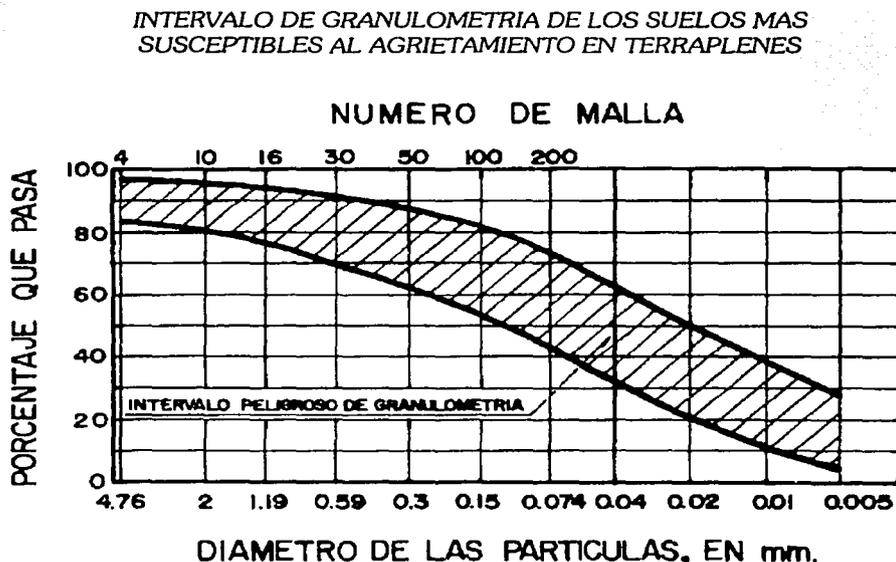
OBSERVACIONES:

--

Las pruebas de clasificación y calidad permiten llevar un control de los trabajos en la obra. En los párrafos siguientes describiré brevemente a qué se refieren cada una de ellas y, en lo correspondiente a las pruebas de diseño, no las abordaré, ya que el análisis cae propiamente en el estudio y diseño previo de la línea y sección transversal típica de la carretera en proyecto, lo cual es indudablemente antes de la construcción de la misma.

Para las pruebas de clasificación, la *granulometría* permite inicialmente dividir a los materiales de construcción. El objetivo de este análisis se refiere a la determinación de la cantidad en por ciento de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo. Para el conocimiento de la composición granulométrica de un determinado suelo se emplea el método de mallas. La prueba consiste en separar por tamaños las partículas de suelo, pasándolo a través de una sucesión de mallas de aberturas cuadradas y en pesar las porciones que se retienen en cada una de ellas, expresando dichos retenidos como porcentajes en peso de la muestra total.

Como ejemplo de una curva de granulometría, se presenta la siguiente figura:



Las mallas son de diferentes graduaciones y se denominan de dos maneras: la nominal, que corresponde a la abertura nominal entre los alambres en mm y la alternativa que consiste en asignar a las mallas un número que indica la cantidad de alambres que se tienen en una pulgada. La SCT ha adoptado el sistema de mallas que aparece en la siguiente tabla:

## DESIGNACION DE LA MALLA

NOMINAL	ALTERNATIVA
Núm. 75.0	Malla 3"
Núm. 63.0	Malla 2 1/2"
Núm. 50.0	Malla 2"
Núm. 37.5	Malla 1 1/2"
Núm. 31.5	Malla 1 1/4"
Núm. 25.0	Malla 1"
Núm. 19.0	Malla 3/4"
Núm. 16.0	Malla 5/8"
Núm. 12.5	Malla 1/2"
Núm. 9.5	Malla 3/8"
Núm. 8.0	Malla 5/16"
Núm. 6.3	Malla 1/4"
Núm. 4.75	Malla Núm.4
Núm. 2.36	Malla Núm.8
Núm. 2.0	Malla Núm.10
Núm. 1.70	Malla Núm.12
Núm. 1.40	Malla Núm.14
Núm. 1.18	Malla Núm.16
Núm. 1.00	Malla Núm.18
Núm. 0.850	Malla Núm.20
Núm. 0.600	Malla Núm.30
Núm. 0.425	Malla Núm.40
Núm. 0.300	Malla Núm.50
Núm. 0.250	Malla Núm.60
Núm. 0.180	Malla Núm.80
Núm. 0.150	Malla Núm.100
Núm. 0.106	Malla Núm.140
Núm. 0.075	Malla Núm.200
Núm. 0.045	Malla Núm.325

En lo que respecta a los *límites de plasticidad*, las pruebas tienen por objeto conocer las características de plasticidad de la porción de suelo que pasa la malla Núm. 0.425 (Núm.40) y su determinación permite clasificar a los materiales de acuerdo a las características plásticas que presenten.

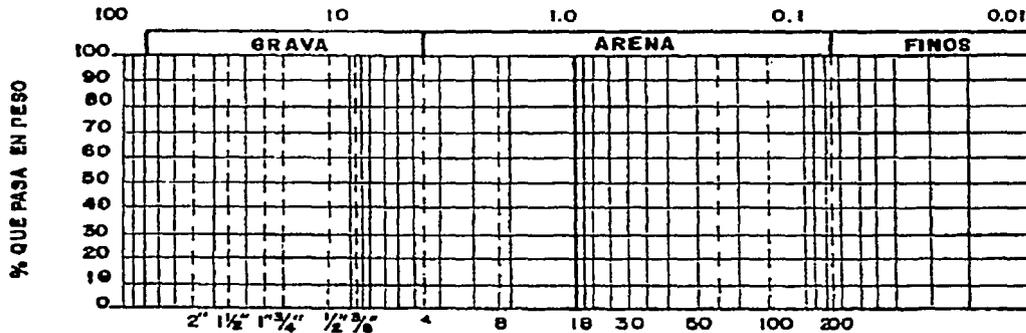
Como se sabe, de acuerdo con su contenido de agua los suelos pueden presentar cinco estados de consistencia: líquido, semilíquido, plástico, semisólido y sólido. Las fronteras entre estos estados fueron establecidos por Atterberg bajo el nombre general de "Límites de consistencia", los cuales son: límite líquido, límite plástico y límite de contracción.

**U. N. A. M.**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**GEOTECNIA**

**GRANULOMETRIA POR MALLAS**

<b>OBRA</b> _____ <b>LOCALIZACION</b> _____ <b>ENSAYE No.</b> _____ <b>SONDEO No.</b> _____ <b>MUESTRANO</b> _____ <b>PROF.</b> _____ <b>DESCRIPCION</b> _____ <b>FECHA</b> _____ <b>OPERADOR</b> _____ <b>CALCULO</b> _____					<b>PESO DE LA MUESTRA</b> _____ <b>RECIPIENTE No.</b> _____ <b>PESO RECIPI + SUELO HUMEDO (g)</b> _____ <b>PESO RECIPI + SUELO SECO (g)</b> _____ <b>PESO AGUA (g)</b> _____ <b>PESO RECIPIENTE (g)</b> _____ <b>PESO MUESTRA SECA (g)</b> _____ <b>CONTENIDO DE AGUA (%)</b> _____				
Malla No.	Abertura mm.	Peso suelo retenido gr.	Por ciento reten. parcial %	Por ciento que pasa %	Malla No.	Abertura mm.	Peso suelo retenido gr.	Por ciento reten. parcial %	Por ciento que pasa %
2 <sup>a</sup>	50.80				8	2.38			
1 1/2 <sup>a</sup>	36.10				18	1.00			
1 <sup>a</sup>	25.40				30	0.59			
3/4 <sup>a</sup>	19.05				50	0.297			
1/2 <sup>a</sup>	12.70				100	0.149			
3/8 <sup>a</sup>	9.52				200	0.074			
No. 4	4.76				<b>PASA 200</b>				
Paso No. 4					<b>SUMA</b>				
<b>SUMA</b>									

**CLASIFICACION SISTEMA UNIFICADO**



$D_{10} =$  \_\_\_\_\_  
 $D_{30} =$  \_\_\_\_\_  
 $D_{60} =$  \_\_\_\_\_

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \text{_____} > 3'' = \text{_____} \%$$

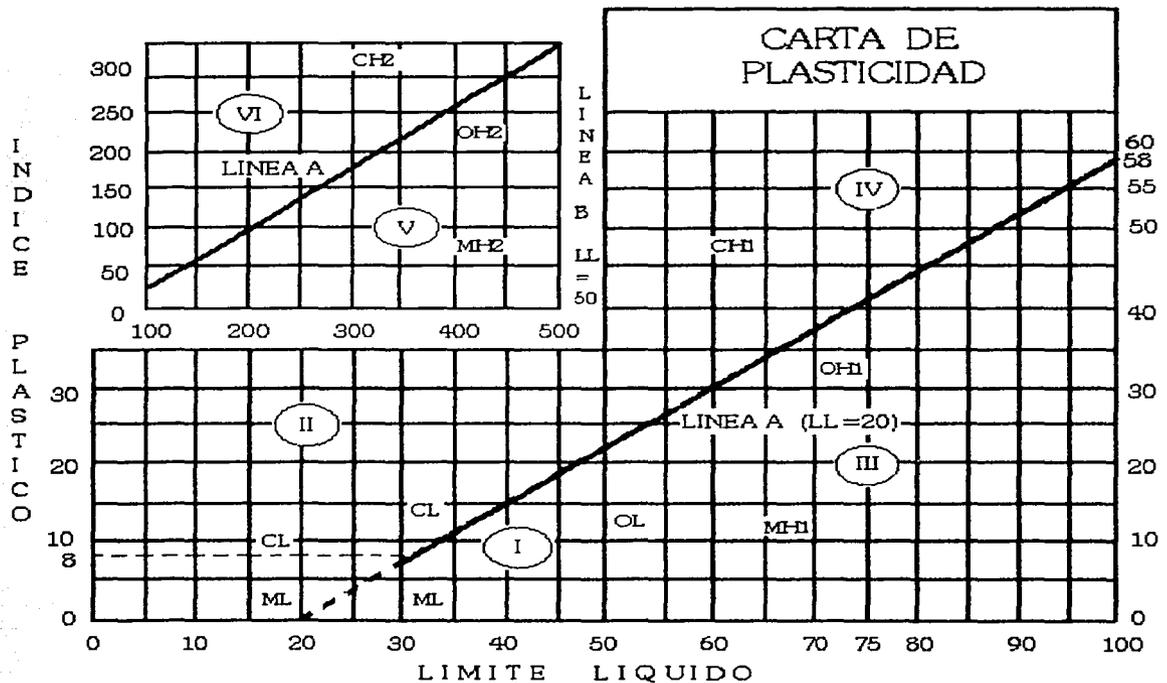
$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = \text{_____}$$

$G =$  \_\_\_\_\_ %  
 $S =$  \_\_\_\_\_ %  
 $F =$  \_\_\_\_\_ %

**CLASIFICACION SUGS.** \_\_\_\_\_

**OBSERVACIONES** \_\_\_\_\_

Para definir las características de plasticidad de los suelos se utilizan éstos límites, el índice plástico y la contracción lineal. Estas características pueden llevarse a una gráfica conocida como 'Carta de Plasticidad', en donde los materiales cuyas coordenadas de límite líquido LL e índice plástico  $I_p$  quedan bajo la línea A se denominan limos y si quedan arriba de ella, son arcillas. Los materiales cuyo límite líquido es menor que 50 son de baja plasticidad y los que quedan hacia la derecha son de alta plasticidad. Los materiales con LL superiores a 100 se consideran de muy alta plasticidad.



Los datos y resultados de una prueba de plasticidad, también pueden presentarse en un formato, como el dado en la siguiente página.

En cuanto a las pruebas de control de calidad, pueden emplearse los sistemas de clasificación de materiales antes señalados pero, generalmente para asegurar que los materiales cumplan con las especificaciones marcadas se utilizan pruebas más específicas para conocer el grado de compactación alcanzado en cada una de las capas de las terracerías.

**CLASIFICACION DE SUELOS  
CONTENIDO DE AGUA Y  
LÍMITES DE CONSISTENCIA**



FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM  
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

OBRA: \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACIÓN: \_\_\_\_\_  
 SONDEO N°: \_\_\_\_\_ MUESTRA N°: \_\_\_\_\_  
 PROFUNDIDAD: \_\_\_\_\_ m  
 DESCRIPCIÓN: \_\_\_\_\_  
 OPERADOR: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_

**CONTENIDO DE AGUA NATURAL**

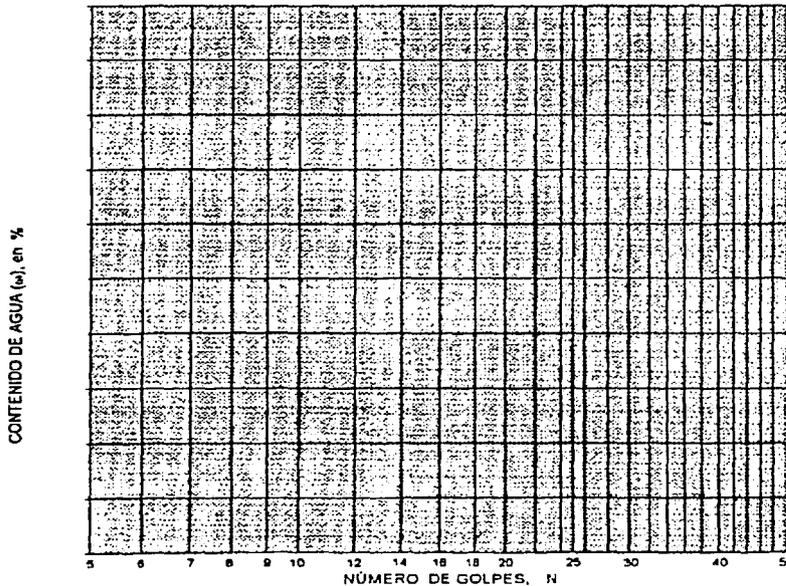
PRUEBA N°	NÚMERO DE GOLPES			CÁPSULA N°	PESO DE LA CÁPSULA g	PESO DE CÁPSULA MAS SUFLO HÚMEDO g	PESO DE CÁPSULA MAS SUELO SECO g	PESO DEL AGUA g	PESO DEL SUELO SECO g	CONTENIDO DE AGUA (%)
	1°	2°	3°							

**LÍMITE PLÁSTICO**

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

**LÍMITE LÍQUIDO**

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--



- w = \_\_\_\_\_ %
- LL = \_\_\_\_\_ %
- LP = \_\_\_\_\_ %
- IP = \_\_\_\_\_ %
- Fw = \_\_\_\_\_ %
- Ci = \_\_\_\_\_ %
- Tw = \_\_\_\_\_ %

CLASIFICACIÓN DE LA PORCIÓN FINA  
S.U.C.S. \_\_\_\_\_

OBSERVACIONES \_\_\_\_\_

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

También, se encuentra la prueba del *equivalente de arena*, cuyo objetivo es determinar las proporciones volumétricas relativas de las partículas gruesas de un suelo con respecto a los finos plásticos que contiene empleando un procedimiento que amplifica el volumen de los materiales finos plásticos en forma proporcional a sus efectos perjudiciales y se aplica a materiales de la capa subrasante, como a los de sub-base, base y agregados pétreos para mezclas asfálticas y concretos hidráulicos, permitiendo obtener rápidamente en el campo datos sobre la calidad del material desde el punto de vista de su contenido de finos plásticos.

Volviendo a la compactación, pueden utilizarse las variantes A y C de las pruebas Proctor ASSHTO Estándar para el control rutinario de la compactación en el campo, aunque ocasionalmente pueden emplearse las variantes B y D, de acuerdo con las características del material. También, pueden usarse para los trabajos del control de la compactación pruebas Proctor ASSHTO con niveles de energía específica más altas que la estándar, la prueba de compactación estática u otras pruebas de tipo especial. Estas pruebas permiten conocer el *peso volumétrico seco máximo* y, en específico, la prueba Porter permite determinar la *expansión* y el *valor relativo de soporte* de los materiales manejados.

En las Normas para Muestreo y Pruebas de Materiales, Equipos y Sistemas publicadas por la SCT, pueden consultarse detalladamente las pruebas de compactación más convenientes para materiales de terracerías, así como las correspondientes a los cálculos del valor relativo de soporte. Enseguida describiré brevemente dos de las pruebas de laboratorio más utilizadas para poder determinar el peso volumétrico seco máximo requerido en el proyecto.

**PRUEBA PROCTOR ASSHTO ESTANDAR.** Con esta prueba se puede determinar la relación entre el peso volumétrico y el contenido de agua de los suelos que se emplean en la construcción de terracerías. La prueba consiste en compactar el suelo en cuestión en tres capas mediante impactos, dentro de un molde de dimensiones y forma especificadas, por medio de golpes de un pisón, también especificado, que se deja caer libremente desde una altura prefijada, utilizando especímenes de una misma muestra de material con diferentes contenidos de agua.

La prueba tiene cuatro variantes, lo que da origen a las otras pruebas Proctor, según la cantidad de material que pasa por la malla No.4 y los tamaños de los moldes utilizados. Las pruebas tipo Proctor son aplicables únicamente a suelos finos plásticos o que tengan una buena proporción de éstos.

- Variante A, que se aplica a materiales que pasan por la malla No. 4 y se compactan en molde de 10.16cm de diámetro interior.
- Variante B, que se aplica a materiales que pasan por la malla No. 4 y se compactan en molde de 15.24cm de diámetro interior.

➤ Variante C, que se aplica a materiales con retenido en la malla No. 4; se efectúa utilizando la fracción que pasa la malla No.  $\frac{3}{4}$ " y se compactan en molde de 10.16cm de diámetro interior.

➤ Variante D, que se aplica a materiales con retenido en la malla No. 4; se efectúa utilizando la fracción que pasa la malla No.  $\frac{3}{4}$ " y se compactan en molde de 15.24cm de diámetro interior.

#### *Equipo necesario(Alternativa A):*

- Un molde cilíndrico metálico de 10.16cm de diámetro interior y 11.64cm de altura provisto de una de base metálica, la cual se asegurará convenientemente al molde y una extensión de 6.3cm de altura con diámetro interior igual al del molde.
- Un pisón metálico con peso de 2.5kg con superficie circular, acoplado a una guía metálica tubular, para que tenga una caída libre de 30.5cm.
- Una regla metálica de arista cortante de 25cm de largo.
- Una balanza con capacidad mínima de 15kg y aproximación de 5g.
- Una balanza con capacidad mínima de 2kg y aproximación de 0.1g.
- Un horno para secado de muestras.
- Mallas de números 4 y  $\frac{3}{4}$ ".
- Cápsulas metálicas, charolas rectangulares, espátulas, etc.

#### *Procedimiento de la prueba:*

- Se obtiene una muestra de la porción del material con el que se pretende construir la capa de la terracería o bien, del material que ya forma parte de la misma. Si es necesario, se seca la muestra al recibirla en el laboratorio, hasta hacerla manejable y después se disgrega el material sin romper sus partículas.
- Se criba el suelo por la malla No. 4 eliminando el retenido y se selecciona una muestra representativa de 3kg.
- Se incorpora agua a la muestra, en cantidad suficiente para ponerla 4 o 6 puntos bajo la humedad óptima esperada.
- Se divide la muestra en cantidades proporcionales a tres capas.
- El molde se arma con su extensión y entonces se empieza a compactar el material hasta llegar a un espesor compacto de 13cm. Cada capa se compacta con 25 golpes del pisón, distribuyéndolos uniformemente y con altura de caída de 30.5cm. Durante la operación el molde debe estar apoyado sobre una base rígida.
- Después de la compactación se le desmonta la extensión al molde y se enrasa el suelo compactado utilizando la regla metálica. Se pesa el conjunto y se resta el peso del molde, para tener el peso húmedo del material. Después se divide entre el volumen del molde para obtener el peso volumétrico de la masa del suelo ( $\gamma_h$ ).
- Se retira el material del molde sin desmoronarlo y se divide el espécimen en dos partes, tomándose una muestra representativa de una de las caras del corte, es decir, del centro y, se determina el contenido de agua del suelo.

➤ El resto del material se desmorona hasta que vuelva a quedar en condiciones de pasar por la malla No. 4. Se le vuelve a añadir suficiente agua para variar su humedad y se repite el procedimiento anterior hasta que el peso húmedo disminuya, aumente o no cambie.

#### *Cálculos:*

Como complemento a la prueba se realizan los cálculos correspondientes para determinar los contenidos de agua y los pesos volumétricos secos que se requieren. También se dibuja la curva de compactación y se determina en ella el peso volumétrico seco máximo y la humedad óptima. Los resultados obtenidos en dicha prueba, se presentan también en otro formato que se muestra en la página siguiente.

**PRUEBA PORTER.** Esta prueba, de tipo estática, sirve para determinar el peso volumétrico seco máximo y la humedad óptima en suelos con partículas gruesas que se emplean en la construcción de terracerías, pudiendo efectuarse también en arenas y en materiales finos cuyo índice plástico sea menor de 6. El método consiste en preparar especímenes con material que pasa la malla de 1", a los que se agregan diferentes cantidades de agua y se compactan con carga estática. La principal aplicación de esta prueba es también la elaboración de especímenes de suelo para determinar el valor relativo de soporte y la expansión.

#### *Equipo de la prueba:*

- Un molde cilíndrico metálico de 15.75cm de diámetro interior y de 12.75cm de altura, provisto de un collarín y una base con dispositivo para sujetar el cilindro.
- Una máquina de compresión con capacidad mínima de 30ton y aproximación de 100kg.
- Una varilla metálica de 1.9cm de diámetro y 30cm de longitud con punta de bala.
- Una placa circular para compactar con diámetro de 15.45cm, con dispositivo para sujetarla en la cabeza de aplicación de la carga.
- Mallas del No.1" y No.4.
- Una balanza con capacidad mínima de 20kg y aproximación de 5g.
- Un calibrador con vernier.
- Charolas y equipo accesorio normal.

#### *Procedimiento de la prueba:*

- Se obtiene una muestra de campo, preparada con el cuidado de secar el material únicamente lo necesario para facilitar su disgregación.
- Se toma la muestra y se criba una cantidad suficiente para obtener una porción de 16kg de material que pase la malla de 1".
- Se divide esta porción de material mediante cuarteo en cuatro fracciones representativas con pesos iguales.

U.N.A.M  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS



### PRUEBA DE COMPACTACION

PROYECTO:
LOCALIZACION:
SONDEO:
MUESTRA:
PROFUNDIDAD:
DESCRIPCION:

FECHA:
OPERADOR:
CALCULO:

TIPO DE PRUEBA:	
MOLDE No. >	
PESO DEL MOLDE ( $W_{mol}$ ) =	gr
VOLUMEN DEL MOLDE ( $V_{mol}$ ) =	cm <sup>3</sup>
PESO DEL MARTILLO =	gr
ALTURA DE CAIDA =	cm
No. DE CAPAS >	
No. DE GOLPES POR CAPA >	
ENERGIA ESPECIFICA D COMPACTACION =	kg-cm/cm <sup>2</sup>

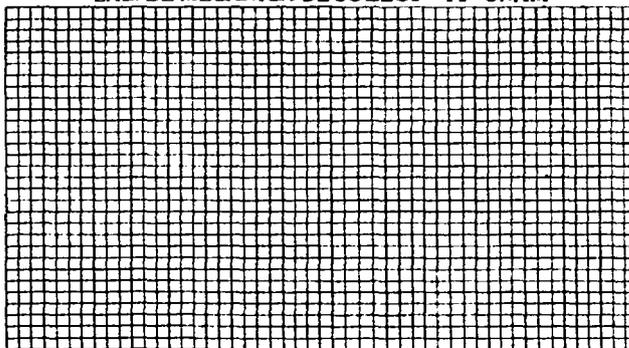
OBSERVACIONES:

DETERMINACION No.	#	1	2	3	4	5	6
PESO DEL MOLDE + SUELO HUMEDO	gr						
PESO DEL SUELO HUMEDO	gr						
PESO ESPECIFICO HUMEDO	t/m <sup>3</sup>						
CAPSULA No.	#						
Wcap	gr						
Wcap + sh	gr						
Wcap + ss	gr						
CONTENIDO DE AGUA	%						
PESO ESPECIFICO SECO	t/m <sup>3</sup>						

### PRUEBA DE COMPACTACION

LAB. DE MECANICA DE SUELOS FI-UNAM

PESO VOLUMETRICO SECO, en t/m<sup>3</sup>



CONTENIDO DE AGUA, en %

- Se toma una de las porciones y se le incorpora agua en la cantidad necesaria para que, una vez repartida uniformemente, presente una consistencia tal que cuando se le comprima en la mano la humedezca ligeramente.
- Se coloca el material humedecido dentro del molde en tres capas y con la punta de la varilla se le da a cada una de ellas 25 golpes uniformemente distribuidos.
- Al terminar de colocar la última capa, se toma el molde que contiene el material y se coloca en la máquina de compresión compactándose el material aplicando lentamente carga uniforme, de modo que se alcance en un lapso de 5min. La presión que se aplica es de  $140.6\text{kg/cm}^2$  y equivale a una carga de 26.5ton. Se mantiene esta carga durante un minuto y se hace la descarga en el siguiente minuto. Al llegar a la carga máxima, se revisa la base del molde y si está ligeramente humedecida entonces el material ha alcanzado la humedad óptima de compactación y su peso volumétrico seco máximo.
- Si al llegar a la carga máxima no se humedece la base del molde, la humedad con que se preparó la muestra es inferior a la óptima y, por tanto, se toma otra fracción representativa del material y se le adiciona una cantidad de agua igual a la del espécimen anterior más  $80\text{cm}^3$ , se mezcla uniformemente y se repiten los pasos anteriores. Si antes de llegar a la carga máxima se humedece la base del molde por haberse iniciado la expulsión del agua, la humedad con que se preparó la muestra es superior a la óptima y entonces, se inicia reduciendo la cantidad de agua de otra muestra representativa hasta lograr que en una de ellas se inicie el humedecimiento de la base del molde con la carga máxima.
- Al terminar la compactación del espécimen preparado con la humedad óptima, se quita el molde de la máquina de compresión y se determina la altura, restando de la altura total del molde la altura entre la cara superior del espécimen y el borde superior del molde. También se pesa el molde de compactación que contiene el material compactado y se hace la respectiva diferencia con el peso del material compactado.
- Se saca el material del cilindro, se corta longitudinalmente y de la parte central se obtiene una muestra representativa, la cual servirá para determinar el contenido de agua.

#### *Cálculos:*

Del espécimen compactado con la humedad óptima se calcula y registra lo siguiente: el volumen, el peso volumétrico húmedo y el peso volumétrico seco máximo, correspondientes al material ensayado. Así, con los datos obtenidos de esta prueba puede calcularse el grado de compactación de cada capa de las terracerías donde sea aplicable, su VRS y expansión correspondientes.

En cuanto a la expansión, ésta se determina de acuerdo a lo siguiente: el espécimen confinado en el molde en las condiciones de PVSM y humedad óptima se introduce en un tanque de saturación y se le coloca un extensómetro, en el que hace una lectura inicial. Por efecto del agua, el material aumenta de volumen según su grado de plasticidad y se expande y conserva así hasta que la expansión es casi imperceptible, con un mínimo de 72hrs. Cuando las lecturas del extensómetro son casi iguales de un día a otro se hace la lectura final y se calcula el porcentaje de expansión de la forma siguiente:

$$\text{Expansión (\%)} = 100 (L_f - L_i) / \text{espesor del espécimen sin saturar en mm}$$

En donde:  $L_f$  = lectura del extensómetro al finalizar la saturación, en mm.  
 $L_i$  = lectura del extensómetro al iniciarse la saturación, en mm.

En las normas de la SCT, se indican como pruebas aplicables para la determinación del VRS en materiales para terracerías las siguientes: Porter Estándar, Porter Modificada, Directa, basada en el Método del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los E.U. y por medio de la prueba de la placa. Estas pruebas describen los métodos para la determinación del valor relativo de soporte, los cuales consisten en preparar especímenes de suelo compactado y someterlos a la penetración de un cilindro o pistón de dimensiones estandarizadas para medir su resistencia. Los especímenes se elaboran compactando el suelo mediante cargas estáticas y se saturan, o bien, se les incrementa la humedad óptima para tomar en cuenta las condiciones de precipitación y drenaje que prevalecen en el lugar de la obra. La carga requerida para efectuar una penetración de 2.54mm, referida a una carga estándar de 1360kg, se denomina VRS y se expresa en por ciento.

El valor relativo de soporte determinado con la prueba Porter Estándar se utiliza como un índice de calidad de los suelos y los que se obtienen a través de las pruebas Porter Modificada, método basado en el Cuerpo de Ingenieros y prueba de VRS en el lugar, se emplean para el proyecto de espesores de pavimento.

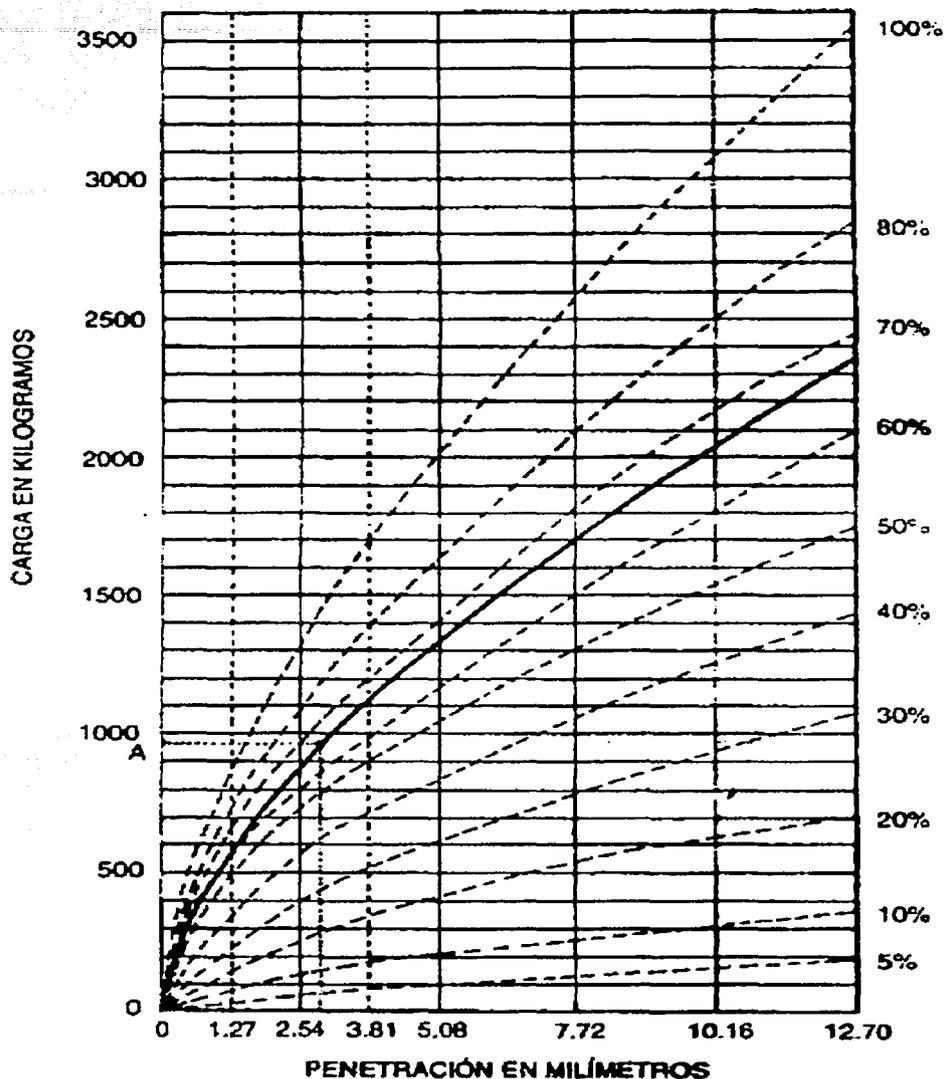
El procedimiento, con la prueba descrita anteriormente, consiste en que después de determinar la expansión en el espécimen del material a prueba, se aplican las cargas con una prensa y se hacen las lecturas de las cargas en kg que corresponden a las penetraciones de 1.27, 2.54, 3.81, 5.08, 7.62, 10.16 y 12.70mm. Con estos datos se dibuja una gráfica, colocándose en las abscisas la penetración y en las ordenadas las cargas correspondientes.

Entonces, el VRS se calcula mediante la expresión:

$$VRS = (C_{2.54} \times 100) / 1360$$

En donde: VRS = valor relativo de soporte de la muestra referido a la carga estándar de penetración de 1360kg en %.  
 $C_{2.54}$  = es la carga correspondiente a la penetración de 2.54mm en kg.

GRAFICA DE CARGA- PENETRACION



La clasificación basada en el VRS indica que los materiales que tienen de 0 a 10% son terracerías de mala calidad, de 10 a 20% son capas subrasantes regulares, de 20 a 50% son capas subrasantes de buena calidad, con más de 50% pueden utilizarse como sub-base y con más de 80% se consideran como materiales de base.

## **IV.5. Control de calidad**

En el proyecto y construcción de una carretera existen todo un conjunto de análisis, criterios y procedimientos constructivos que influyen en la obtención de una obra útil, económica y duradera.

Es fácil entender que en la construcción de una obra los resultados pueden encontrarse en un rango de malos a buenos, ya que a partir de las especificaciones del proyecto pueden surgir variaciones dentro de lo que es el propio diseño, de los materiales analizados y de los obtenidos realmente en obra, de los distintos procedimientos de trabajo y de las especificaciones y tolerancias que se tienen para todas las actividades.

Para asegurar que se efectúen los trabajos de manera correcta se requiere de controles de calidad, pero también de avance y de costos, los cuales deben de coordinar entre sí para llegar a los resultados deseados, siendo dentro del primero muy importantes las especificaciones y los procedimientos de construcción que se manejen ya que fijan los objetivos que se persiguen, y en los últimos, el tiempo de construcción con base en programas y los gastos contra los presupuestos.

El control de calidad permite detectar si en algunas o varias de las actividades que forman parte de los trabajos se ha presentado cierta anomalía que deba corregirse. Si esto llega a suceder, la persona encargada del control deberá de informarle a la persona adecuada, para que ésta tome las medidas necesarias e indique la corrección conveniente. Sin embargo, para evitar que se presenten errores, es necesario tomar medidas preventivas desde la etapa de proyecto hasta los procedimientos de construcción ejecutados.

Tal control puede seguirse por medio de pruebas de laboratorio y aparatos de medición, o bien, de la estadística y los sistemas de información y procesamiento de datos. Normalmente, cuando la obra está en construcción se verifica que los materiales lleguen a los frentes de trabajo en las condiciones adecuadas y que se estén utilizando los procedimientos de construcción marcados en el proyecto, así como la geometría horizontal, transversal y vertical, los espesores y la posición de las capas.

Para conocer y verificar la calidad de los materiales en la estructura que se va construyendo, se necesita del apoyo de laboratorios de materiales en la obra. En un programa de control de calidad, se define el conjunto de pruebas que son necesarias realizar para clasificar materiales, verificar la calidad de la obra, proyectar la estructura y proporcionar la base técnica a seguir. Las pruebas de laboratorio deben estar dirigidas a la comprobación de las características esenciales, ser sencillas y rigurosamente estandarizadas, ser rápidas en su ejecución, de fácil interpretación y no requerir de equipos costosos y de manejo complicado. Con ello pueden obtenerse resultados confiables en la obra obtenidos de un control adecuado que no interfiere en los programas de avance de construcción.

En cuanto a la estadística, ésta se basa en el número de muestreos que se hacen a lo largo de la línea de trabajo, sobre diferentes tipos de suelos o materiales, para poder determinar los lotes de terreno que son aceptados o rechazados según los resultados obtenidos en pruebas de laboratorio. Esta última herramienta es un poco más engorrosa y tardada, pero puede darse la ocasión de llegar a necesitarse.

En la construcción de terracerías el control de calidad básicamente se dirige a los materiales y a la formación de cada una de las capas que las conforman. La calidad de los materiales se analiza y estudia desde el proyecto, para después indicar al constructor los lugares de préstamos, los tratamientos necesarios, los grados de compactación para cada capa, etc. En la formación de cada una de las capas el control se rige principalmente por los trabajos de compactación, en donde el contratista o constructor, se responsabiliza por la calidad de su trabajo, para que posteriormente el contratante o las personas encargadas del proyecto inicien con la etapa de verificación y aceptación, durante y después de la construcción de la obra.

En la actualidad, como ya se ha mencionado, el control de la compactación en el campo se hace con base en mediciones del peso volumétrico seco del material tratado en la obra generalmente a través del concepto grado de compactación. El control con base en el peso volumétrico requiere inspección frecuente, muestreo y pruebas de laboratorio para la determinación del peso volumétrico de muestras del material compactado, obtenidas en la obra. Este hecho representa una dificultad para los métodos de control de compactación, pues en la determinación del contenido de humedad se considera un tiempo razonable, y como los trabajos de compactación se ejecutan a un ritmo veloz, las operaciones de control han de hacerse oportunamente, por lo que el tiempo de espera resulta excesivo y no es raro que un rechazo por parte del supervisor de los trabajos de control, a una cierta capa compactada, llegue a manos del constructor cuando otras varias ya hayan sido conformadas y compactadas sobre la que presenta problemas.

De esta manera, la preocupación por la supervisión de los trabajos de compactación ha conducido al desarrollo de métodos rápidos de control de la compactación con base en el peso específico y en el contenido de humedad. Como ejemplo están, el método de Hilf, el uso de penetrómetros, el método volumétrico, el método del alcohol y los de secado intensivo.

En el procedimiento tradicional para determinar el grado de compactación previamente se elige una prueba de laboratorio como prueba de control con la cual se determinan propiedades significativas de los materiales a emplear. Frecuentemente, en la obra se acepta que si en una prueba de laboratorio de diseño se siguen procedimientos de compactación sobre materiales en los cuales se procura mantener las condiciones naturales de los mismos, obteniéndose ciertos resultados, entonces, en una prueba de laboratorio de control realizada sobre materiales que ya forman parte de alguna capa compactada, construida con un proceso de trabajo similar al del laboratorio, los resultados esperados también serán semejantes a los obtenidos para el diseño.

Sin embargo, esta similitud está lejos de cumplirse y ya sea que se considere la equivalencia anterior u otro método de control sobre el tratamiento de compactación proporcionado a los materiales de cada capa, se exige en el campo un determinado porcentaje del grado de compactación a que se obliga cumplir el constructor.

Como ya se ha mencionado, las pruebas de laboratorio y de campo más comunes que se realizan a los materiales de las terracerías, en cuanto a la compactación se refiere, son la Proctor ASSHTO Estándar y la Porter. Pero, si se consultan las Normas para Muestreo y Pruebas de Materiales, Equipos y Sistemas de la SCT, se pueden encontrar otras similares a las anteriores con ciertas variantes, como la Proctor SCT, la Proctor ASSHTO Modificada de 3 capas y la Proctor ASSHTO Modificada de 5 capas. Además, en las normas también se señalan especificaciones sobre preparación de muestras, diferentes formas para la determinación del peso volumétrico y de el contenido de humedad, lo cual permitirá que se realicen los trabajos de construcción de terracerías con la calidad adecuada.

**V**

***PROCEDIMIENTOS  
CONSTRUCTIVOS***

**capítulo V****PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS**

En la construcción de terracerías se requiere de la ejecución de diversas operaciones y actividades que nos lleven a alcanzar el nivel de la subrasante de la carretera, siendo muchos los procedimientos constructivos que pueden llevarse a cabo para terminar adecuadamente con la construcción de la misma, para que después se puedan iniciar los trabajos de pavimentación.

En general, puede decirse que los procedimientos constructivos de una obra de terracerías giran alrededor de las siguientes dos actividades:

- ↳ Ejecución de excavaciones
- ↳ Formación de terraplenes

Estas actividades involucran dentro de sí mismas otras que se realizan en una obra de terracerías, como los trabajos preliminares de topografía, los trabajos de limpieza en el terreno, la conformación de los terraplenes, los trabajos de estabilización y compactación, los acarrees, etc., de manera que de los diferentes procedimientos de trabajo pueden seleccionarse aquellos que se adapten más a las condiciones que se presenten en la obra, es decir, al lugar de localización de la carretera y a las especificaciones indicadas en el proyecto.

En este capítulo describiré procedimientos de trabajo comunes para las dos actividades antes señaladas, así como un punto importante dentro de los mismos respecto a la curva masa, ya que ciertamente influye en la planeación de los mismos. Finalmente, trataré brevemente lo correspondiente a bases de pago y a la relación de conceptos para formación de los precios unitarios, como parte interesante en el análisis de los costos.

## **V.1. Procedimientos constructivos**

### **V.1.1. EJECUCION DE EXCAVACIONES**

Como ya se ha mencionado, la mayoría de las excavaciones que se realizan en una obra de terracerías son en cortes y en zonas de préstamos. Cuando se requiere de una excavación en corte ya sea en forma lateral o en cajón, o la explotación de bancos de materiales, intervienen varias consideraciones y diferentes tipos de máquinas en la ejecución de los trabajos.

#### **V.1.1.1. EXCAVACION DE CORTES LATERALES**

En los cortes en ladera, como ya se ha dicho, se excava un talud ascendente en uno de los lados y el otro descendente, así la carretera puede construirse excavando del lado alto y usar el material excavado para construir el otro inferior. Si la sección a construir es en balcón o mixta y el escalón forma la sección en su mayor parte o por completo en el corte, y el material excavado se va a usar cerca de la obra, éste puede tirarse lateralmente hasta que el escalón tenga la amplitud suficiente para que pueda operar la maquinaria. Luego el material se acarrea a lo largo del escalón hasta el lugar del terraplén.

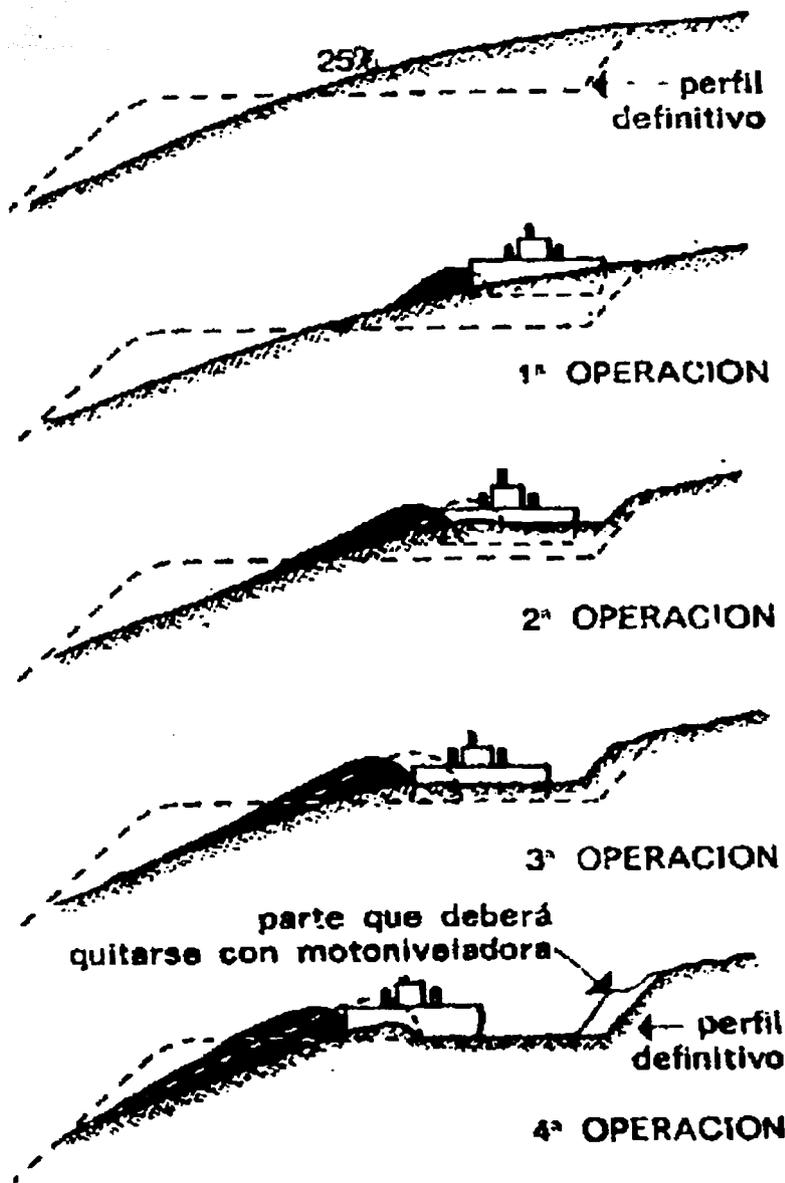
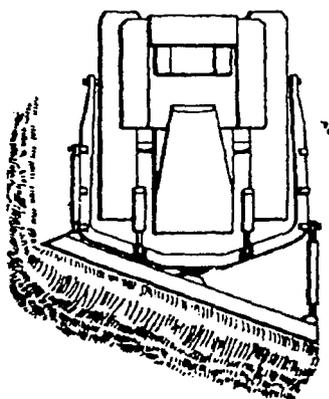
Los tractores, las máquinas para excavación, las motoescrepas y las motoconformadoras son herramientas importantes en las excavaciones de este tipo, por lo que si el corte que se va a hacer tiene taludes muy inclinados, entonces deberán hacerse las consideraciones necesarias para tener la seguridad de que se excave el talud correctamente, ya que puede ser difícil o imposible volver a subir las máquinas después.

Si la ladera esta formada por material suave, se puede excavar la cama del camino empujando el material hacia abajo y si los taludes son bastante inclinados, pueden atacarse de la misma forma haciendo caminar las máquinas a lo largo del camino. En el caso de una ladera muy inclinada el método ordinario de hacer el escalón es empujando el material lateralmente con un tractor, donde el trabajo se comienza cerca del talud superior en un lugar natural o artificialmente a nivel, que permita al tractor atacar en una dirección paralela a la línea central de la carretera, en la orilla superior del corte.

El escalón deberá de construirse con una inclinación en dirección opuesta a la de la ladera, lo que mantendrá inclinado al tractor para que corte con eficacia, permitiendo que se compacte el terraplén cuando camina sobre él y al mismo tiempo esto ayudará a formar la sección adecuada. Cuando la plataforma ya es lo suficiente ancha para que quepa el tractor, los procedimientos de trabajo pueden modificarse para adaptarse al talud, al suelo o a la máquina.

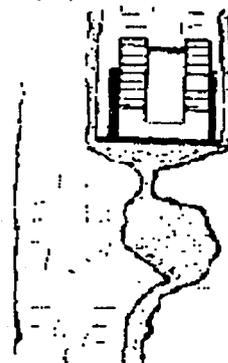
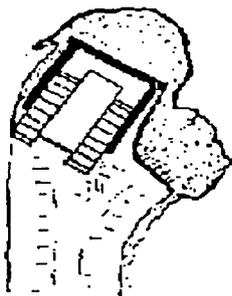
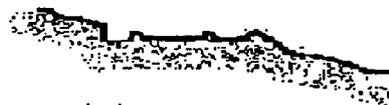
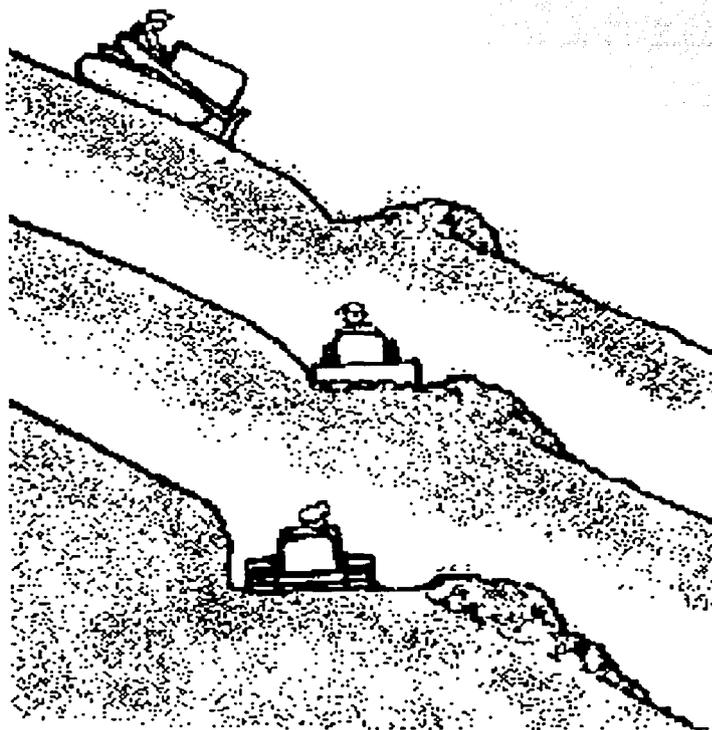
Lo dicho anteriormente puede observarse en las siguientes figuras.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



PRINCIPIO DE UN CORTE EN LADERA CON TRACTOR SOBRE ORUGAS

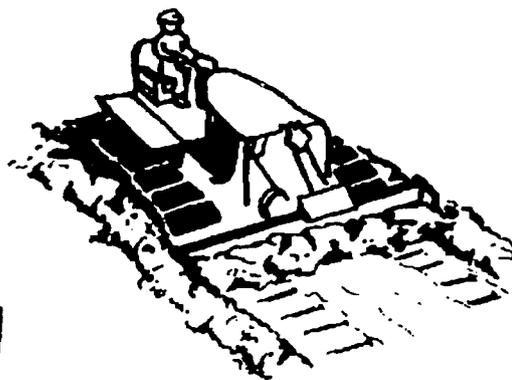
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



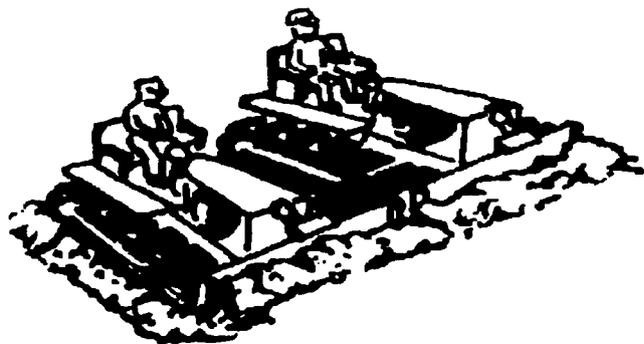
FORMA DE INICIAR UN CORTE EN UNA LADERA INCLINADA

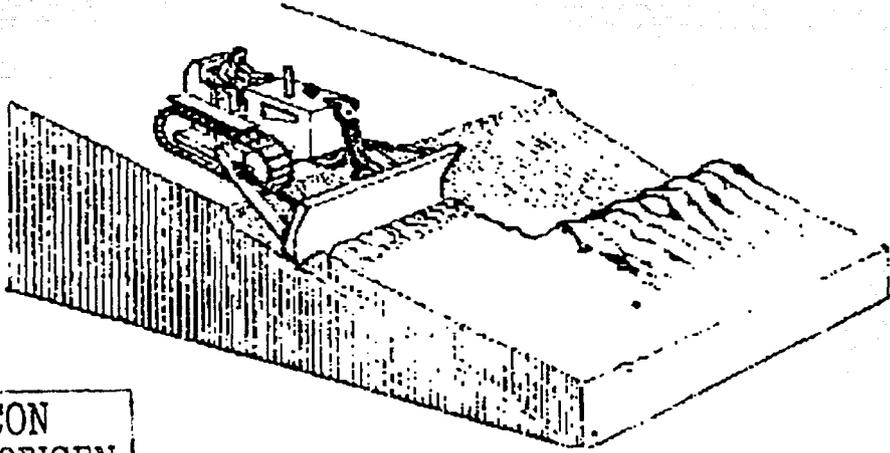
Si el corte es demasiado angosto que impide que dos máquinas pasen una al lado de la otra, su producción se puede aumentar utilizando dos o más tractores escalonados, aunque esto aumente un poco el costo. Uno de ellos puede trabajar desde atrás del corte, recorriendo una parte de la distancia y empujando la carga hacia el terraplén, desparramándola un poco al descargarla; el otro tractor de abajo puede caminar hasta atrás del montón pasando sobre éste, empujándolo hasta el final de su carrera.

Para que el tractor trabaje de manera práctica pueden considerarse las siguientes recomendaciones: un trabajo en bajada aumenta el empuje dado por el tractor; en canal se aprovechan los montones de tierra que se forman a los lados y se evitan los desbordamientos laterales del material y; trabajando los tractores en pareja evitan la pérdida del material excavado en los acarreos largos. En éste último caso se requiere de operadores hábiles.

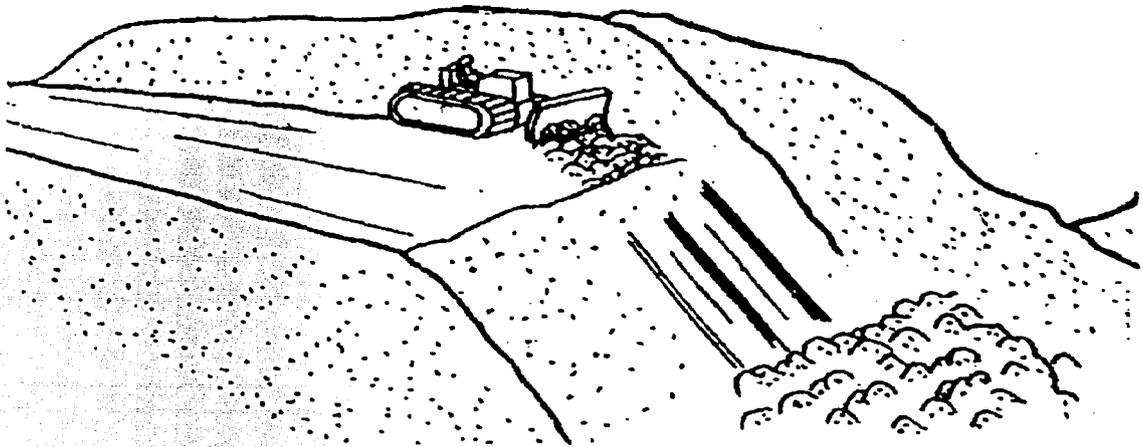


TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN





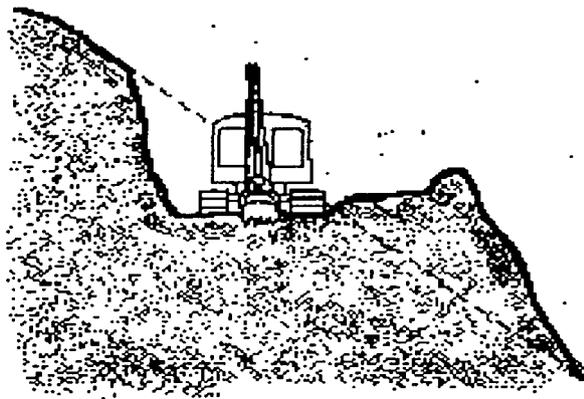
TESIS CON  
PALLA DE ORIGEN



Si el talud a excavar en el corte lateral está compuesto de material que el tractor no puede extraer, o que puede hacerlo pero con dificultad, de tal manera que disminuye su rendimiento y aumentan mucho los costos de reparación, el material tiene que aflojarse antes de iniciar la excavación con el tractor. La arcilla dura y la roca blanda en las laderas de inclinación moderada pueden aflojarse con un tractor equipado con dientes desgarradores pero, si la roca es dura o si la ladera está muy inclinada, probablemente será necesario el uso de explosivos para el primer corte. El adecuado diseño de las plantillas de barrenos permitirá una voladura eficaz, de tal forma que el trabajo de los tractores no se vea afectado.

Cuando la roca se presenta con afloramientos discontinuos cubiertos con una capa de material suelto, puede ser necesario excavar agujeros antes de barrenar. Otras veces, solamente se barrena las partes expuestas de la roca y se efectúa un ataque secundario en las partes que se descubren durante el trabajo del tractor. Después de aflojar el terreno con explosivos, el tractor puede trabajar de la misma forma que cuando se trata de materiales sueltos naturales.

Por otra parte, las máquinas excavadoras frontales (palas excavadoras frontales y retroexcavadoras) pueden emplearse en lugar de tractores para hacer escalones en las laderas. En general, se puede hacer la excavación gruesa en una sola pasada, pero si tiene que afinarse el talud, o si el corte es muy profundo, se tiene que hacer por capas.



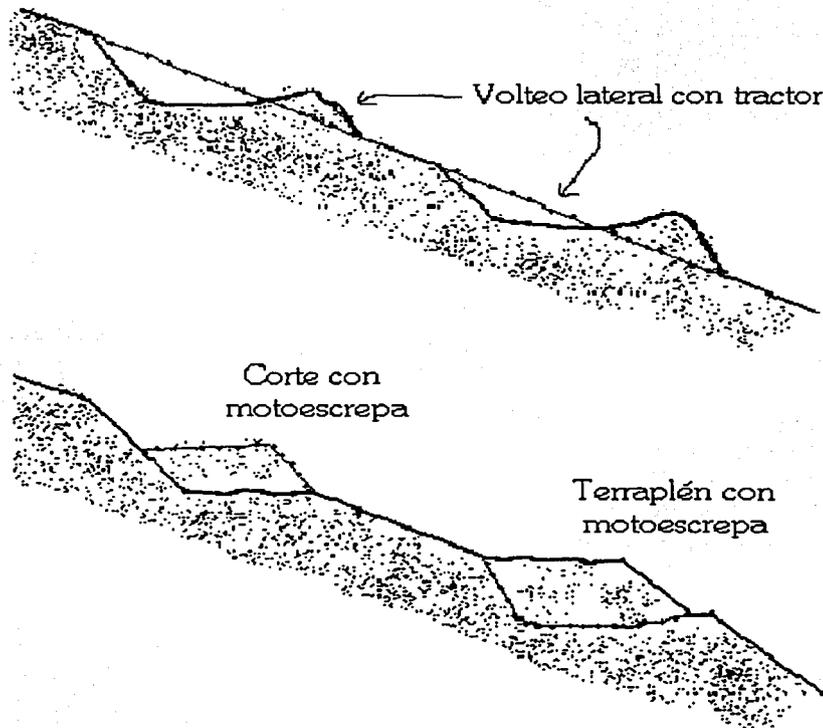
Sin embargo, el uso de una pala o una retroexcavadora, está limitado por el espacio del corte, y además, si el terreno es blando o mojado y la ladera muy inclinada, o las capas de suelo tienen la pendiente de la ladera, se deberá usar la máquina de menor tamaño, ya que el peso de una máquina grande en combinación con la vibración que produce su trabajo, puede originar un deslizamiento. El material que extrae la máquina se puede tirar con mucha comodidad lateralmente, pero también se puede cargar en camiones adyacentes a la misma. Si el camino de acarreo es largo y angosto, el transporte del material puede resultar un trabajo muy lento, por lo que deberá planearse la localización adecuada del mismo.

Los afloramientos de roca a lo largo del eje de la carretera deben de dinamitarse, porque la máquina excavadora no se puede mover con facilidad en las laderas muy empinadas para salvarlos. El empleo de ésta máquina es lo indicado cuando el suelo es demasiado blando o rocoso como para trabajarlo eficazmente con tractor, cuando los cortes son gruesos y cuando el material debe transportarse a distancia. El trabajo efectuado por una pala o una retroexcavadora se deja con un acabado ordinariamente tosco para posteriormente afinarse con un tractor o una motoconformadora.

En cuanto a las motoescrepas, su utilización depende del material a excavar en el corte y si éste es manejable, la excavación y transporte del mismo puede ser realizado de manera eficiente. Aunque también hay que considerar el estado del camino de acarreo ya que de las condiciones en que se encuentre se influirá en la producción y el mantenimiento de la máquina.

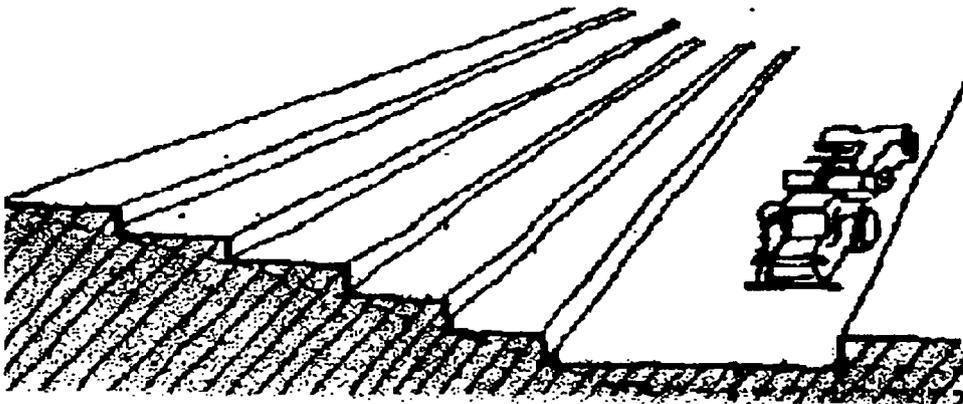
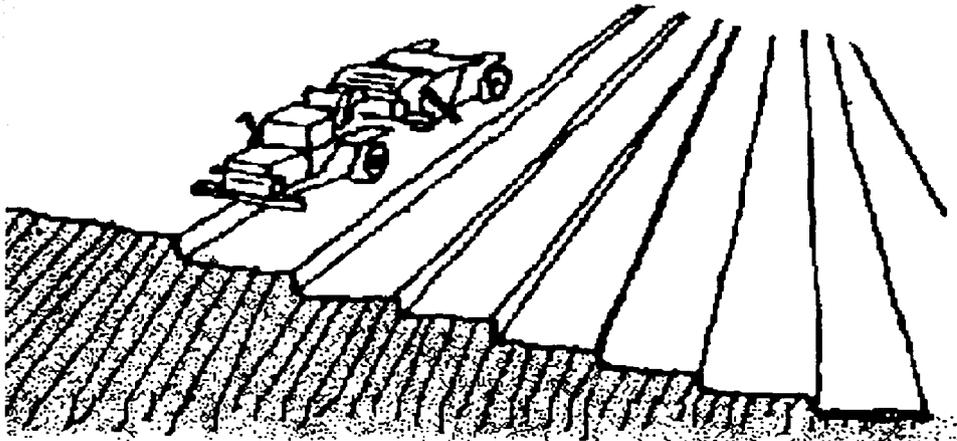
El primer ataque se inicia con los tractores, desmontando y despalmando el terreno y después entran en acción las motoescrepas excavando el material en capas para posteriormente acarrearlo al sitio de uso o desperdicio, ya sea el caso.

Cuando se excava un camino ancho en una ladera formando una sección en balcón, puede resultar muy difícil e imposible compactar el terraplén si se forma tirando el material lateralmente. Para formar la sección se hacen dos escalones preliminares, uno en la parte superior y otro en la inferior del corte; entonces, las motoescrepas pueden emplearse para cortar la parte superior hacia abajo y para formar el terraplén hacia arriba. El terraplén que se va formando puede empezar a compactarse con equipo adecuado hasta que se obtiene una anchura suficiente que permita pasar a las motoescrepas sobre el terraplén, después de lo cual pueden operar en ambas direcciones.



Antes de comenzar la excavación del corte, empleando ésta máquina, deben determinarse los límites de la excavación de manera que se corten los taludes inclinados desde el principio. Esto se hace formando una serie de escalones en la ladera. El piso del corte debe tener pendiente hacia los extremos, que se puede dar con un tractor o con una motoconformadora, después de lo cual, la pendiente tiende a conservarse por sí misma, porque el peso de la máquina será mayor en el lado de abajo, por lo que tenderá a cortar más en ese lugar. Siempre que sea posible el corte se debe disponer de manera que la excavación se efectúe en bajada y hacia el terraplén.

Con una motoescrepa el ataque en capas o escalones, en un tramo que lleva talud, se efectúa de arriba hacia abajo y después de que se corta cada capa, se corta otra hasta el talud. Los escalones formados pueden borrarse después con otra máquina, por ejemplo con una motoconformadora.

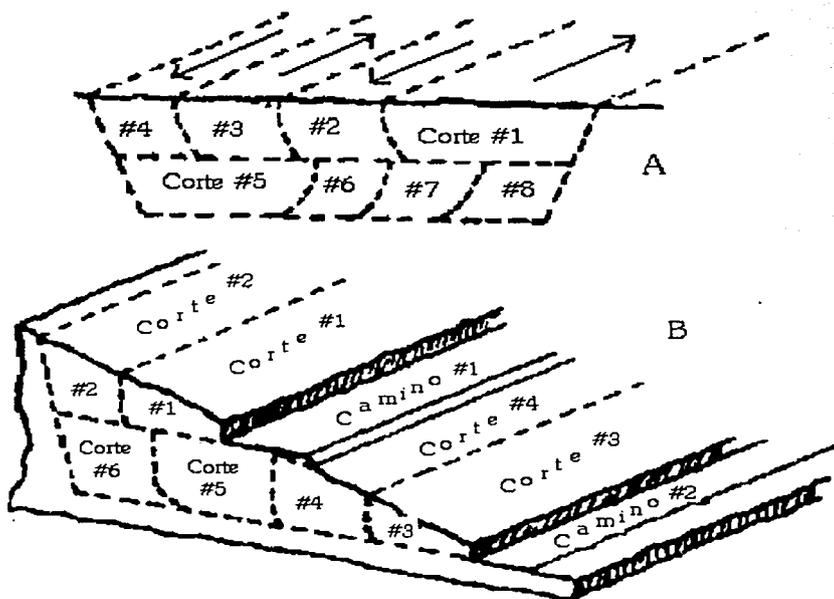


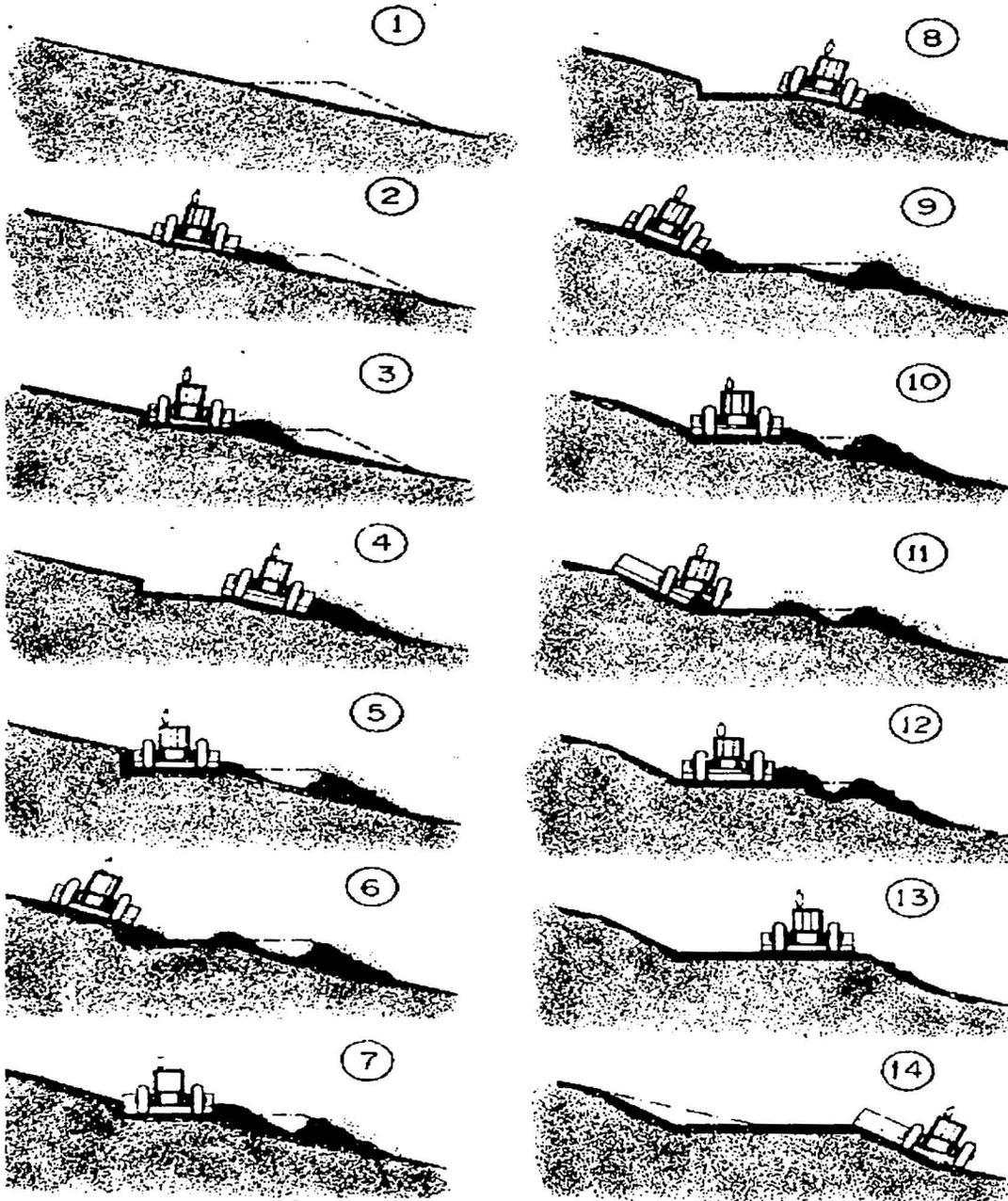
Una motoconformadora también puede realizar las mismas operaciones que un tractor en un corte lateral, siempre y cuando el suelo del terreno y la inclinación de la ladera lo permitan. Veamos esto en la figura de la página siguiente. En la figura se observa el procedimiento que se sigue para formar el corte. Los trabajos comienzan a partir de los datos de proyecto donde se indica la sección a construir y con esta información, la motoconformadora efectúa una serie de cortes en la ladera, extendiendo el material excavado sobre el área de desplante del terraplén. El proceso es sucesivo hasta que se alcanza la sección proyectada, siendo los últimos trabajos de afinamiento de taludes.

También la motoconformadora se emplea en la excavación de cunetas simultáneamente a los trabajos del corte en ladera.

#### V.1.1.2. EXCAVACION DE CORTES EN CAJON

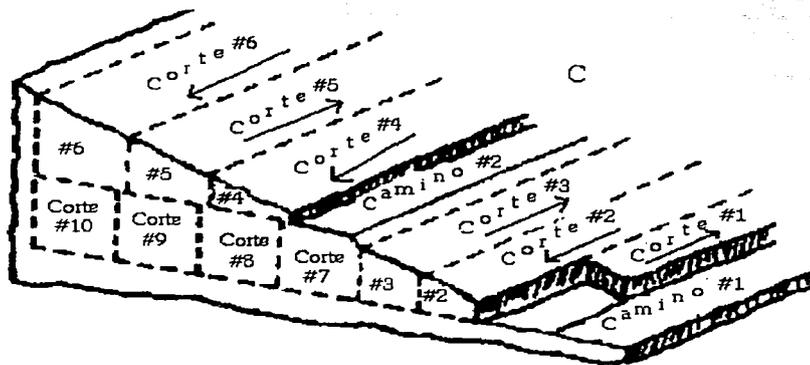
Los cortes en cajón se realizan generalmente por medio de palas excavadoras frontales y retroexcavadoras cuando el terreno no se puede nivelar fácilmente como para poder considerar el uso de motoescrepas, cuando el terreno es rocoso o húmedo, cuando el terraplén es demasiado blando o muy angosto para descargar sobre el mismo y cuando el acarreo es muy largo para las motoescrepas. En este tipo de cortes, en una sección transversal más o menos a nivel, como en la figura A, la parte superior se excava primero. En el caso de las laderas, se puede quitar la parte superior primero, como en B o cortar el talón, luego la parte superior y luego el piso del corte superior como en C.



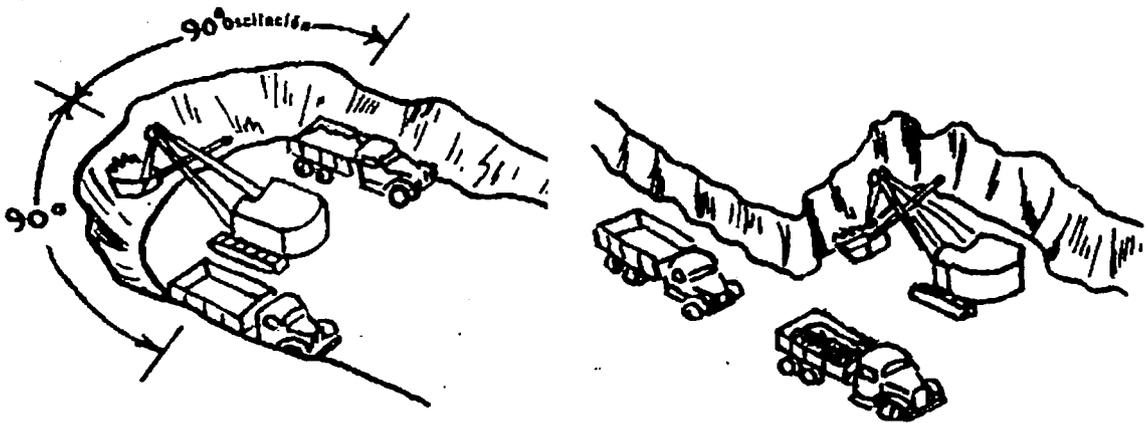


PROCEDIMIENTO DE UN CORTE EN LADERA CON MOTOCONFORMADORA

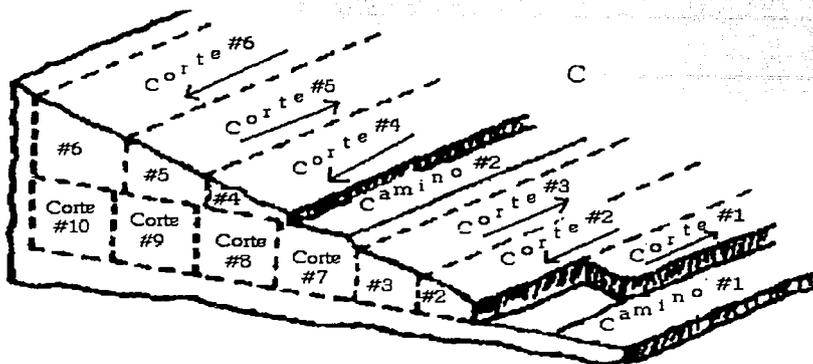
TERRAS CON  
FUENTE DE ORIGEN



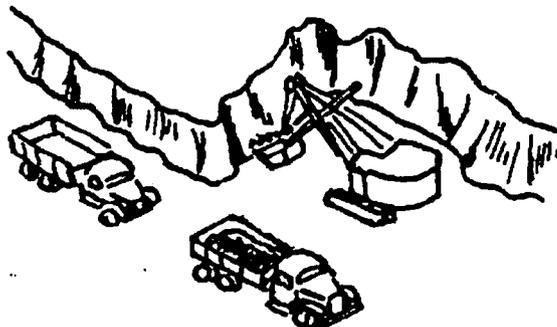
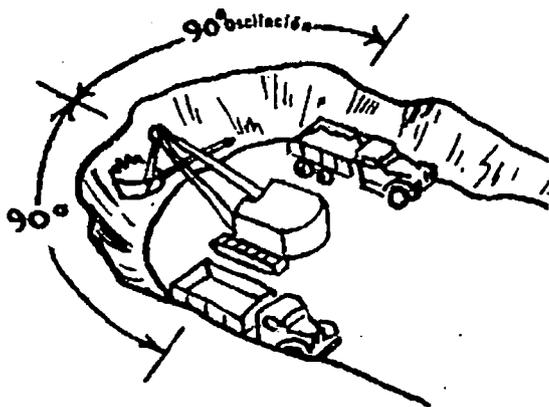
Para que la excavación del corte sea eficaz debe construirse un camino de acarreo adecuado entre el principio del corte de la máquina y la construcción del terraplén. Cuando no existe un camino de paso la máquina comienza cada nivel haciendo un corte tan amplio como pueda, tal como se muestra en la primera figura que sigue, para que permita el tránsito de los vehículos en dos sentidos. Después, los cortes siguientes se hacen de la mitad de la anchura, como en la segunda figura, para facilitar la carga y el movimiento de los camiones.



Si el piso del corte es blando, el mejor procedimiento de trabajo consistirá en usar una draga de arrastre para trabajar desde la parte superior, sin embargo, si no se dispone de una o el material es muy duro para ella, una pala o una retroexcavadora pueden trabajar en plataformas de apoyo y tener un camino de grava o de piedra construido detrás para los camiones.

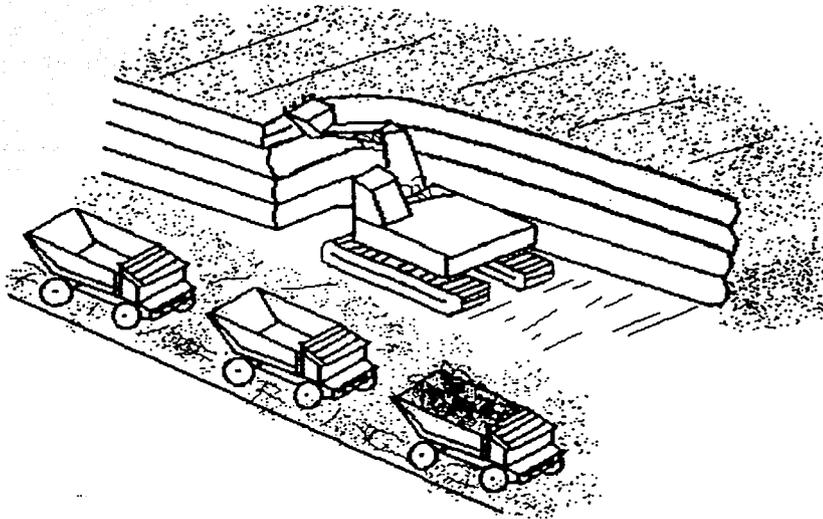


Para que la excavación del corte sea eficaz debe construirse un camino de acarreo adecuado entre el principio del corte de la máquina y la construcción del terraplén. Cuando no existe un camino de paso la máquina comienza cada nivel haciendo un corte tan amplio como pueda, tal como se muestra en la primera figura que sigue, para que permita el tránsito de los vehículos en dos sentidos. Después, los cortes siguientes se hacen de la mitad de la anchura, como en la segunda figura, para facilitar la carga y el movimiento de los camiones.

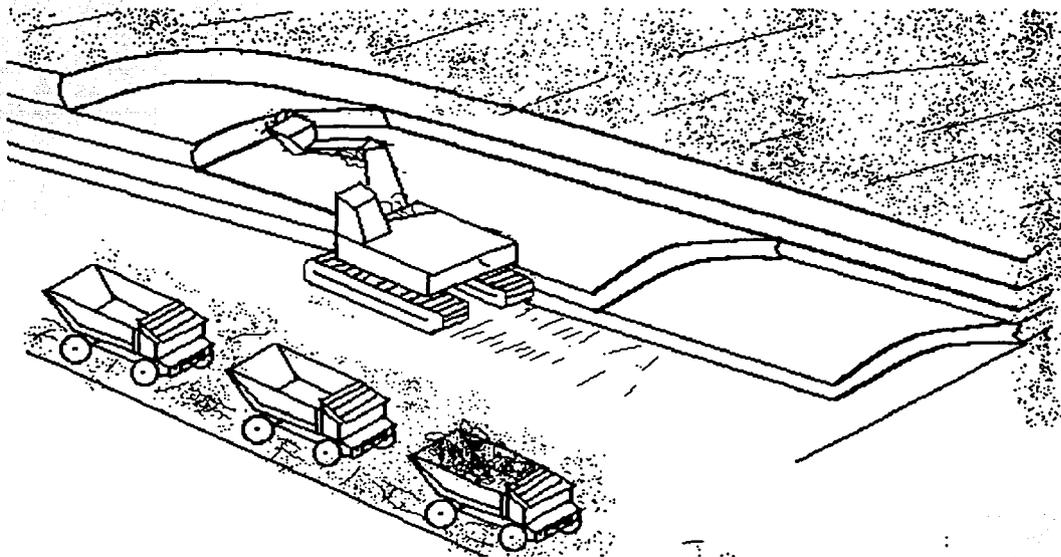


Si el piso del corte es blando, el mejor procedimiento de trabajo consistirá en usar una draga de arrastre para trabajar desde la parte superior, sin embargo, si no se dispone de una o el material es muy duro para ella, una pala o una retroexcavadora pueden trabajar en plataformas de apoyo y tener un camino de grava o de piedra construido detrás para los camiones.

Otros procedimientos constructivos que también pueden ser realizados en los cortes en cajón con la pala excavadora frontal son el de excavación en bloque y el de excavación por capas.

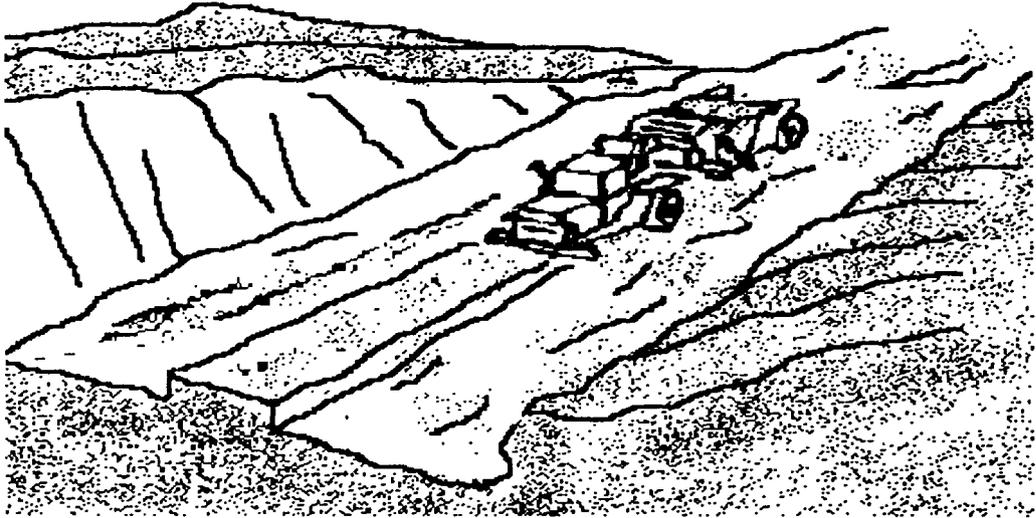


EXCAVACION CON PALA EXCAVADORA EN BLOQUE



EXCAVACION CON PALA EXCAVADORA EN CAPAS

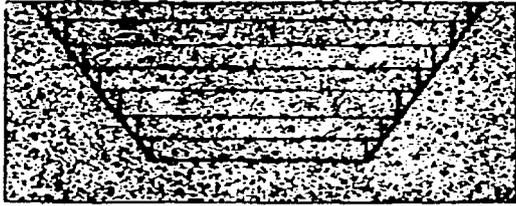
En los cortes en cajón no puede excluirse el uso de motoescrepas, ya que éstas pueden emplearse cuando el material a excavar es relativamente duro. Las motoescrepas pueden efectuar la carga en tres pasadas, dos laterales primeramente dejando una franja central y luego la tercera pasada que se hará precisamente sobre esta franja que, por presentar menor resistencia que otra pasada cualquiera, facilita la carga.



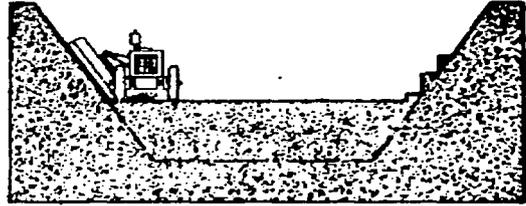
Para hacer un corte en cajón que sea profundo, empleando las motoescrepas, puede seguirse el siguiente procedimiento:

- Después de que se cuenta con los planos del proyecto de excavación donde se indican las capas a excavar, se procede a efectuar el trabajo sobre la línea del talud futuro, dejándolo previamente en forma escalonada.
- Ya que se efectúa la excavación a cierta profundidad, se emplea entonces una motoconformadora para cortar los escalones y afinar los taludes.
- Posteriormente, se continúa con la excavación por capas hasta la profundidad requerida y la motoconformadora termina de formar el talud según las especificaciones del proyecto.

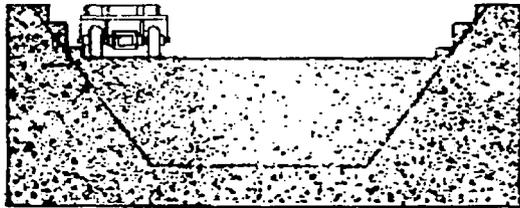
Este anterior proceso de trabajo puede observarse en la siguiente figura:



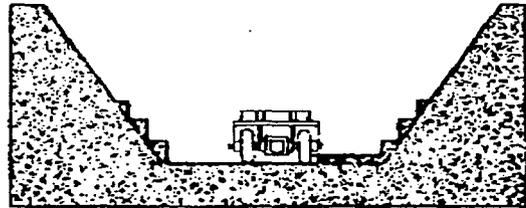
1



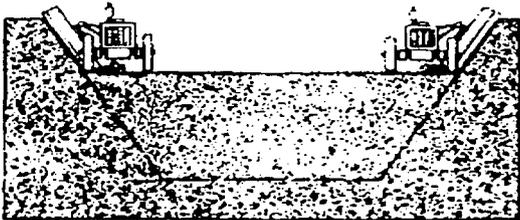
5



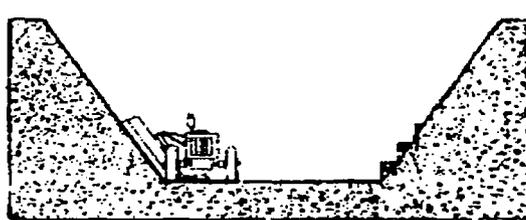
2



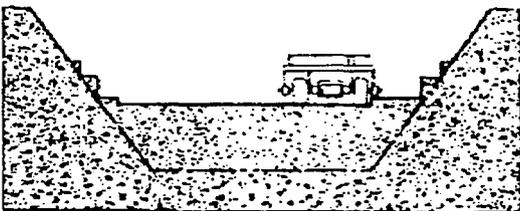
6



3



7



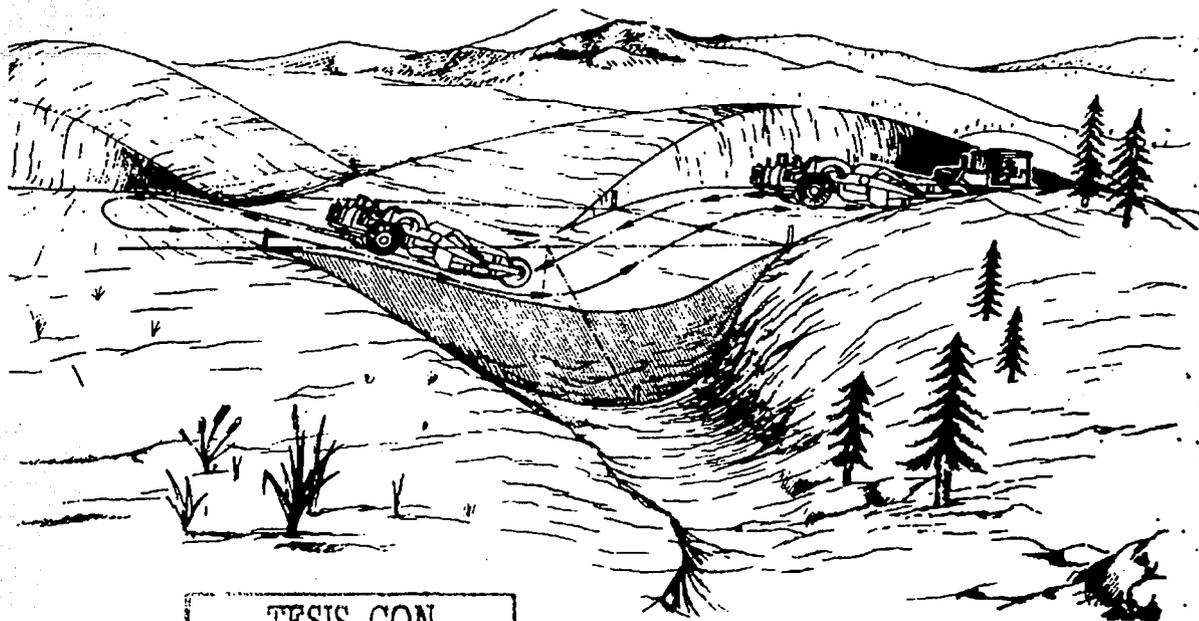
4



8

CORTE EN CAJON CON MOTOESCREPAS

Pero también en la construcción de carreteras y de caminos ondulados de acceso se efectúan muchas obras de corte y relleno para dar al camino un trazado adecuado. En la figura que se muestra a continuación, se ve una obra de excavación en un corte en cajón y una de relleno para formar el terraplén, efectuados por la misma máquina.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

En el capítulo II se ha mencionado que dentro de los cortes en cajón también se consideran los ataques a los afloramientos de roca encontrados sobre la línea de la carretera, siendo posible realizar la excavación de tales con el empleo de una retroexcavadora equipada con un martillo hidráulico.

Finalmente, para terminar con las excavaciones en cortes, hay que mencionar que como los terraplenes recién construidos necesitan protegerse contra el efecto de los escurrimientos de agua de los terrenos adyacentes, en los cortes generalmente se construyen cunetas y contracunetas. La cunetas son canales en los cortes que se hacen a los lados de la calzada del camino, cuya función es interceptar el agua que escurre de la corona, del talud del corte y del terreno natural adyacente, para conducirla hacia una obra transversal y alejarla lo más rápido de la zona que ocupa la carretera. Se construyen durante la excavación de los cortes y la formación de los terraplenes.

Las contracunetas son zanjas que se construyen en las zonas de ladera arriba de los cerros de los cortes. Tienen como objetivo interceptar el agua que corre por las laderas y conducirla hacia alguna cañada inmediata, con ello se evita que al escurrir el agua por los taludes de los cortes los erosione. Éstas últimas obras de drenaje pueden construirse cuando se inicie con la excavación de los cortes.

### V.1.1.3. EXCAVACION EN BANCOS DE MATERIALES

La apertura y explotación de préstamos de banco, o bancos de materiales, son con frecuencia una actividad en gran escala que necesita de los mejores métodos de producción masiva de movimientos de tierra. Las excavaciones se realizan utilizando determinadas máquinas con características y usos bien establecidos por la experiencia previa de construcción. Así, pueden emplearse en los trabajos de limpieza del terreno y en la escarificación los tractores y, en operaciones de afloje de material como el caso de roca, pueden usarse los explosivos o las diferentes máquinas excavadoras frontales.

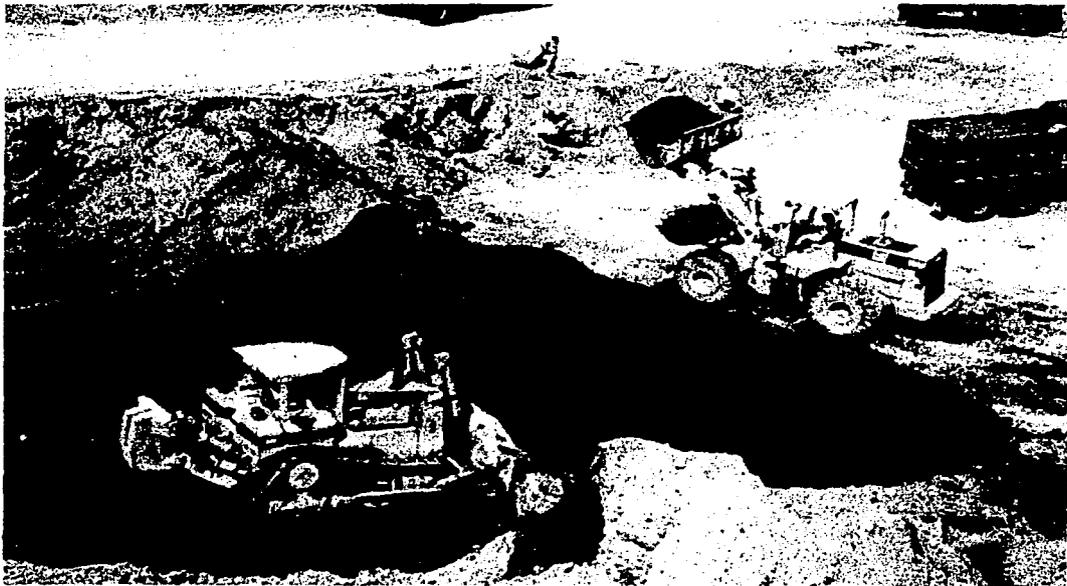
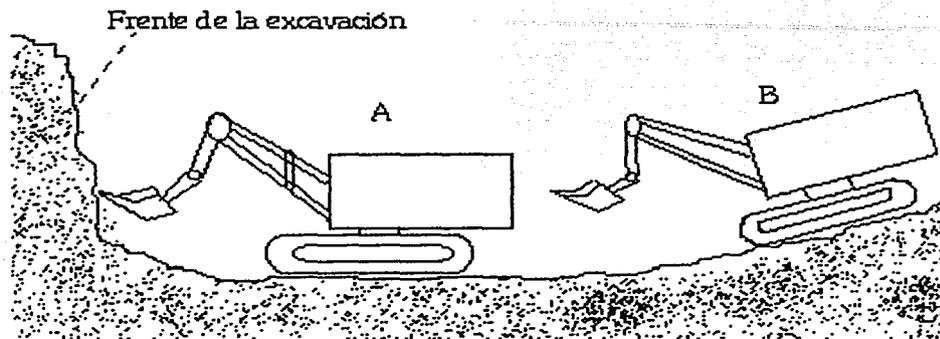


Foto V.1. Excavación en un banco de materiales.

Como ya se dijo, en los lugares en que los suelos que se van a excavar son de roca blanda o cementados, es usual que la pala excavadora frontal sea la mejor herramienta a menos que se pueda romper el material de otra forma económica, siendo uno de los aspectos a considerar el correspondiente a la forma de disponer la máquina en el sitio de trabajo, esto es, en el frente de la excavación. Surgen entonces dos condiciones:

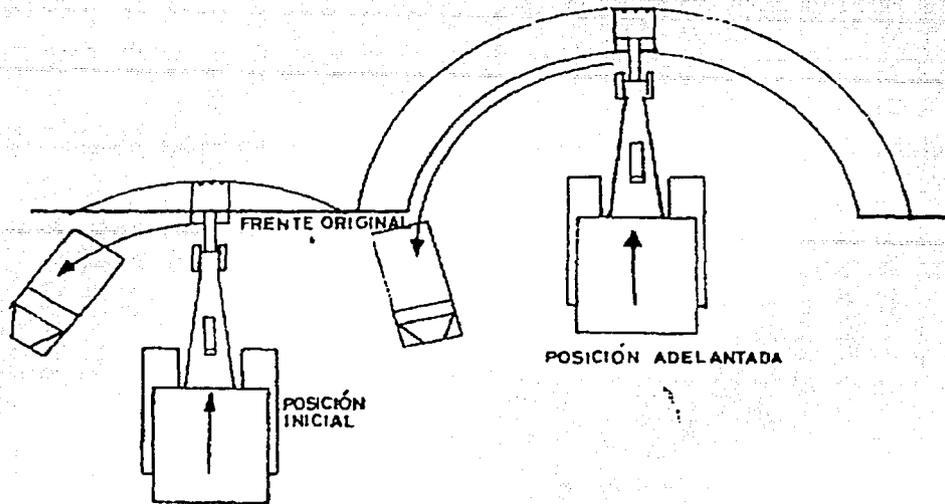
- Cuando el material por excavar está de tal forma que el talud que se yergue sobre la superficie, o área de excavación, está más o menos lista y acondicionada para ser atacada por la máquina. (Figura A)
- Cuando la pala tiene que aproximarse al frente de la excavación desde una altura superior. (Figura B)



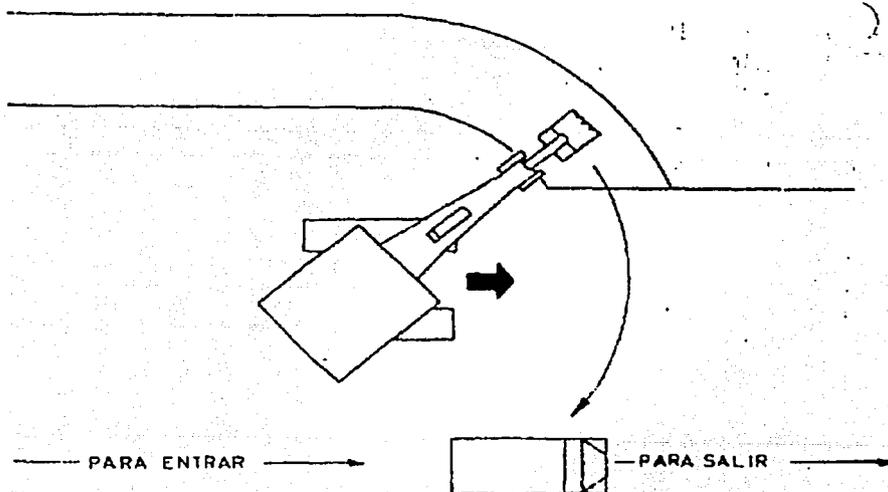
Otro aspecto importante lo es el acceso al banco de materiales, ya que cuando se abre un nuevo frente de trabajo, uno de los elementos que se toman en cuenta es el acceso al sitio de los trabajos de la excavación y el plan para mover y eliminar los materiales ya excavados. Esto es importante cuando dichos materiales deben ser transportados, puesto que el tipo de camino hasta y desde el frente de excavación, a menudo suele imponer la elección de un determinado tipo de maniobra. Además, es importante conocer el camino que ha de tomar el equipo de acarreo para llegar y salir del sitio donde se encuentra la pala, para evitar retrasos en los trabajos y descomposturas en los vehículos de transporte.

También es importante la forma de colocación de la máquina para que los vehículos de transporte puedan aproximarse con la mayor facilidad al sitio de trabajo y alejarse del mismo cuando se encuentren cargados. Aunque la pala excavadora frontal puede ser colocada de diversas formas para atacar el material de un banco, éstas se basan en las dos posiciones básicas: la frontal y en paralelo, de las cuales ya se ha hablado un poco en los cortes en cajón.

El ataque frontal tiene lugar cuando se efectúa más o menos en ángulo recto con el frente de excavación y la pala se mueve hacia delante hasta que haya excavado un semicírculo cuyo radio se aproxima cuanto es posible al radio máximo de corte permitido por la pala. Este método tiene la ventaja de que el giro nunca excede de  $90^\circ$  y en la mayoría de los casos es menor. Además los vehículos pueden colocarse a cada lado de la pala para ser cargados, lo que elimina pérdidas de tiempo.

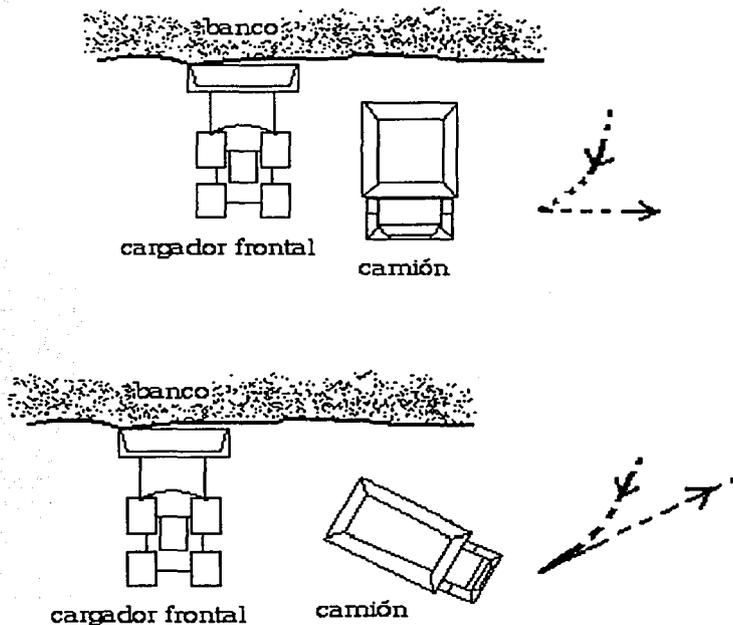


En el método de la posición en paralelo la pala se coloca de manera que se mantenga paralela al frente de la excavación para ejecutar su trabajo a lo largo de la superficie. Los vehículos de acarreo no pueden cargarse más que por un solo lado. Este método de ataque es más aconsejable para los casos en que se efectúan excavaciones de cortes en las carreteras y no propiamente para operaciones en bancos de materiales.

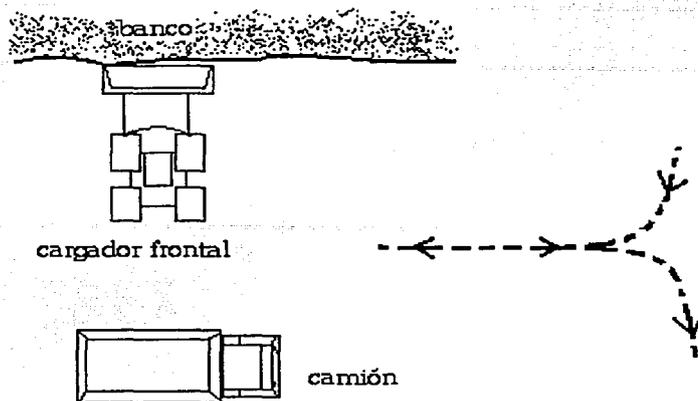


En la excavación de bancos de materiales también pueden encontrarse trabajando otro tipo de máquinas, como los cargadores frontales. Estas máquinas son muy necesarias, ya que si la pala excavadora frontal, o en algún caso la retroexcavadora, solo se dedican a excavar, bien el cargador frontal puede efectuar el trabajo de carga al equipo de acarreo. Aunque en otras ocasiones la misma máquina excavadora realiza este trabajo.

Los cargadores frontales, para hacer más eficiente su trabajo, pueden efectuar diversos procedimientos de carga según sean las condiciones en la excavación del banco. La excavación y descarga de material en posición V es un método muy usado y eficaz en el cual el costado del camión está en ángulo recto con el frente del banco, o bien, el camión es capaz de adoptar otras posiciones que sean adecuadas; por ejemplo, si el camión está estacionado a un ángulo aproximado de  $45^\circ$  con el banco, las vueltas del cargador serán solo de la mitad.

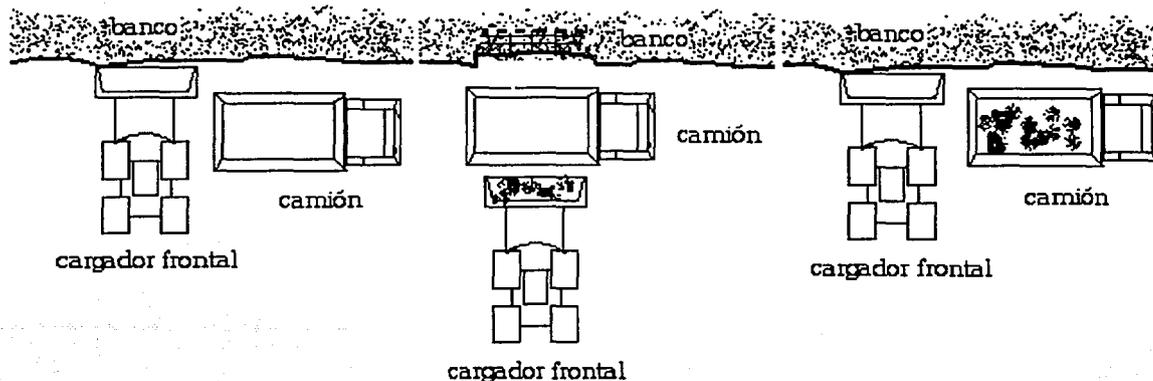


Otro caso lo es cuando el camión está paralelo al banco a una distancia de éste, de manera que el cargador debe dar media vuelta con cada carga a fin de introducirla en el camión y otra media vuelta para volver al banco. Se requiere más recorrido que en los otros métodos. Este es el método más lento e insatisfactorio de los sugeridos, pero a menudo se utiliza en las explotaciones lodosas o arenosas en donde los camiones están restringidos a ciertos movimientos.



Otro método de carga lo es cuando el camión se coloca paralelo al banco, pero va hasta el cargador para ser cargado. La máquina llena su cucharón retrocediendo directamente. El camión retrocede frente a él, el cargador avanza y descarga dentro del camión, el camión se mueve hacia delante, el cargador toma otra porción, retrocede y espera a que regrese el camión.

Este método es rápido y eficiente si se coordina correctamente. Es valioso cuando el suelo está suelto y muy abrasivo, de manera que desgaste rápidamente las orugas, si éstas se mueven por cambio de dirección. Pero el método no es tan común, por lo que los operadores de los camiones casi no lo utilizan.



Usualmente para estos procedimientos de carga y excavación la producción del cargador puede aumentarse colocando una persona para señalar el estacionamiento de los camiones, o mediante el entrenamiento de los conductores de los camiones para estar alertas con las necesidades de la máquina, de modo que no sólo tomen una posición conveniente, sino que estén listos para moverse si la máquina se retira de ellos. Esto es importante cuando la zona de excavación sea poco profunda y las cajas de los camiones de carga son grandes. Aunque en otros casos, los camiones podrán cargarse utilizando cargadores a ambos lados.

### **V.1.2. FORMACION DE TERRAPLENES**

La construcción de terraplenes es una de las actividades más amplias e importantes dentro de una obra de terracerías. Intervienen diversas operaciones, como los trabajos sobre el terreno natural, el acarreo y tendido de materiales, la estabilización de los suelos, la compactación de cada una de las capas, etc.

Para formar tales estructuras pueden seguirse diferentes procedimientos constructivos, lo que permite al constructor realizar los trabajos de muchas maneras con economía y calidad. Sin embargo, la elección de la maquinaria y el procedimiento de trabajo son consecuencia directa de la calidad de los materiales y de las condiciones físicas que se encuentren en la obra.

Los trabajos en la construcción de los terraplenes inician sobre el terreno natural de apoyo, es decir, efectuando el desmonte y el despalme y, algún tipo de tratamiento del terreno. Después, se procede a la conformación de los mismos, efectuando desde un tendido y mezclado de los materiales hasta los trabajos de estabilización, si se requieren, y de compactación. Posteriormente se hace la revisión sobre la sección transversal construida, afinando y reestructurando los elementos que no cumplan con lo especificado en el proyecto, para finalmente entregar la obra terminada a la parte contratante.

#### **V.1.2.1. METODOS DE MEJORAMIENTO DEL TERRENO NATURAL**

Como ya se ha mencionado en el capítulo II, a veces el terreno natural requiere de tratamientos previos a la construcción de terracerías debido a que las condiciones que presenta necesitan de un mejoramiento para poder efectuar los trabajos sin la presencia de problemas durante o después de la construcción. Dentro de los métodos de mejoramiento del terreno natural, los más comunes son los siguientes:

• *Uso de materiales ligeros.* Se refiere a tratar de conseguir bancos de materiales de bajo peso específico para la construcción de terraplenes, a fin de que se reduzcan las presiones comunicadas al terreno natural, pues los asentamientos suelen estar ligados a la falta de resistencia, de modo que si el terraplén se hace con material pesado requerirá de taludes muy tendidos o empleo de bermas; esto podrá reducirse o eliminarse con el empleo de materiales ligeros.

▫ *Sobreelevación de la rasante.* El sobreelevar inicialmente la rasante del terraplén provocará que después de un tiempo quede a el nivel requerido cuando se hayan producido los asentamientos. Este método depende de la capacidad de soporte que tenga el terreno natural.

▫ *Construcción previa de los terraplenes.* En este caso el terraplén se construye con bastante anticipación antes de que inicien los trabajos de pavimentación de la carretera. Con ello se permite que el asentamiento ocurra durante ese lapso disponible y después se forma la sección del camino sobre un terreno que ya no se deformará. Todo depende de la disponibilidad de tiempo.

▫ *Uso de drenes verticales de arena.* Este procedimiento sirve para que se acelere la etapa de consolidación y sea más rápida la de asentamiento, dando oportunidad de que ocurran durante el proceso de construcción. Recordando que la consolidación provoca un aumento en la resistencia del material. El proceso de consolidación se lleva a cabo expulsando del material parte de la humedad que contiene y la que rodea las partículas a fin de aproximarlas entre sí. Los drenes, son pequeñas perforaciones verticales rellenas de material permeable (arena), de pequeño diámetro y longitud suficiente para que los efectos alcancen al manto compresible o a la capa que puede producir el mayor asentamiento.

▫ *Compensación total o parcial de la carga del terraplén.* Se refiere a emplear un método que logre el desplazamiento lateral del suelo de cimentación blando cuando penetre el material del terraplén; con ello se producirá una compensación igual a la diferencia de presión entre el peso del material colocado y el desplazado. El desplazamiento puede lograrse con el uso únicamente de la gravedad, de sobrecargas o de explosivos. Desplazar el terraplén se refiere a hundirlo de tal forma que descansa sobre un estrato resistente que detenga el movimiento del suelo blando.

El primer proceso es lento y puede durar varios años antes de la construcción del pavimento ya que su construcción sería prematura y quizás haya necesidad de volverlo a construir cuando, al producirse un asentamiento fuerte, haya que elevar la rasante.

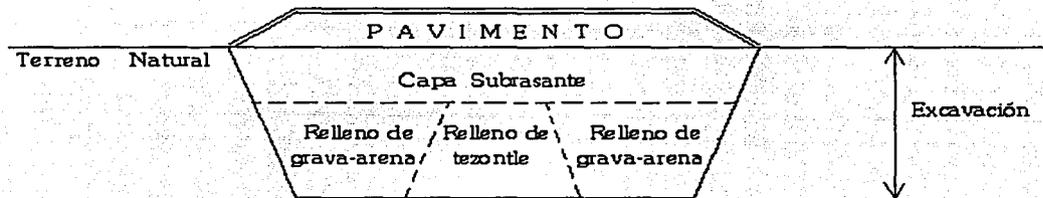
Con el uso de explosivos, se tienen varios métodos por colocación de la carga explosiva antes, durante y posteriormente a la construcción del terraplén. Cuando se utiliza éste método, el terraplén se construye por lo general a un nivel considerablemente superior al de la rasante final y el desplazamiento del suelo subyacente se acelera con la detonación de cargas profundas de explosivos. Según se vaya desplazando la capa inferior de suelo, el relleno la sustituye; entonces puede dársele el acabado correspondiente a la elevación y sección transversal requeridas.

Este método requiere un control cuidadoso, pero se logra la formación de un terraplén que se estabilizará en un período relativamente corto, aparte de ser un método adecuado y económico.

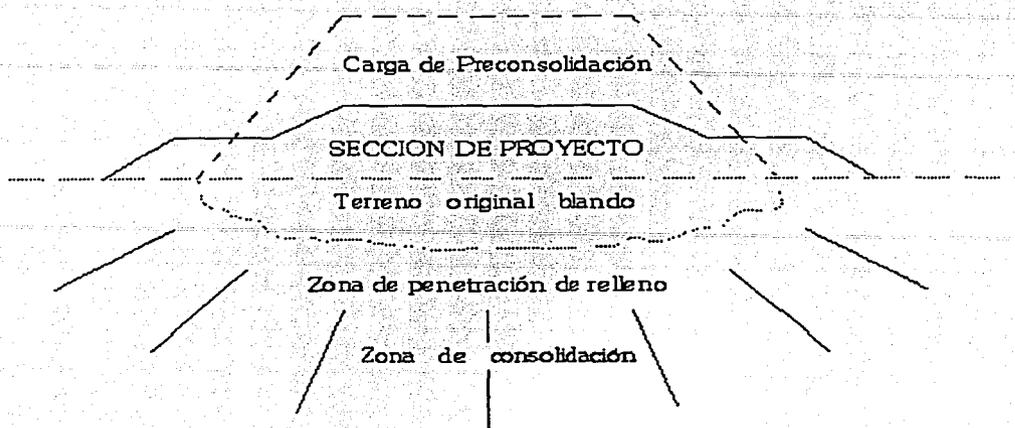
▫ *Remoción del material compresible.* Consiste en la remoción del material inadecuado y compresible del terreno natural, por otro de mejor calidad. El método se basa en excavar el material del terreno natural hasta llegar al estrato resistente y rellenarlo con material adecuado pero, en muchas ocasiones, lo que se hace es extraer material en un espesor menor a 1m y rellenar después con uno más conveniente. Esta sustitución de materiales debe verse como una alternativa más que podrá sopesarse para ser empleada cuando resulte ser la más económica o adecuada.

▫ *Uso de telas plásticas.* En los suelos blandos es común que el material de relleno se incruste en un volumen grande dentro de las capas de los terraplenes. Para disminuir tal problema se utilizan geotextiles o geomallas que se colocan sobre el terreno natural débil, o bien, sobre alguna otra capa de las terracerías y se cubren con el relleno del terraplén. Estos productos son telas plásticas permeables hechas de diferentes fibras artificiales, ligeras, que poseen de moderada a alta resistencia a la tensión y soportan muchos alargamientos sin romperse. Permiten un aumento en la capacidad de carga del terreno y, a su vez, construir un terraplén más alto.

▫ *Flotación o compensación.* La flotación o compensación consiste en hacer que el terraplén flote sobre un material cuyo peso volumétrico sea menor que el del suelo blando, sin embargo, con el tiempo pueden producirse asentamientos. Este procedimiento consiste en excavar un cajón el cual se rellena posteriormente con un material ligero, de tal forma que su peso más el del pavimento se acerca al peso del material extraído.



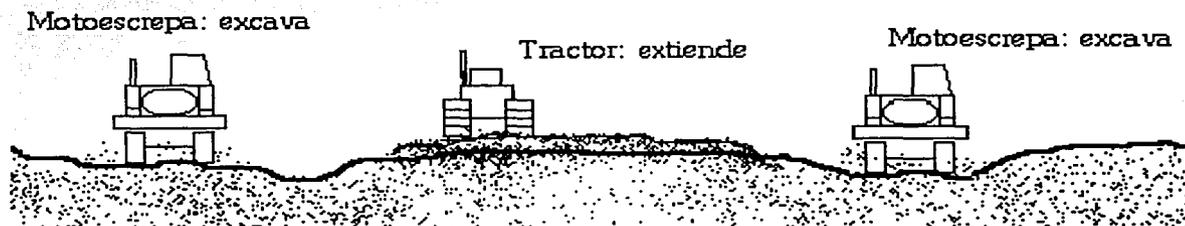
▫ *Preconsolidación.* La preconsolidación del terreno natural aumenta su resistencia. Para ello, sobre la franja de terreno blando donde se construirá la obra se coloca un volumen de material mayor al necesario y se deja el mayor tiempo posible, incluso por varios años. Al cabo de este tiempo se retira el volumen excedente y se deja la sección del proyecto; con el material sobrante se construyen las bermas que con seguridad, también se habrán de requerir para asegurar la estabilidad del terraplén.



### V.1.2.2. CONSTRUCCION DE LOS TERRAPLENES

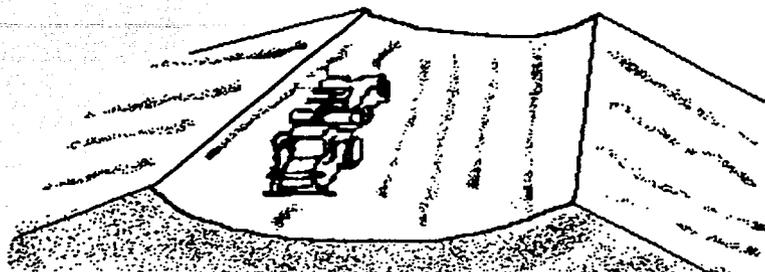
Los terraplenes se construyen con capas de materiales sensiblemente horizontales y relativamente delgadas. Las capas se forman tendiendo el material en un espesor más o menos uniforme, en todo el ancho y longitud del tramo del terraplén según las indicaciones dadas por las estacas de trazo y de taludes. Para el tendido de los materiales pueden seguirse varios procedimientos, por ejemplo: descargando el material con una motoescrepa o tendiendo el material con ayuda de camiones en donde después el extendido se realiza con tractores o motoconformadoras hasta lograr el espesor necesario.

Para la formación de un terraplén con materiales de préstamos laterales el proceso de trabajo puede realizarse con diferentes tipos de máquinas, según sean las condiciones del terreno donde se extraen y acarrea. Cuando se emplean motoescrepas la construcción se hace cargando, transportando y tendiendo el material por capas.

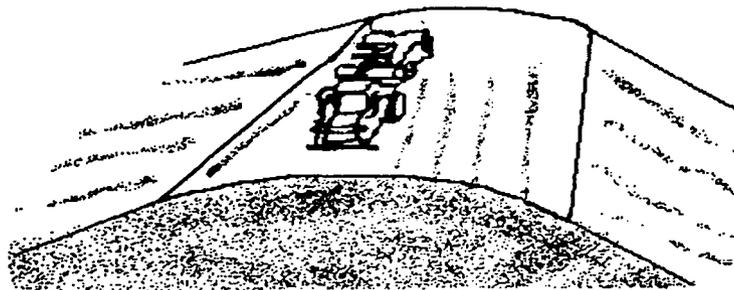


En el trabajo que efectúan estas máquinas debe considerarse que con pendiente hacia abajo la acción de la gravedad ayuda a que se realice la carga más rápidamente y que el tendido en sucesivas pasadas se hace partiendo de los laterales exteriores hacia adentro, dicho de otra forma, la superficie debe ser cóncava para inclinar las máquinas hacia el centro y reducir la posibilidad de que la máquina se salga de los bordes.

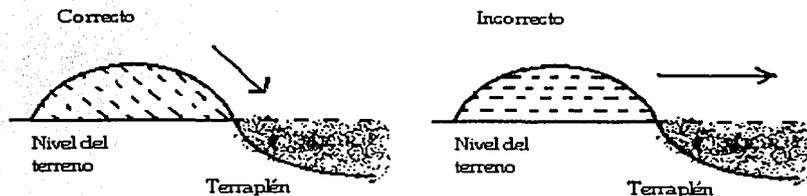
Operación correcta



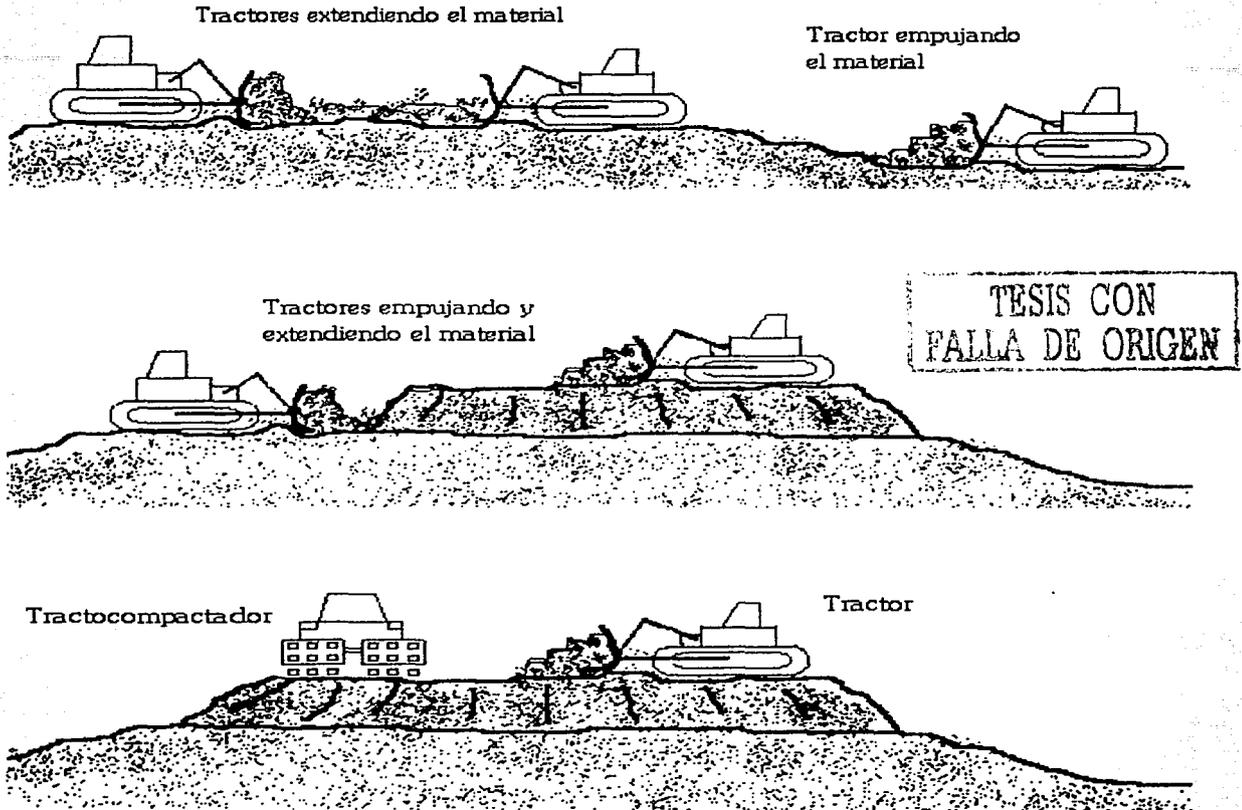
Operación incorrecta



En los cortes el caso es contrario ya que la excavación debe partir del borde exterior debiendo mantener la sección transversal en forma convexa para inclinar la máquina lateralmente hacia los bordes y favorecer el mantenimiento de la anchura del corte.



La construcción también puede realizarse con tractores, los cuales empujan los materiales de los préstamos hacia lo que será el terraplén y lo van extendiendo por capas subiendo sobre él y, otros equipos, se encargan de compactar las capas según el tipo de material con el cual se este trabajando.



Los terraplenes formados con préstamos laterales igualmente pueden construirse con una motoformadora, siempre y cuando la calidad del suelo lo permita, si no es así, entonces debe de acarrear material adecuado de otros sitios. En el trabajo se excavan cunetas paralelas y se utiliza el material para formar la corona del camino. Las líneas exteriores de las cunetas se señalan mediante estacas y se hace el primer corte a cada uno de los lados; la excavación de las cunetas se continúa hasta que tengan la profundidad apropiada. El otro lado se hace de la misma manera y los rellenos se mezclan en la parte superior. Este procedimiento puede observarse en la figura de la página siguiente.



①



⑦



②



⑧



③



⑨



④



⑩



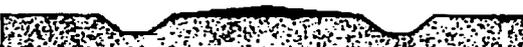
⑤



⑪



⑥

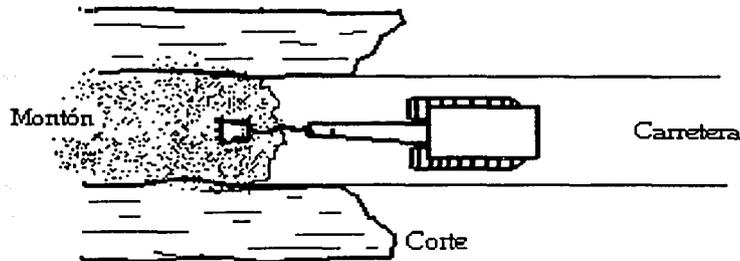
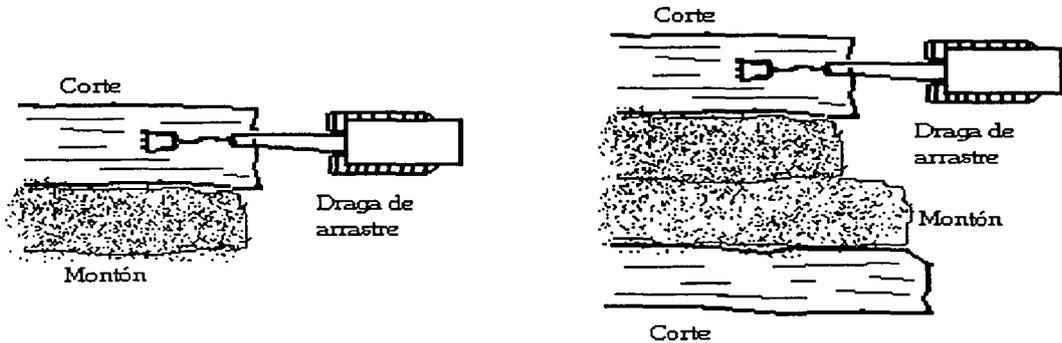
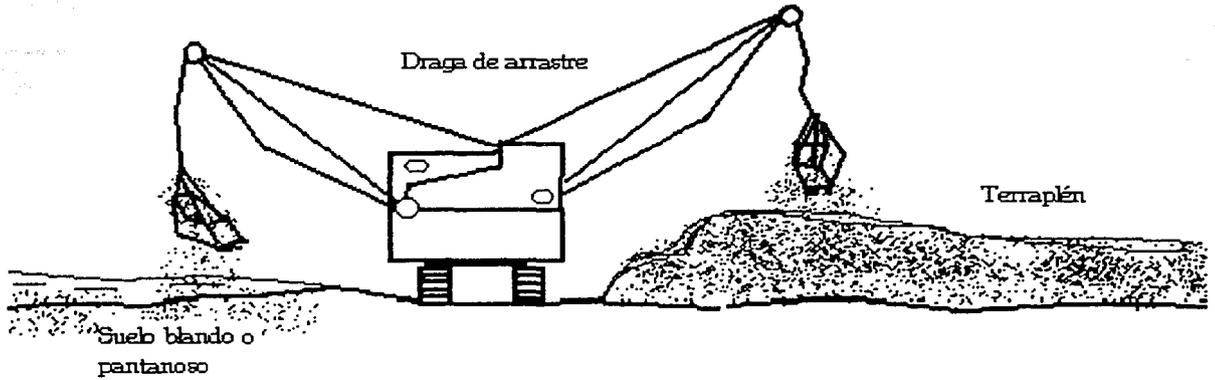


⑫

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

FORMACION DE TERRAPLENES CON MOTOCONFORMADORA

En los lugares donde está planeada la construcción de un terraplén alto, sobre todo en pantanos y en tierras bajas, el trabajo puede efectuarse con dragas de arrastre, o en su caso, con retroexcavadoras. El uso de la draga de arrastre es muy socorrido cuando los materiales provienen de préstamos donde el terreno permanece inundado y cuando el material adyacente al terraplén por construir tiene la calidad adecuada. La conformación posterior se efectúa también con el equipo adecuado.



En la construcción de terraplenes con préstamos de banco se pueden emplear procedimientos constructivos similares a los anteriores, con la excepción de que ahora los préstamos de material provienen de distancias más alejadas y que los trabajos de las máquinas se efectúan sobre la superficie del terreno a conformar, a partir de que el equipo de acarreo ya haya realizado el transporte y la descarga de los materiales.

Hay que mencionar que en la formación de terraplenes, cuando la topografía del terreno es tal que presenta lugares inaccesibles a la maquinaria de construcción, tales como depresiones profundas y angostas o laderas muy inclinadas, donde no es posible la construcción de capas compactadas o acomodadas en toda la altura del terraplén, se rellenan a volteo esos lugares inaccesibles hasta la mínima altura necesaria para formar una plantilla constituida por la corona del terraplén parcialmente formado, de tal manera que permita la operación de las máquinas, para poder continuar con la construcción de cada una de las capas de las terracerías.

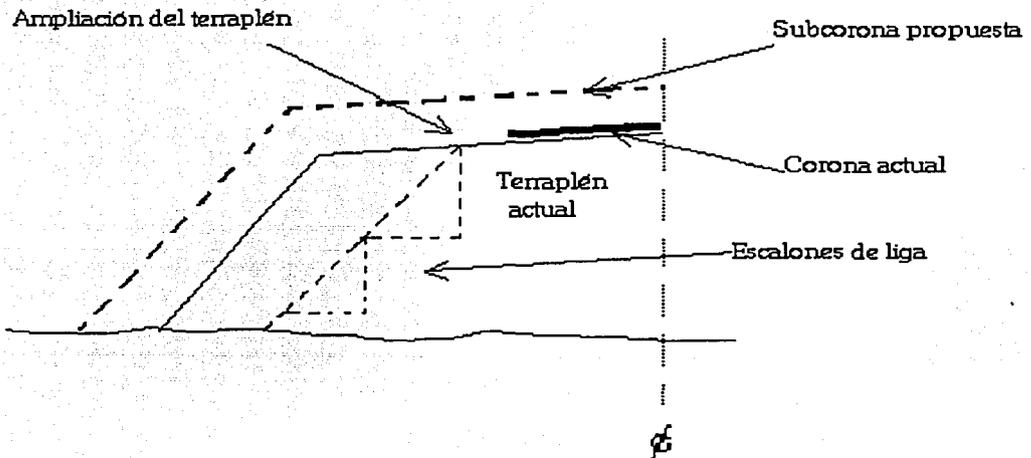
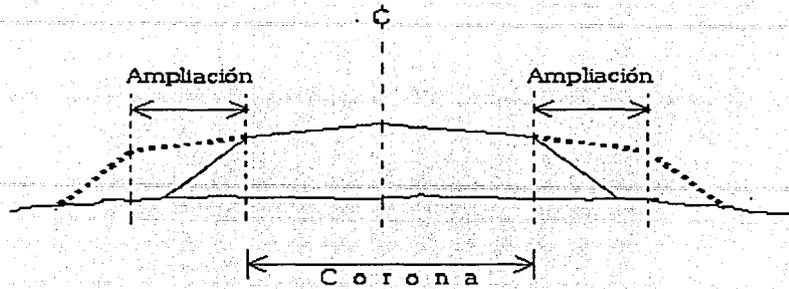
En los terraplenes que se construyen con material no compactable, las capas se forman acomodando los materiales por medio de un tractor, el cual pasa dos veces por cada uno de los puntos que forman la superficie de la capa, avanzando y retrocediendo la máquina con un movimiento en zigzag.

A este procedimiento se le conoce como bandeo y solamente es aplicable a materiales gruesos para los cuales los procedimientos normales de compactación presentan problemas cuando se utilizan los compactadores comunes y, en que además, los resultados del proceso de compactación no pueden controlarse con las pruebas de laboratorio actuales.

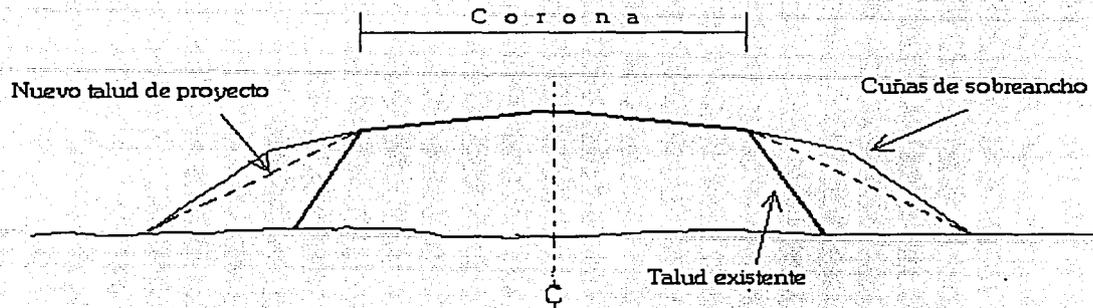
Por otra lado, en los casos de estructuras que forman parte de los terraplenes, se consideran ciertos procedimientos a seguir. Por ejemplo, en la ampliación de una corona de terraplenes existentes o en la elevación de la subrasante de la carretera, para obtener una buena liga entre el material que se utilice y el del terraplén existente, se despalma el sitio de desplante y se corta un escalón de liga al pie del talud del terraplén, para después rebajar horizontalmente la parte superior del mismo en todo el ancho de la sección hasta el nivel especificado.

Con el material producto del rebaje de cada una de las capas, se coloca y se extiende al pie del terraplén a partir del desplante de la ampliación, recortando otro escalón de liga cuyo espesor será igual al de la capa que se esté formando. Las capas de materiales extendidas se compactan de acuerdo al grado de compactación especificado.

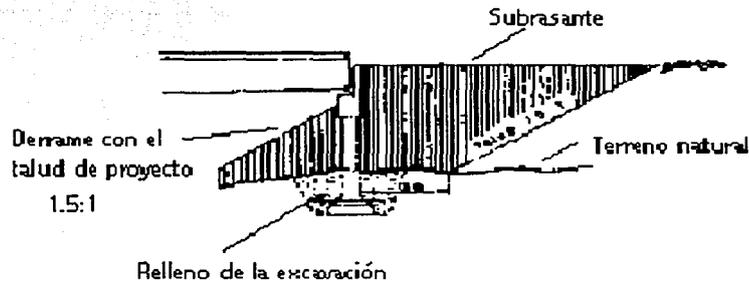
El trabajo se continúa rebajando las capas sucesivas y el material resultante se vacía, extiende y compacta también por capas sucesivas, para poder formar el terraplén de ampliación hasta alcanzar el nivel del terraplén que se viene rebajando.



Cuando se presenta la construcción de un tendido de taludes en terraplenes existentes en los que no se proyecta modificar el ancho de la corona, también se efectúa un despalme en el sitio del desplante del terraplén y a su vez se recorta un primer escalón de liga al pie del talud del mismo. El material que se obtiene se coloca por capas y previo a extenderlo, se hacen escalones en el talud del terraplén existente con un peralte igual al espesor de la capa suelta que se está formando. Finalmente las capas formadas se compactan de acuerdo con las especificaciones del proyecto.



En el caso de la construcción de cuñas contiguas a los estribos de puentes y de pasos a desnivel se siguen procedimientos constructivos similares a los mencionados anteriormente.



En estos casos descritos anteriormente, cuando se emplea material no compactable, su formación se hace a volteo, excavando previamente escalones en los taludes del terraplén, salvo cuando se encuentre formado por material también no compactable.

Después del tendido de los materiales en la superficie de desplante de los terraplenes, se comienza con el trabajo de compactación en cada una de las capas que formarán a las terracerías, pero en el caso de la capa subrasante puede ser necesario un tratamiento de estabilización antes del proceso anterior. Existen muchos métodos para tender y mezclar los materiales a ser estabilizados y van desde el manejo de camellones y tendido con motoconformadora, hasta el empleo de diferentes máquinas mezcladoras.

El procedimiento constructivo en la estabilización de un suelo, consiste básicamente de operaciones tales como escarificación del suelo de apoyo; pulverización de los materiales; prehumedecimiento del suelo, si es necesario; adición del producto estabilizador, sea cemento, cal o asfalto; mezclado de los materiales; incorporación de agua si se requiere para dar a la mezcla una humedad óptima; compactación de la capa; acabado y curado.

En el proceso de compactación de las terracerías, cada una de las capas se compacta hasta obtener un grado de compactación satisfactorio antes de colocar la siguiente capa y el terraplén se conforma de esta forma hasta alcanzar la altura deseada mediante la adición de capas sucesivas. Como ya se ha dicho la compactación se efectúa uniformemente en todo el ancho de la sección según los grados de compactación fijados en el proyecto, cuidando el control sobre la humedad conveniente, ya sea aplicando el agua en el lugar de excavación o en el terraplén mismo. Si los materiales a compactar presentan un mayor grado de humedad que el adecuado, entonces antes de iniciar la compactación debe de eliminarse el agua excedente.

Con el objeto de lograr que con el equipo de compactación se alcancen las especificaciones del proyecto en toda la sección del terraplén, lo que no es posible obtener en las orillas, los terraplenes se construyen con una corona más ancha que la especificada y con un talud diferente, que se encontrará con el talud de proyecto en la línea de ceros. Así, se obtienen las cuñas de sobreebanco en las cuales la compactación podrá ser menor que la fijada, siendo recortadas una vez que se haya terminado la construcción del terraplén, dejando el talud debidamente afinado.

Además, el trabajo de compactación, se inicia de las orillas hacia el centro en las tangentes y, de la parte interior hacia la parte exterior, en las curvas; siendo necesario traslapar una distancia entre cada área compactada, con el fin de evitar dejar huellas entre cada pasada del compactador.

Finalmente, como ya se ha mencionado en el capítulo IV, de acuerdo con el tipo de compactador que se empleó, el número económico de pasadas que se den variará entre 5 y 10, según los casos que se presenten, por lo que habrá casos en que se requiera un número menor o mayor de pasadas y, además, de acuerdo con el tipo de suelo será el espesor de la capa a compactar, siendo común el trabajar con capas de entre 20 y 30cm de espesor. Los espesores de trabajo para los equipos de compactación especificados con valores en el capítulo III, manejan lo siguiente:

Tractocompactador:	10-25cm
Compactador de neumáticos:	15-20cm
Compactador rodillo liso vibratorio:	15-30cm
Compactador de pisones vibratorio:	15-30cm

Además, se tiene como dato un número de pasadas que varía entre 3 y 6. El criterio que se empleó estará regido por las especificaciones del proyecto y por la experiencia del constructor.

## **V.2. Curva masa**

La curva masa es una representación gráfica que muestra la cantidad de excavaciones y terraplenes presentes en un proyecto, señalando la ubicación de los puntos de balance, la dirección de los acarreos y la cantidad de tierra tomada de un sitio o transportada a él; es una ayuda valiosa en la supervisión de operaciones de nivelación y es útil en la determinación de las cantidades de sobreacarreo y en la distribución más económica de los materiales.

Un correcto cálculo de la curva masa es tan importante como para definir los procedimientos constructivos y el costo del proyecto. Por ello, desde la elección de la línea de la carretera, se hacen estudios y análisis sobre la subrasante adecuada, considerando que los elementos que definen el proyecto de la subrasante económica son debido a condiciones topográficas, geotécnicas y al costo de las terracerías.

Para la determinación de los volúmenes de tierra en corte y en terraplén y la obtención de las ordenadas de la curva masa, se cuenta con programas de cálculo electrónico con los cuales es posible optimizar en un tiempo sumamente reducido, y a bajo costo, la determinación de los volúmenes de tierras y los movimientos de las mismas, dejando atrás la determinación de tipo manual que requiere de un tiempo considerable para efectuar todos los cálculos.

En el cálculo manual de la curva masa se requiere de una tabla en la cual se vayan anotando los datos necesarios para llegar a determinar las ordenadas de la misma. El proceso manual consiste en proyectar la subrasante sobre el perfil de la carretera para después dibujar en cada una de las estaciones necesarias las secciones transversales del terreno natural y las secciones de construcción; posteriormente se calculan las áreas de las secciones transversales de la carretera y se determinan los volúmenes abundando los cortes, ya que el material proveniente del corte no es el mismo en condiciones dentro del terraplén y, finalmente, se suman algebraicamente los volúmenes de cortes(+) y terraplenes(-) para obtener las ordenadas de la curva masa y poder dibujarla.

De esta forma, cada vez que se proyecte una subrasante, deben de determinarse los espesores, las secciones transversales, las áreas, los volúmenes, las ordenadas de la curva masa y su correspondiente dibujo, para después seleccionar la compensación más adecuada al proyecto.

En el caso de los cálculos con ayuda de programas de computadora, la SCT posee uno llamado Proyecto de Carreteras "Siprocar", con el cual se estudian la subrasante y la determinación de las ordenadas de la curva masa, lo que le facilita ampliamente el análisis de tales determinaciones. Para que el programa proporcione la información que el proyectista requiere, la computadora necesita ciertos datos, para procesarlos y dar los resultados requeridos.

Los datos se refieren a datos generales del camino, secciones transversales del terreno natural y las proyectadas para la carretera, los alineamientos, sobrelevaciones y ampliaciones, geometría, espesores, entre otros, y una vez que toda esta información se captura en la computadora, se procesan los datos para después generarse los resultados.

Entre los resultados que nos interesan están los de la curva masa, ya que con ellos se dibuja y se procede a la determinación de los movimientos de tierra. También para el estudio de los movimientos se puede utilizar el programa, donde ya con los datos de los volúmenes de cortes y terraplenes, las distancias entre ellos y los costos de acarreo, se resuelve la forma óptima de los movimientos de tierra para que tengan el mínimo costo.

Ya con la información de la subrasante económica y la curva masa adecuada, los encargados del proyecto pueden proporcionar ésta y otro tipo de información a la empresa constructora que ejecutará la obra. Entre los datos importantes están las cantidades definitivas de corte y terraplén; los volúmenes de construcción de terraplenes, ya sean compactados o bandeados; los volúmenes de cada uno de los conceptos de obra necesarios para la construcción total de las terracerías; el espesor y tipo de material de cada estrato que integra el terreno de trabajo, el sentido de los movimientos de materiales, etc. Por lo que, al constructor solo le queda llevar a cabo los trabajos de una manera apropiada.

En los párrafos siguientes describiré características de la curva masa, con las cuales puede entenderse la ayuda que este tipo de diagrama es capaz de proporcionar.

### **V.2.1. CARACTERISTICAS**

La curva masa es un diagrama en el cual las ordenadas representan los volúmenes acumulativos de las terracerías y las abscisas las estaciones del cadenamamiento correspondiente. Con esta curva pueden analizarse la compensación de volúmenes, los sentidos de los movimientos del material, las distancias y límites de acarreos y, el control de préstamos y desperdicios.

Como características principales de la curva masa se tienen las siguientes (ver figura en la página siguiente):

⇒ La curva ascendente indica predominio de cortes(+) y la descendente señala la presencia de terraplenes(-). En la figura, las líneas BD y GI son ascendentes por derivarse de los volúmenes de los cortes bd y ghi, en tanto que la línea DG es descendente por referirse al terraplén defg.

⇒ Cuando después de un tramo ascendente en el que predominan los volúmenes de corte, se llega a un punto de la curva en el cual empiezan a preponderar los volúmenes de terraplén, se tiene un máximo; inversamente, cuando después de un tramo descendente en el cual han sido mayores los volúmenes de terraplén, se llega un punto en que comienzan a prevalecer los de corte, se tiene un mínimo.

Estos puntos corresponden a los extremos de tramos de cortes y de terraplén respectivamente en la figura del perfil y de la subrasante. En la figura, el punto G es un mínimo que corresponde al punto g del terreno, que es un extremo del tramo de terraplén defg.

⇒ Si en la curva masa se dibuja una línea horizontal en tal forma que la corte en dos puntos consecutivos, éstos tendrán la misma ordenada y por consecuencia, en el tramo comprendido entre ellos serán iguales los volúmenes de corte y los de terraplén, es decir, estos dos puntos son los extremos de un tramo compensado. Esta línea horizontal se conoce como compensadora y la distancia entre los dos puntos que toca la misma de corte a terraplén es la distancia máxima de acarreo al transportar el volumen del corte al terraplén. En la figura, la horizontal BF es una compensadora, pues la línea BD representa los volúmenes de corte  $bdb'b$  que son iguales a los de terraplén  $de'fged$  representados por la línea DF.

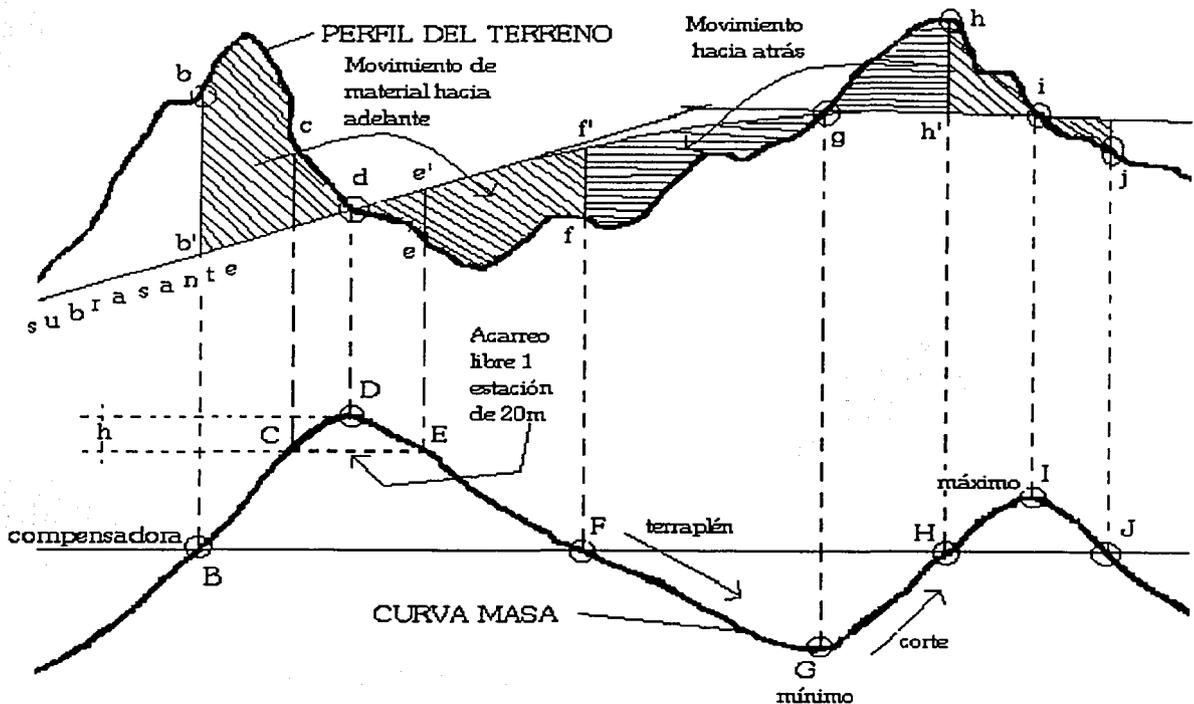


DIAGRAMA DE CURVA MASA

⇒ Cuando en un tramo compensado el contorno cerrado que origina la curva masa y la compensadora queda arriba de ésta, el sentido del acarreo es hacia delante; cuando el contorno cerrado queda debajo de la compensadora, el sentido del movimiento es hacia atrás. En la figura, el contorno cerrado BDFB indica un movimiento hacia delante por estar arriba de la compensadora BJ, pues el volumen de corte BD indicado en el perfil como  $bdb'b$ , será llevado al terraplén de  $f'fed$  que está adelante en el perfil. En cuanto al contorno FGHF, éste indica un movimiento hacia atrás, donde el corte GH señalado en el perfil como  $ghh'g$  servirá para formar el terraplén  $f'gff'$  del mismo perfil.

⇒ Las áreas de los contornos cerrados comprendidos entre la curva y la compensadora, representan los acarreos.

### TESIS CON FALLA DE ORIGEN

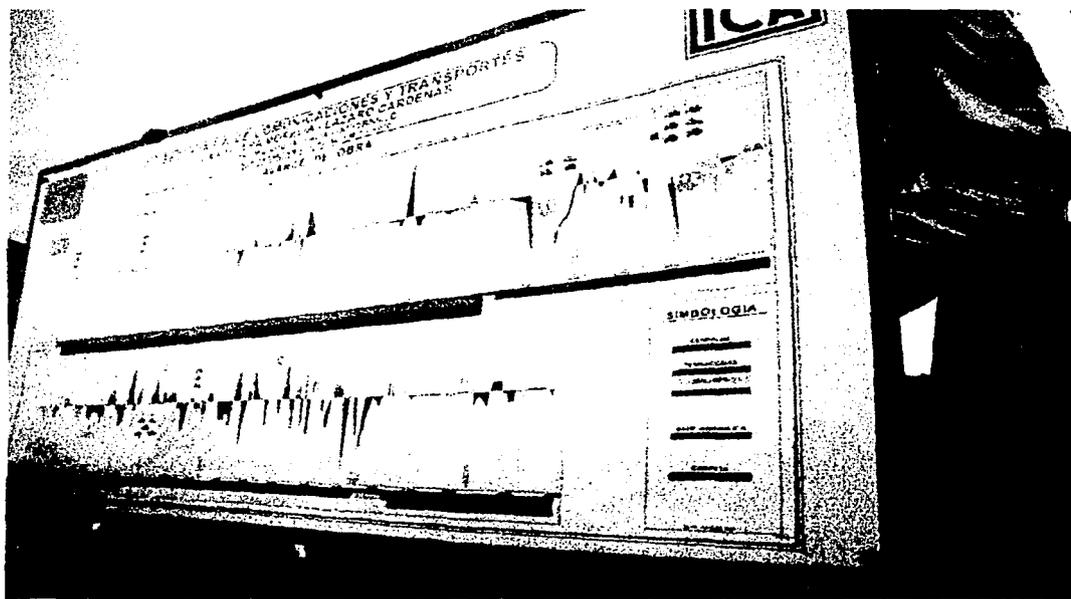


Foto V.2. Curva Masa.

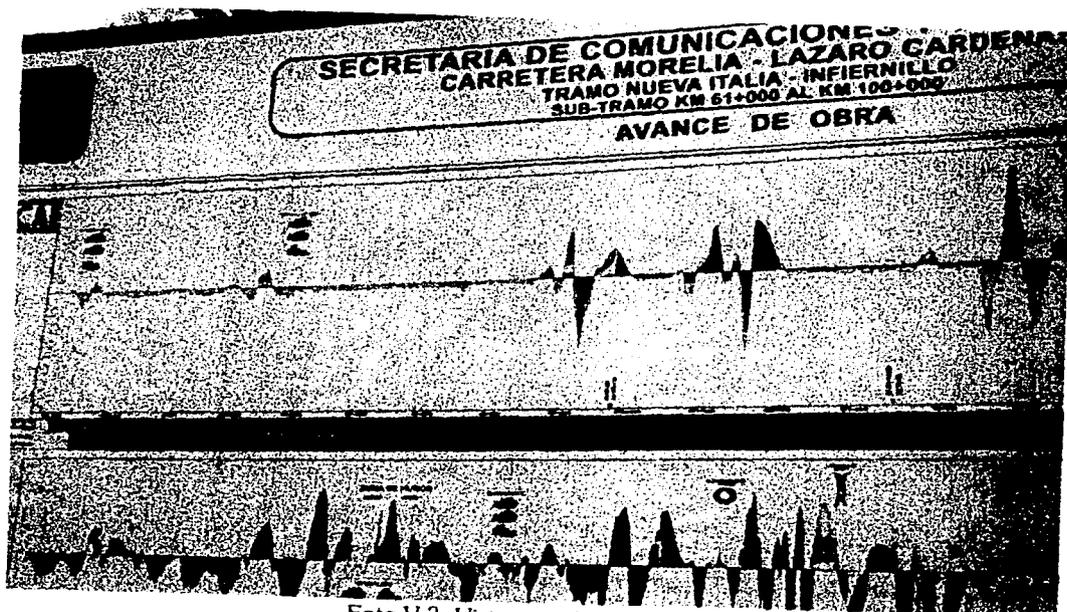


Foto V.3. Vista superior izquierda.

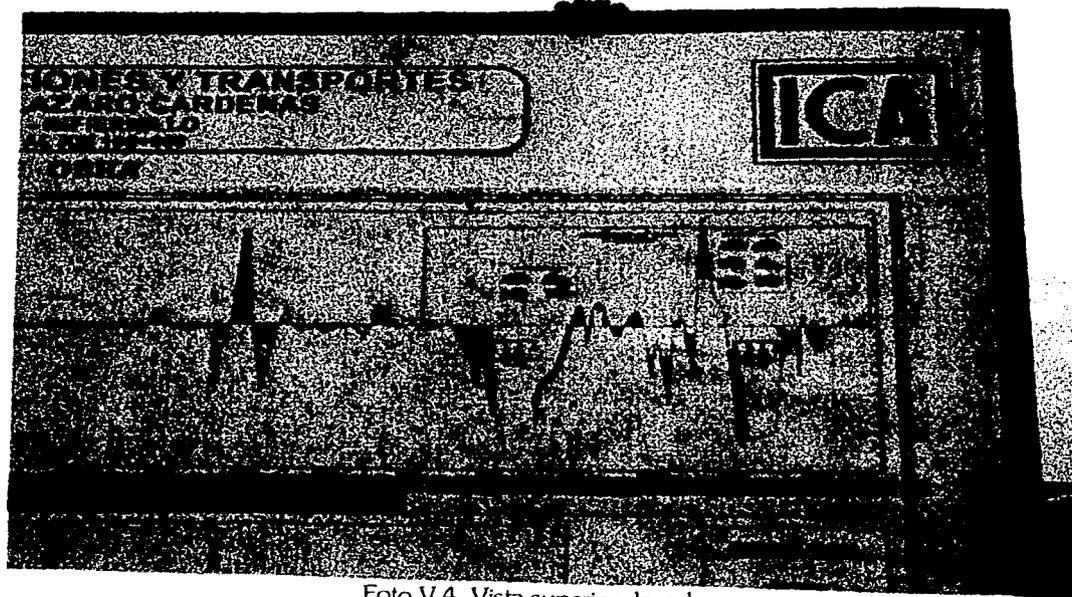


Foto V.4. Vista superior derecha.

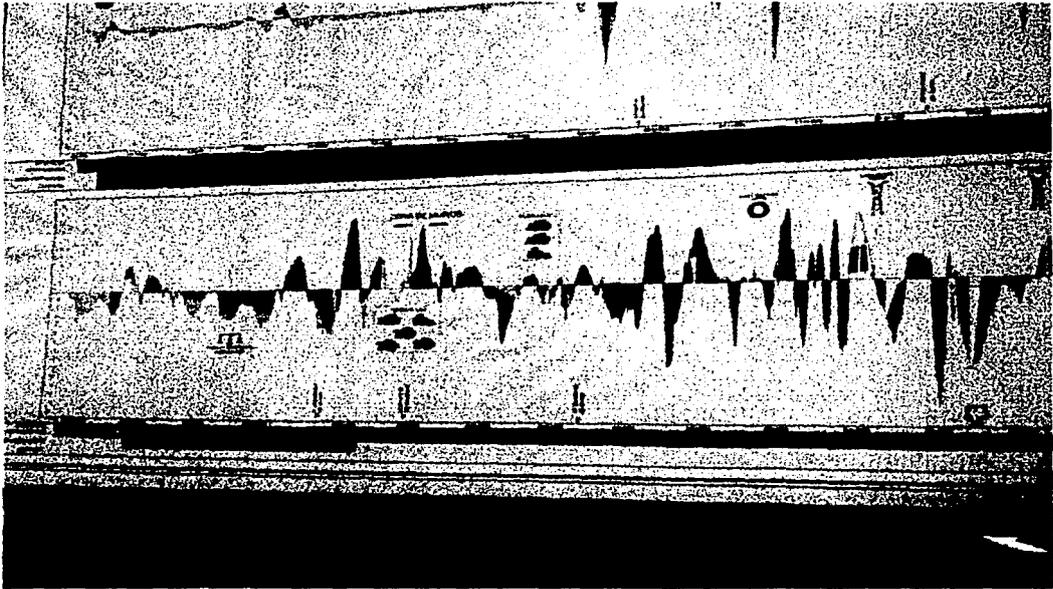


Foto V.5. Vista inferior izquierda.

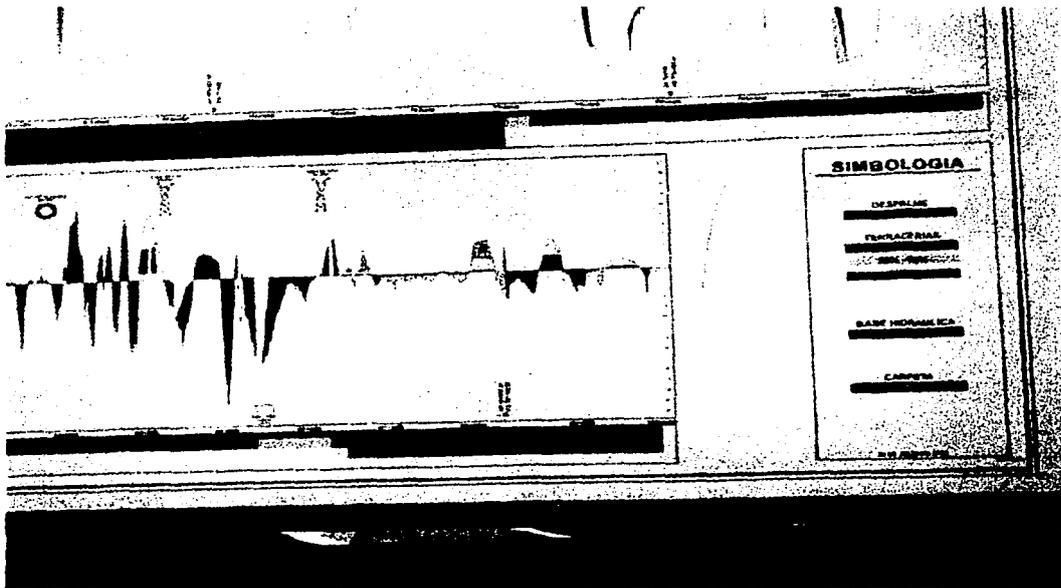


Foto V.6. Vista inferior derecha.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **V.2.2. DETERMINACION DE LOS ACARREOS**

El aspecto de los acarreos es determinante en el análisis de la curva masa, ya que influyen en los costos de construcción de las terracerías y por ello es necesario un estudio responsable de los mismos.

### **V.2.2.1. ACARREO LIBRE**

En la construcción de terracerías, cuando se manejan volúmenes grandes, la distancia del acarreo necesario para colocar los materiales en los terraplenes indicados influye en el costo de los trabajos necesarios. Como ya se ha mencionado en el capítulo II, existen muchas variaciones en las distancias de acarreo del material excavado, por lo que se ha determinado una distancia máxima de 20m como acarreo libre, que a su vez, es la mínima distancia en la cual la máquina puede llevar a cabo la extracción, carga y descarga del material.

Para determinar los volúmenes de acarreo libre, en el diagrama de la curva masa, se procede a dibujar una línea horizontal que represente los 20m y, ésta se va desplazando verticalmente hasta tocar dos puntos de la curva (línea CE); entonces, la cantidad de material que se mueve está dado por la ordenada de dicha línea horizontal al punto más bajo o más alto de la curva comprendida, en la figura anterior está representada por h. Además, los puntos indicados en el perfil del terreno como c y e, marcan los límites de cortes y terraplenes correspondientes al acarreo libre.

### **V.2.2.2. DISTANCIA DE SOBRECARRERO**

Es a la cual el transporte de los materiales excavados excede la distancia de acarreo libre. Si a la distancia que hay del centro de gravedad del corte, o préstamo de banco, al centro de gravedad del terraplén que se forma con ese material, se le resta la distancia de acarreo libre, se obtiene la distancia media de sobrecarreos. Entonces, el valor del sobrecarreos se obtiene multiplicando esa distancia media por los m<sup>3</sup> de excavación medidos en el lugar y por el precio unitario correspondiente al m<sup>3</sup> por estación.

### **V.2.2.3. DISTANCIA ECONOMICA DE SOBRECARRERO**

Con la curva masa también pueden analizarse los préstamos y desperdicios de materiales. La necesidad de préstamos se presenta cuando después de aplicar los coeficientes de variabilidad volumétrica a los materiales excavados, se encuentra con que los volúmenes de los materiales extraídos de la línea de la carretera no son suficientes para construir los terraplenes, por lo que son necesarios los préstamos de materiales de otro sitio. En caso contrario, cuando la cantidad de material resulta excedente y supera los requerimientos del terraplén, entonces se considera la posibilidad de desperdicio, si es que el material no se requiere en otra parte de la estructura del camino.

En cuanto a los préstamos, deben analizarse las ventajas y desventajas que implicaría acarrear los materiales de un préstamo cercano a la obra ó sobreacarrearlos de los sitios de corte, por lo que es necesario determinar la distancia económica de sobreacarreo. Esta distancia puede obtenerse de la siguiente manera:

*Ejemplo:* Si el costo del metro cúbico del préstamo es de \$11.46 y el costo de este mismo metro cúbico acarreado de un corte es de \$0.74, la distancia de acarreo será,

$$DA = \$11.46 / \$0.74 = 15.48 \text{ estaciones}$$

Y el número de metros a los cuales se puede sobreacarrearse será de:

$$DS = 15.48 \text{ est.} \times 20\text{m} = 309.6\text{m}$$

Si a la anterior distancia se le aumentan los 20m del acarreo libre, se tienen 329.6m, que es la distancia máxima a la que se puede acarrear el material de un corte, ya que más allá de ésta es conveniente traer materiales de un préstamo.

### ***V.3. Bases de pago y catálogo de conceptos de obra***

Los factores básicos que se consideran para determinar los costos de la construcción de una obra de terracerías como parte de una carretera son debido a cada una de las actividades y operaciones que se deben llevar a cabo en los trabajos correspondientes, siendo desde la limpieza del terreno de trabajo hasta la limpieza total de la obra terminada, para poder considerar como terminados los trabajos contratados.

El pago de los conceptos de obra se aplica a los trabajos ejecutados, siendo responsabilidad del contratista el haber ejecutado la obra correctamente de acuerdo con las especificaciones, normas e indicaciones dadas en el proyecto de terracerías. Cuando el pago se hace por unidad de obra terminada, el contratista es entonces el único responsable de la buena o mala ejecución de los trabajos, de los procedimientos constructivos que haya empleado, del manejo de la maquinaria conveniente y de los daños que pudiese haber ocasionado.

En un proyecto de carreteras generalmente los contratos se hacen en base a precios unitarios. En las bases de contratación se indican los conceptos y los volúmenes de obra que integran cada uno de los precios unitarios.

Las bases de pago se refieren a las consideraciones que hay que tomar en cuenta en cada uno de los conceptos de obra, como la forma de pago fijada en el contrato de acuerdo a la unidad de medición, las operaciones que deben incluirse dentro de una actividad general, etc. Por ejemplo, en los desmontes se consideran los trabajos de tala, roza, desenraíce, limpia y quema. En el caso de excavaciones, se incluyen operaciones como extracción, remoción, carga de material, acarreo libre, descarga del material, afinamiento, bombeo, entre otras. Para la construcción de los terraplenes se consideran actividades como escaificación, incorporación de agua, mezclado, tendido y compactación al grado fijado, afinamiento, recorte de cuñas de sobrecancho, excavación de cortes de liga, etc. En los préstamos se encuentran actividades como extracción, remoción y carga del material, acarreo libre, etc. En el caso de los acarreos se incluye lo correspondiente al transporte de los sobrecarreos.

El tiempo y la tecnología en procedimientos y maquinaria de construcción ha originado una enorme cantidad de conceptos de obra para integrar los precios unitarios, por lo que no es posible mencionarlos todos aquí, pero se muestra una relación de conceptos de obra para precios unitarios.

#### ⇨ DESMONTE

\* *Desmonte para densidad 100% de vegetación tipo:*

a) Manglar.....	.....\$	/ha
b) Selva o bosque.....	.....\$	/ha
c) Monte de regiones áridas o semiáridas.....	.....\$	/ha
d) Monte de regiones desérticas, zonas cultivadas o de pastizales.....	.....\$	/ha

#### ⇨ DESPALME

\* *Despalme en material A, desperdiciando el material:*

a) De cortes, depositando el producto en la orilla del lado a aguas debajo de la excavación.....	.....\$	/m3
b) Para despalme de terraplenes, depositando el producto En la orilla de la excavación.....	.....\$	/m3

#### ⇨ EXCAVACIONES

\* *Excavaciones:*

a) En cortes y adicionales debajo de la subrasante:		
1) En material A.....	.....\$	/m3
2) En material B.....	.....\$	/m3
3) En material C.....	.....\$	/m3
b) En ampliación de cortes:		
1) En material A.....	.....\$	/m3
2) En material B.....	.....\$	/m3
3) En material C.....	.....\$	/m3

c) En abatimiento de taludes:		
1) En material A.....	\$	/m3
2) En material B.....	\$	/m3
3) En material C.....	\$	/m3
d) En rebajes de la corona de cortes y/o de terraplenes:		
1) En material A.....	\$	/m3
2) En material B.....	\$	/m3
3) En material C.....	\$	/m3
e) En escalones:		
1) En material A.....	\$	/m3
2) En material B.....	\$	/m3
3) En material C.....	\$	/m3
f) En derumbes:		
1) En material A.....	\$	/m3
2) En material B.....	\$	/m3
3) En material C.....	\$	/m3
* Excavación para canales a mano a cualquier profundidad:		
a) Excavación en seco:		
1) En material A.....	\$	/m3
2) En material B.....	\$	/m3
3) En material C.....	\$	/m3
b) Excavación que requiera bombeo sin incluir éste:		
1) En material A.....	\$	/m3
2) En material B.....	\$	/m3
3) En material C.....	\$	/m3
c) Excavación que requiera bombeo, incluyendo éste:		
1) En material A.....	\$	/m3
2) En material B.....	\$	/m3
3) En material C.....	\$	/m3
* Excavación para canales con máquina a cualquier profundidad:		
a) Excavación en seco:		
1) En material A.....	\$	/m3
2) En material B.....	\$	/m3
3) En material C.....	\$	/m3
b) Excavación que requiera bombeo sin incluir éste:		
1) En material A.....	\$	/m3
2) En material B.....	\$	/m3
3) En material C.....	\$	/m3
c) Excavación que requiera bombeo, incluyendo éste:		
1) En material A.....	\$	/m3
2) En material B.....	\$	/m3
3) En material C.....	\$	/m3
* Bombeo:		
a) Bomba de...mm de Ø con capacidad nominal...m3/hra.....	\$	/hra

⇨ **TERRAPLENES****\* Compactación:**

- a) Del terreno natural en el área de desplante de los terraplenes:
- |                   |    |     |
|-------------------|----|-----|
| 1) Para 85%.....  | \$ | /m3 |
| 2) Para 90%.....  | \$ | /m3 |
| 3) Para 95%.....  | \$ | /m3 |
| 4) Para 100%..... | \$ | /m3 |
- b) De la cama de los cortes en que no se haya ordenado excavación adicional:
- |                   |    |     |
|-------------------|----|-----|
| 1) Para 85%.....  | \$ | /m3 |
| 2) Para 90%.....  | \$ | /m3 |
| 3) Para 95%.....  | \$ | /m3 |
| 4) Para 100%..... | \$ | /m3 |

**\* Recompactación:**

- a) Escarificado, disgregado, acamellonado por alas de la capa superior de la subrasante existente en cortes y terraplenes construidos con anterioridad, y su posterior tendido y compactación:
- |                   |    |     |
|-------------------|----|-----|
| 1) Para 90%.....  | \$ | /m3 |
| 2) Para 95%.....  | \$ | /m3 |
| 3) Para 100%..... | \$ | /m3 |
- b) De la superficie descubierta al escarificar y acamellonar por alas la capa superior de la subrasante existente:
- |                   |    |     |
|-------------------|----|-----|
| 1) Para 90%.....  | \$ | /m3 |
| 2) Para 95%.....  | \$ | /m3 |
| 3) Para 100%..... | \$ | /m3 |

**\* Formación y compactación:**

- a) De terraplenes adicionados con cuñas de sobrancho:
- |                   |    |     |
|-------------------|----|-----|
| 1) Para 85%.....  | \$ | /m3 |
| 2) Para 90%.....  | \$ | /m3 |
| 3) Para 95%.....  | \$ | /m3 |
| 4) Para 100%..... | \$ | /m3 |
- b) De la capa superior de los terraplenes, adicionados con sus cuñas de sobrancho cuya parte inferior fue construida con material no compactable:
- |                   |    |     |
|-------------------|----|-----|
| 1) Para 85%.....  | \$ | /m3 |
| 2) Para 90%.....  | \$ | /m3 |
| 3) Para 95%.....  | \$ | /m3 |
| 4) Para 100%..... | \$ | /m3 |
- c) De terraplenes de relleno para formar la subrasante en los cortes en que se haya ordenado excavación adicional:
- |                   |    |     |
|-------------------|----|-----|
| 1) Para 85%.....  | \$ | /m3 |
| 2) Para 90%.....  | \$ | /m3 |
| 3) Para 95%.....  | \$ | /m3 |
| 4) Para 100%..... | \$ | /m3 |
- d) De cuñas de terraplenes contiguas a los estribos de puentes y estructuras de pasos a desnivel adicionadas con sus cuñas de sobrancho:
- |                  |    |     |
|------------------|----|-----|
| 1) Para 85%..... | \$ | /m3 |
| 2) Para 90%..... | \$ | /m3 |

3) Para 95%.....	\$	/m3
4) Para 100%.....	\$	/m3
e) De ampliación de la corona adicionada con sus cuñas de sobreancho en terraplenes existentes:		
1) Para 85%.....	\$	/m3
2) Para 90%.....	\$	/m3
3) Para 95%.....	\$	/m3
4) Para 100%.....	\$	/m3
f) De elevación de subrasante adicionada con sus cuñas de sobreancho en terraplenes existentes:		
1) Para 85%.....	\$	/m3
2) Para 90%.....	\$	/m3
3) Para 95%.....	\$	/m3
4) Para 100%.....	\$	/m3
g) Del tendido de taludes adicionado con sus cuñas de sobreancho en terraplenes existentes:		
1) Para 85%.....	\$	/m3
2) Para 90%.....	\$	/m3
3) Para 95%.....	\$	/m3
4) Para 100%.....	\$	/m3
* Formación de la parte de los terraplenes y sus cuñas de sobreancho construidas con material a volteo.....	\$	/m3
* Mezclado, tendido y compactación de la capa subrasante formada con material seleccionado:		
a) De la elevación de subrasante en cortes y/o terraplenes existentes:		
1) Para 90%.....	\$	/m3
2) Para 95%.....	\$	/m3
3) Para 100%.....	\$	/m3
b) De la capa subrasante sobre terraplenes construidos con material no compactable:		
1) Para 90%.....	\$	/m3
2) Para 95%.....	\$	/m3
3) Para 100%.....	\$	/m3
c) De la capa subrasante en los cortes en que se haya ordenado excavación adicional:		
1) Para 90%.....	\$	/m3
2) Para 95%.....	\$	/m3
3) Para 100%.....	\$	/m3
* Agua empleada para compactaciones.....	\$	/m3

#### ⇐ PRESTAMOS

##### \* Excavaciones en préstamos:

###### a) Laterales:

###### 1) Dentro de la faja de 20m de ancho:

a) En material A.....	\$	/m3
b) En material B.....	\$	/m3
c) En material C.....	\$	/m3

2) Dentro de la faja de 40m de ancho:		
a) En material A.....	\$	/m3
b) En material B.....	\$	/m3
c) En material C.....	\$	/m3
3) Dentro de la faja de 60m de ancho:		
a) En material A.....	\$	/m3
b) En material B.....	\$	/m3
c) En material C.....	\$	/m3
4) Dentro de la faja de 80m de ancho:		
a) En material A.....	\$	/m3
b) En material B.....	\$	/m3
c) En material C.....	\$	/m3
5) Dentro de la faja de 100m de ancho:		
a) En material A.....	\$	/m3
b) En material B.....	\$	/m3
c) En material C.....	\$	/m3
b) De banco:		
1) En material A.....	\$	/m3
2) En material B.....	\$	/m3
3) En material C.....	\$	/m3

#### ⇨ ACARREOS

\* *Sobrecarreo de los materiales producto de las excavaciones de cortes, adicionales debajo de la subrasante, ampliación y/o abatimiento de taludes, rebajes de la corona de cortes y/o terraplenes existentes, escalones, despalmes, préstamos de banco, derrumbes, canales y del agua empleada en compactaciones:*

a) Para distancias hasta 5 estaciones de 20m, es decir, hasta 100m.....	\$	/m3·est
b) Para distancias hasta de 5 hectómetros, es decir, hasta 500m:		
1) Para el primer hectómetro.....	\$	/m3
2) Para la distancia excedente al primer hectómetro, incremento por cada hectómetro adicional al primero.....	\$	/m3·Hm
c) Para distancias hasta de 2km, es decir, hasta 20 hectómetros:		
1) Para los primeros 500m.....	\$	/m3
2) Para la distancia excedente a los primeros 500m, incremento por cada hectómetro adicional a los primeros 5 hectómetros.....	\$	/m3·Hm
d) Para cualquier distancia de materiales de préstamo de banco para la construcción de la capa subrasante y para completar la construcción del cuerpo del terraplén:		
1) Para el primer km.....	\$	/m3
2) Para los km subsecuentes.....	\$	/m3·km
e) Para cualquier distancia del agua utilizada en la compactación de las terracerías...\$		/m3·km

#### ⇨ REAFINAMIENTO

* Bonificación por refinamiento.....	\$	/m3
--------------------------------------	----	-----

**VI**

***CONCLUSIONES***

## **capítulo VI**

# **CONCLUSIONES**

La construcción de terracerías es indudablemente uno de los tantos puntos importantes dentro del gran número de obras que enmarca la ingeniería civil, ya que no solo el diseño del proyecto de una carretera determinada es de gran importancia, sino también lo es la parte respectiva a la construcción de la misma, porque ambas etapas de estudio, análisis y ejecución, mantienen la suficiente importancia entre sí como para poder obtener un resultado satisfactorio.

En el diseño del proyecto y en la construcción de terracerías intervienen tantos factores que sería imposible definir específicamente cuál de ellos es el más importante y el que a su vez pudiera ser responsable de ocasionar fallas técnicas y constructivas durante el proceso de construcción de las mismas. Factores relacionados a un diseño previo basado en especificaciones y normas exigentes (sin considerar que son índices de criterio dejados al ingeniero permitiéndole la soltura necesaria para interpretarlas), una selección y operación inadecuada de las máquinas de construcción, un manejo de los materiales o suelos inconveniente, un control de calidad de los trabajos indebido, el seguimiento incorrecto de los procedimientos constructivos dictados o propuestos por el constructor en el sitio de los trabajos, un programa de trabajo mal estructurado, etc., son solo algunos de entre tantos elementos que hay que considerar en este tipo de obra. Sin embargo, hay que recordar que en el caso en que se llegase a presentar un problema en el campo, la propia ingeniería nos permitirá elegir de entre varias alternativas factibles, la que mejor se adecue a la solución que se está buscando.

Así, pues, el conocer debidamente las operaciones y actividades que forman parte de la construcción de terracerías es tan importante para el constructor, ya que la ignorancia de tales elementos y de los puntos débiles, puede dañar hasta el proyecto más cuidadosamente estructurado y elaborado de una obra de infraestructura en forma total.

Por otra parte, el paso del tiempo ha traído consigo una serie de cambios no solo en los métodos y procesos de construcción, sino en las herramientas y dispositivos posibles de trabajo. Hoy en día existen diversos modelos, tipos, tamaños y fabricantes de máquinas disponibles, que hacen la selección de una de ellas realmente difícil, pero con un análisis adecuado puede llegar a elegirse aquella que vaya de acuerdo a las especificaciones, características y los resultados que yo deseo para el proyecto.

La tecnología ha tomado un giro tal, que ahora en la actualidad, casi todos los trabajos pueden ejecutarse con determinados tipos de máquinas; siendo el trabajo manual del hombre relevado casi completamente por mecanismos automatizados. Por ejemplo, ya no es común que los trabajadores ejecuten sus labores de excavación en material suave utilizando pico y pala, ya que al contar con un tractor o una motoescrepa, puede realizarse la extracción del suelo, o de los materiales, de forma más sencilla, rápida, menos agotadora y cansada para la mano de obra. Aunque, si no se conocen las operaciones y sistemas de trabajo que pueden llegar a ejecutarse con ciertos tipos de máquinas, es seguro que los resultados esperados no sean los que se habían previsto y que, a su vez, los costos generados por un mal manejo de las mismas impliquen pérdidas considerables para el ingeniero constructor.

Otro aspecto determinante lo es el referente a la calidad de la obra esperada y a la realmente obtenida. El objetivo principal del constructor es lograr que con el plan de trabajo desarrollado se obtengan resultados satisfactorios tanto para él como para las personas que están a su alrededor y las que van a hacer uso de la obra terminada.

Si el constructor obtiene una obra con la calidad suficiente de acuerdo a las especificaciones señaladas en el proyecto y con un costo y un tiempo mínimos y razonables, puede decirse que ha logrado un meta más en su vida, un éxito más. De esta manera, no sólo estará adquiriendo reconocimientos por su labor, sino también se irá formando aún más como profesionista que es, aunado a la adquisición de un mayor grado de experiencia en este tipo de obras.

Los procedimientos constructivos son sin duda también medios por los cuales pueden obtenerse ciertos resultados en la obra. Habrá ocasiones en que al contratista se le señalen determinados procesos a seguir, y a los cuales debe acatarse, pero en otros casos él podrá elegir y proponer los que le parezcan mas convenientes durante la construcción. Así, los procedimientos que sean básicos y los que sean especiales, deben seguirse sobre una línea estricta de trabajo, ya que hasta el más mínimo error puede traer consecuencias indeseables.

Por ejemplo, la correcta explotación de materiales de construcción, el manejo apropiado de los mismos y el trabajo con la maquinaria adecuada, hará eficientes las labores de construcción de las terracerías a lo largo de la línea de la carretera.

Si en algún momento se incurriera en inadecuados procedimientos de trabajo durante la formación de terraplenes, seguramente esto repercutiría en las propiedades y condiciones de los materiales utilizados en cada una de las capas, lo que implicaría resultados contraproducentes y pérdidas de tiempo y dinero en cuanto a reparar los daños existentes. En el caso de las excavaciones, si se ejecutaran los trabajos indebidamente, también se tendrían resultados insatisfactorios que redundarían en tiempo, dinero y esfuerzo.

Finalmente, como la construcción de carreteras se considera dentro de la construcción pesada, los progresos en procedimientos de trabajo, la evolución de las máquinas utilizadas, los amplios estudios y pruebas de calidad a los diversos materiales de construcción, las especificaciones y características del proyecto en sí y de cada una de las actividades en la construcción de terracerías, permiten que en la actualidad al constructor no se le acepten errores en gran escala, ya que sabiendo la índole, magnitud e importancia de la obra a construir, es responsabilidad del mismo la correcta ejecución de los trabajos para poder llegar a alcanzar el objetivo deseado, en donde las circunstancias que se presenten dictarán los procedimientos a seguir para obtener una combinación de trabajos que permitan el logro de una obra práctica, económica y duradera.

---

## Bibliografía

- ALCALA Gómez, Israel  
*Proyecto Definitivo de Terracerías Autopista: Puebla- Teziutlán*  
(km 125+200.00 al km 130+000.00)  
Tesis Profesional. ENEP Aragón  
México 2001
- ABURTO Valdés, Rafael  
*Maquinaria para construcción*  
Fundec A.C.  
México 1990
- ABURTO Valdes, Rafael  
*Movimiento de Tierras Tomo I*  
Fundec A.C.  
México 1990
- BRINKER C., Russell  
*Topografía Moderna*  
Ed. Harla  
México 1982
- CRESPO Villalaz, Carlos  
*Vías de Comunicación "Carreteras, Ferrocarriles, Aeropuertos y Puertos"*  
Ed. Limusa  
México 1996
- DAY A., David  
*Maquinaria para Construcción*  
Ed. Limusa  
México 1994
- DIAZ del Río, Manuel  
*Maquinaria de Construcción*  
Universidad Politécnica de Madrid EUITOP  
España 1996
- HARRIS, Frank  
*Maquinaria y Métodos Modernos en Construcción*  
Ed. Bellisco e Hijos Madrid  
España 1992

- 
- JUAREZ Badillo, Eulalio  
*Mecánica de Suelos Tomo I "Fundamentos de la Mecánica de Suelos"*  
Ed. Limusa  
México 1997
  - JUAREZ Badillo, Eulalio  
*Mecánica de Suelos Tomo II "Teoría y Aplicación de la Mecánica de Suelos"*  
Ed. Limusa  
México 1998
  - *Manual de Rendimiento Caterpillar*  
E.E.U.U 1999
  - MONTES de Oca, Miguel  
*Topografía*  
Ed. Alfaomega  
México 1989
  - NICHOLS L., Herbert  
*Movimiento de Tierras "Manual de Excavaciones"*  
Ed. Cecsa  
México 1983
  - OLIVERA Bustamante, Fernando  
*Estructuración de Vías Terrestres*  
Ed. Cecsa  
México 1996
  - Petróleos Mexicanos  
*Manual de Procedimientos de Ingeniería de Diseño*  
*"Sección C: Mecánica de Suelos"*  
México 1991
  - Petróleos Mexicanos  
*Normas para Construcción de Obras: "Terracerías"*  
México 1985
  - RICO Rodríguez, Alfonso  
*La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres Vol. 1 y Vol. 2*  
*"Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas"*  
Ed. Limusa  
México Vol.1 1994, Vol. 2 1992

- 
- SCHMIDT O., Milton  
*Fundamentos de Topografía*  
Ed. Cecsa  
México 1983
  - Secretaría de Educación Pública  
*Desmonte y Movimiento de Tierras*  
"Manuales para Educación Agropecuaria" Área: Mecánica Agrícola  
Ed. Trillas  
México 1993
  - Secretaría de Comunicaciones y Transportes  
*Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras*  
México 1995
  - Secretaría de Comunicaciones y Transportes  
*Normas de Calidad de los Materiales:*  
*"Carreteras y Aeropistas: Materiales para Terracerías"*  
México 1985
  - Secretaría de Comunicaciones y Transportes  
*Normas para Construcción e Instalaciones: "Carreteras y Aeropistas: Terracerías"*  
México 1998
  - Secretaría de Comunicaciones y Transportes  
*Normas para Muestreo y Pruebas de Materiales, Equipos y Sistemas:*  
*"Carreteras y Aeropistas: Materiales para Terracerías"*  
México 1986
  - WRIGHT H., Paul  
*Ingeniería de Carreteras*  
Ed. Limusa  
México 1993

**PAGINAS WEB:**

[Http: /www.sct.gob](http://www.sct.gob)

[Http: /www.caterpillar.com](http://www.caterpillar.com)

[Http: /icc.ucv.cl/geotecnia/laboratorio/dinsitu/dinsitu.html](http://icc.ucv.cl/geotecnia/laboratorio/dinsitu/dinsitu.html)