



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS
DE TERRACERÍAS EN CARRETERAS**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

JULIO CÉSAR MENDOZA JIMÉNEZ

DIRECTOR DE TESIS

ERNESTO RENÉ MENDOZA SÁNCHEZ



MÉXICO, D. F.

ENERO 2015.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis 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

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
COMITÉ DE TITULACIÓN
FING/DICYG/SEAC/UTIT/173/14

Señor
JULIO CÉSAR MENDOZA JIMÉNEZ
Presente

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

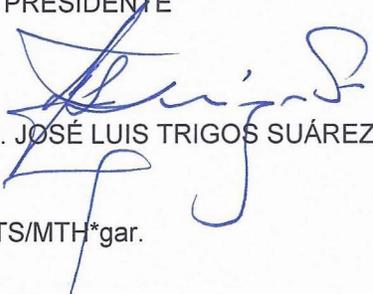
"PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS DE TERRACERÍAS EN CARRETERAS"

- INTRODUCCIÓN
- I. GENERALIDADES
- II. PRELIMINARES
- III. TERRACERÍAS
- IV. OBRAS DE DRENAJE
- V. CASOS ESPECIALES
- 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 HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 24 de noviembre del 2014.
EL PRESIDENTE


M.I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ

JLTS/MTH*gar.

A mis padres:

María Ruth y Pascual, por el amor y apoyo incondicional que me han brindado.

A mi hermana Ruth, por estar siempre en los momentos en que más la necesito.

A Karina, por todo su cariño y apoyo.

A mí querida Facultad:
La Facultad de Ingeniería
de la
Universidad Nacional Autónoma de México.

Mi agradecimiento

Al Ing. Ernesto René Mendoza Sánchez por su apoyo, tanto en elaboración de este trabajo así como a lo largo de mi carrera.

A todos mis maestros de la Facultad de Ingeniería, por sus enseñanzas y apoyo.

A mis excompañeros y amigos de la SCT, en especial al Ing. Huberto Portillo Sánchez, al Ing. Carlos A. Fuentes García, y al Ing. José Luis Rochefort López.

A mi amigo Ing. Omar Flores Mirón y a mi primo Ing. Armando Javier Jiménez por su ayuda en la realización de este trabajo.

A todos los ingenieros con lo que he laborado y que han ayudado a mi formación profesional en especial al Ing. Alfredo Carrera (ICISA), al Ing. Mauro Hernández (NAVIR), al Ing. Alejandro Martínez Escalona (ICA) y al Ing. Fernando Illanes Álvarez (ICEACSA).

ÍNDICE

OBJETIVO	1
INTRODUCCIÓN	1
METODOLOGÍA	2
1. GENERALIDADES	4
1.1 ANTECEDENTES	4
1.2 ETAPAS DE UN PROYECTO CARRETERO	6
1.2.1 Diseño del Proyecto	6
1.2.2 Construcción del Proyecto	8
1.2.3 Mantenimiento y Conservación	9
2. PRELIMINARES	11
2.1 TRAZO	11
2.2 DESMONTE Y DESPALME	17
2.2.1. Tala	18
2.2.2 Roza	19
2.2.3 Desenraice	20
2.2.4 Limpia y disposición final del desmonte	20
2.2.5 Despalme	21
3. TERRACERÍAS	24
3.1 MAQUINARIA	27
3.2 TERRAPLENES	38
3.2.1 Trabajos previos	42
3.2.2 Extracción de materiales	43
3.2.3. Calidad de los materiales	48
3.2.4. Tendido y conformación	52
3.2.4. Compactación o acomodo	62
3.3 CORTES	71
3.3.1 Trabajos previos	75
3.3.2 Excavación de cortes	75
3.3.2.1 Cortes en roca firme	75
3.3.2.2 Cortes en roca suelta	80
3.3.2.3 Cortes en suelos blandos	82
3.3.3 Capa subrasante en cortes	85

4. OBRAS DE DRENAJE	87
4.1 DRENAJE SUPERFICIAL	88
4.1.1 Drenaje superficial longitudinal	88
4.1.1.1 Cunetas	88
4.1.1.2 Contracunetas	92
4.1.1.3 Canales de encauzamiento	94
4.1.1.4 Bombeo	96
4.1.1.5 Bordillos	97
4.1.1.6 Lavaderos	100
4.1.2 Drenaje superficial transversal menor	103
4.1.2.1 Vados	103
4.1.2.2 Alcantarillas	104
4.1.3 Drenaje superficial transversal mayor	115
4.1.3.1 Puentes	115
4.2 DRENAJE SUBTERRÁNEO	122
4.2.1 Subdrenes	122
4.2.2 Drenes de penetración transversal	123
4.2.3 Geodrenes	124
5. CASOS ESPECIALES	125
5.1 ESTABILIDAD DE TALUDES	126
5.1.1 Recubrimiento de taludes	126
5.1.2 Arrope de taludes	130
5.1.3 Bermas	131
5.1.4 Concreto lanzado	132
5.1.5 Muros de contención	133
5.2 OTROS CASOS	136
5.2.1 Terraplenes reforzados	136
5.2.2 Túneles	140
6. CONCLUSIONES	144
BIBLIOGRAFÍA	146

OBJETIVO

Hacer una recopilación de procedimientos constructivos utilizados en la etapa de terracerías, particularmente en la construcción de carreteras.

Asimismo se pretende que esta tesis sea una contribución en la formación de los estudiantes de ingeniería civil, sobre todo para los que quieran desempeñarse en esta especialidad. Proporcionándoles información de diversas técnicas constructivas, explicándoles los tecnicismos, detallando los procesos, indicando el tipo de material, la herramienta y maquinaria utilizados en la práctica, y encaminándolos a que desarrollen sus proyectos, basados en la normatividad, manuales y recomendaciones vigentes según sea el caso.

INTRODUCCIÓN

La necesidad de escribir esta tesis surge cuando al analizar material bibliográfico relacionado con los procedimientos constructivos de terracerías en carreteras, existe la problemática de que el tema se aborda desde un enfoque demasiado técnico, difícil de comprender por personas poco relacionadas con el tema; un ejemplo son los estudiantes de ingeniería civil, los cuales se enfrentan a conceptos y términos propios del *argot*, para ellos no conocidos. Asimismo, en la bibliografía disponible, los procedimientos constructivos de terracerías en carreteras, se abordan de una forma muy general y breve, lo que hace que el alumno no comprenda con claridad cómo se llevan a cabo estos procedimientos en la práctica.

En esta tesis se desarrollarán los procedimientos que se emplean en la construcción de terracerías en carreteras, buscando transmitir los tecnicismos de forma clara y precisa, apoyados con materiales gráficos, a fin lograr que el tema sea lo sufi-

cientemente entendible, incluso para aquellos que no están totalmente familiarizados con el tema.

Seguramente la presente tesis servirá de apoyo a las personas interesadas en el estudio y práctica de la construcción de carreteras, en específico con las terracerías. Se busca que quien se acerque a este trabajo pueda aprender y comprender de forma fácil y amplia las diversas etapas que se requieren en la construcción de las terracerías en una carretera. De igual forma obtendrá amplio conocimiento de las diversas técnicas constructivas, materiales, herramientas y maquinaria, que se utilizan en estos procedimientos.

Para poder cumplir con el objetivo se consultó variada bibliografía relacionada con el tema de la construcción de terracerías en carreteras, se buscó concentrar la mayor cantidad de información, que posteriormente fue analizada, conjuntada y sintetizada, a fin de crear la base de este trabajo. Posteriormente la bibliografía utilizada para esta tesis se complementó con apoyo en la normativa, manuales y recomendaciones de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), así como de casos reales; para ello se consultó material de archivo de carreteras que ya han sido construidas, a fin de contar con casos de funcionalidad comprobada. Asimismo, para poder profundizar en el tema, así como para poder analizar puntos específicos también se realizaron visitas de campo a carreteras.

El material gráfico recabado de los casos reales ayuda a reforzar de manera evidente las diversas etapas en la construcción de las terracerías. Además, las fotografías de los materiales, herramientas y maquinaria que aquí se incluyen, y son utilizadas en este tipo de construcciones, definitivamente son de gran apoyo, pues es fundamental tener una visión lo más próxima a la realidad.

METODOLOGÍA

El desarrollo de este trabajo quedó dividido en seis capítulos.

En el primer capítulo, Generalidades, se narra brevemente la historia de las carreteras y se describe de forma resumida el proceso que conlleva a su construcción, desde los motivos para su realización, hasta su operación y mantenimiento, a fin de situar la importancia que ocupan las terracerías en el proceso.

Los capítulos subsecuentes: Preliminares, Terracerías, Obras de Drenaje y Casos Especiales, desglosan los procedimientos que se utilizan para la construcción de terracerías en carreteras. Estos capítulos se desarrollaron con base en la “Normativa para la Infraestructura del Transporte” de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (NIT-SCT), como se mencionó en la Introducción de esta tesis.

El capítulo 2, Preliminares, muestra cómo se realizan los trabajos previos que se requieren para iniciar la construcción de las terracerías, como son el trazo de la carretera, el desmonte, el despalme, así como las acciones a realizar para la preparación del terreno natural y el manejo que hay que dar a los residuos derivados de esta actividades.

Terracerías, capítulo 3, refiere los procedimientos necesarios para formar los terraplenes y realizar los cortes, se muestran las diferentes fases de la construcción y las técnicas constructivas.

En el capítulo 4 se describen las diferentes Obras de Drenaje, que conforman una carretera, muchas de ellas construidas durante la etapa de formación de las terracerías, así como los procedimientos que se emplean para la construcción de dichas obras.

Casos Especiales, tema tratado en el capítulo 5, muestra diversos procedimientos constructivos a que se recurre cuando se encuentran casos específicos o, bien, si se requieren obras complementarias en la construcción de las terracerías.

En el último capítulo se dan las Conclusiones derivadas de la realización de esta tesis.

Existe la confianza que, con la realización de esta tarea, se habrá contribuido en la formación de los futuros ingenieros civiles para su incursión a este segmento de la ingeniería civil, y será gratificante saber que este trabajo los ha motivado a seguir en el extraordinario camino de la construcción de carreteras.

1. GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

*No cabe duda de que de nada serviría
que un proyecto determinado
fuera cuidadosamente elaborado,
si por alguna circunstancia se descuidan
los procedimientos de construcción del mismo.
Todo proyecto que haya sido bien elaborado,
merece y debe ser bien construido.*

(Crespo Villalaz, 1979)

Una carretera es una vía de dominio y uso públicos, proyectada y construida fundamentalmente para la circulación de automóviles.

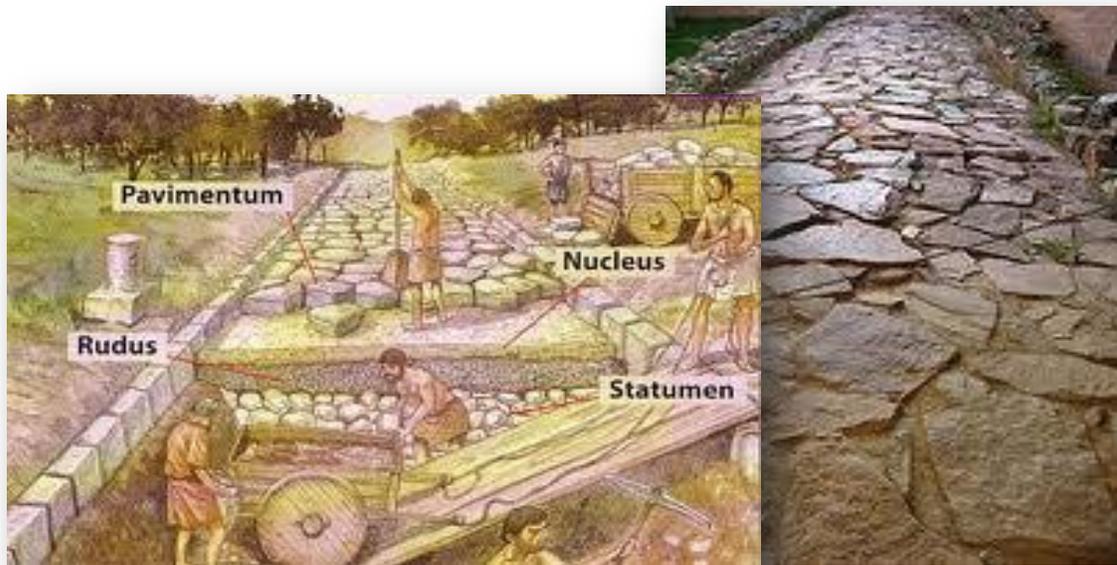
A lo largo de la historia el ser humano ha tenido la necesidad de transportarse de un sitio a otro, lo que lo ha obligado a buscar rutas que faciliten sus recorridos: al inicio a través de brechas, posteriormente por caminos, calzadas y carreteras.

Los primeros constructores de caminos aplicaron su técnica probablemente en la misma región del Medio Oriente, donde apareció la rueda y el animal de tiro.

Las carreteras fueron los primeros signos de una civilización avanzada. Los mesopotámicos fueron uno de los primeros constructores de carreteras hacia el año 3,500 a. C. Le siguieron los chinos, los cuales desarrollaron un sistema de carreteras en torno al siglo XI a. C., y construyeron la Ruta de la Seda (la más larga del mundo durante 2,000 años). En el siglo I, el geógrafo griego Estrabón registró un

sistema de carreteras que partían de la antigua Babilonia; los escritos de Heródoto, historiador griego del siglo V a. C., mencionan las vías construidas en Egipto, para transportar los materiales con los que construyeron las pirámides y otras estructuras monumentales levantadas por los faraones. Aún existen algunas de las antiguas carreteras.

Las primeras calzadas modernas en la historia de la civilización, en las cuales se emplea una estructura en su construcción, fueron hechas por los romanos, la vía Apia empezó a construirse alrededor del 312 a. C., y la vía Flaminia hacia el 220 a. C. En la cumbre de su poder el Imperio Romano tenía un sistema carretero de unos 80,000 km, consistente en 29 calzadas que partían de la ciudad de Roma, y una red que cubría todas las importantes provincias conquistadas, incluyendo Gran Bretaña. Esta técnica consistía en una calzada de espesor de 90 cm a 120 cm y estaba compuesta por tres capas de piedras argamasadas cada vez más finas, con una capa de bloques de piedras encajadas en la parte superior, esta técnica perduró hasta el siglo XVIII.



Img 1. Primeras calzadas modernas en la historia de la civilización.

En la imagen de la izquierda podemos observar las etapas en la construcción de las antiguas calzadas romanas, y la imagen de la derecha nos muestra cómo lucen hoy en día.

El Gobierno francés, a mitad del siglo XVII, instituyó un sistema para reforzar el trabajo local en las carreteras y con este método construyó aproximadamente 24,000 km de carreteras principales. Más o menos al mismo tiempo el Parlamento instituyó un sistema para conceder franquicias a compañías privadas para el man-

tenimiento de las carreteras, permitiendo a esas corporaciones que cobraran un peaje o cuotas por el uso de las mismas. Se hicieron variaciones para perfeccionamiento de los métodos y técnicas de construcción de carreteras por parte de los franceses Gautier y Tresaguet, estas variaciones fueron continuadas en el siglo XIX por Thomas Telford y John Loudon McAdam, ambos escoceses.

El sistema de Telford implicaba cavar una zanja e instalar cimientos de roca pesada. Los cimientos se levantaban en el centro para que la carretera se inclinara hacia los bordes permitiendo el desagüe. La parte superior de la carretera consistía en una capa de 15 cm de piedra quebrada compacta. El de McAdam mantenía que la tierra bien drenada soportaría cualquier carga. En el método de construcción de carreteras de McAdam, la capa final de piedra quebrada se colocaba directamente sobre un cimiento de tierra que se elevaba del terreno circundante para asegurarse que el cimiento desaguara. El sistema de McAdam, llamado "macadamización", se adoptó en casi todas partes del mundo, sobre todo en Europa. Sin embargo, los cimientos de tierra de las carreteras macadamizadas no pudieron soportar los camiones pesados que se utilizaron en la I Guerra Mundial. Como resultado, para construir carreteras de carga pesada se adoptó el sistema de Telford, ya que proporcionaba una mejor distribución de la carga de la carretera sobre el subsuelo subyacente.

Estos cuatro hombres pueden ser considerados como padres de la moderna técnica de construcción de calzadas.

1.2 ETAPAS DE UN PROYECTO CARRETERO

1.2.1 Diseño del Proyecto

Hoy en día la construcción de una carretera surge de la necesidad de mantener la comunicación entre distintas regiones buscando proporcionar, a los sectores que las componen, mayor seguridad en el transporte de personas y bienes; además brindar una mayor cobertura, conservando la calidad en apoyo a la competitividad y la eficiencia de la economía. La construcción de las nuevas carreteras busca eliminar desequilibrios y potenciar el desarrollo regional.

Cuando se decide construir una carretera lo primero es *elegir la ruta*, que son los sitios por donde se procederá a construir la obra. Al inicio de los estudios, el ancho de la ruta puede ser de varios kilómetros, hasta llegar a los planos definitivos, donde el ancho de la ruta será la franja de terreno necesaria para construir, con-

servar, y en su caso ampliar; a esta franja definitiva se le denomina “derecho de vía”.

Después de elegir la ruta, se procede a realizar el *anteproyecto*, que consiste en levantamientos topográficos y en diversos estudios geológicos y de mecánica de suelos para ayudar a obtener el mejor *diseño* posible. Posteriormente y con la información recopilada se desarrolla el *proyecto definitivo*, en el cual se afinan los detalles del proyecto en su geometría; se efectúan estudios de curvamasa, cuyo resultado consiste en obtener los volúmenes de obra que habrán de movilizarse del proyecto.

En la elección de ruta, los principales *estudios geotécnicos* que se llevan a cabo corresponden a la geología del terreno por donde pasará la obra. Por ello un ingeniero geólogo, junto con ingenieros de otras especialidades, realiza reconocimientos aéreos para recopilar datos y, con fotografías aéreas y observaciones directas en los recorridos ya indicados, efectúa una fotointerpretación, de donde se obtienen planos geológicos detallados, en los cuales se indican los tipos de rocas y suelos, plegamientos, echados de los estratos, fracturas, fallas e hidrografía que se encuentran en el terreno. Asimismo, se redacta un informe en el que se proporciona una opinión, desde el punto de vista geológico, sobre la factibilidad de construir la obra y se marcan las zonas que representan menos problemas.

En la etapa del anteproyecto, los estudios geotécnicos son más detallados y en éstos intervienen ingenieros especialistas en Geología, Hidrología y Mecánica de Suelos, quienes se familiarizan con la franja en estudios y asesoran a los ingenieros, que realizan los proyectos geométricos, para cruzar las zonas que representan menos problemas. Las decisiones se toman con base en estas recomendaciones y en estudios de carácter económico, en los que es de vital importancia determinar el tipo de obra que se habrá de realizar, ya sea que se trate de alimentadoras, secundarias o autopistas.

En el proyecto definitivo los estudios geotécnicos ya son de carácter particular y se hace un recorrido detallado de la línea proyectada, además de sondeos y, de ser necesario, estudios geofísicos para conocer la estratigrafía de la ruta. En estos estudios ya se incluyen los espesores de las capas; la clasificación de los materiales, tanto en el aspecto geotécnico como para considerar costos; los coeficientes de variación volumétrica para el estudio de los acarreos; y la capacidad de carga del terreno para cimentar las obras de drenaje mayores y menores.



Img 2. Libramiento Norte de la Ciudad de México.
Vista general entre el km 60 y el km 61, DGSC-SCT.

1.2.2 Construcción del Proyecto

La ejecución de un *proyecto* carretero inicia marcando el trazo de la carretera, esto se hace con el apoyo de topógrafos, que colocan estacas que sirven para delimitar las áreas a limpiar y de guía de trabajo al iniciar el movimiento de tierras.

Después de marcar el trazo con las estacas, en el terreno, se procede a la limpieza del área de trabajo que comprende el desmonte y despalme, es decir la eliminación o disposición en un nuevo sitio de la materia vegetal del lugar, dígase, árboles, arbustos y matorrales, así como la eliminación del follaje.

Posterior a la limpieza del lugar se inicia con la construcción de las terracerías (véase *Img. 3*), en las cuales se realiza el movimiento de tierras necesario para formar los cortes y terraplenes, al mismo tiempo que se llevan a cabo los trabajos de construcción de obras de drenaje y estructuras, hasta dejar el camino listo para la colocación del pavimento.



Img 3. Formación de las terracerías. Salamanca-León, km 37+900, DGDC-SCT.

Por último, si el proyecto lo contempla, se coloca el pavimento el cual está formado por sub-base, base y carpeta.

1.2.3 Mantenimiento y Conservación

Al igual que cualquier estructura, las carreteras requieren *mantenimiento*. El deterioro es producido principalmente por el paso de vehículos, aunque también se ven afectadas por las condiciones meteorológicas: lluvia, expansión térmica y oxidación. Los trabajos de *mantenimiento y conservación* (véase Img.4) de carreteras son muy diversos y pueden ser agrupados según su magnitud en: conservación rutinaria, conservación periódica y trabajos de reconstrucción.



Img 4. Trabajos de conservación en terracería. Renivelación y tendido de material pétreo con motoconformadora, en un camino secundario sin revestimiento.

2. PRELIMINARES

2.1 TRAZO

Una vez definida la construcción de una carretera, se determinan los procedimientos que la obra llevará, los recursos materiales y los recursos humanos que van a intervenir, de acuerdo con el proyecto. Al iniciar las labores de construcción lo primero que se hace es marcar el *trazo* de la carretera; para ello se ocupan la o las brigadas de topografía que sean necesarias, la primera en entrar a campo es la brigada de *trazo*, conformada por el aparatero, equipado de una estación total; los primeros necesarios (mínimo 2) y, en caso de ser necesario, los brecheros. El primer trabajo importante de esta brigada es el de ubicar en campo las estaciones y los elementos geométricos principales del eje, los cuales se marcan en el terreno, a través de estacas, que sirven de guía de trabajo, en ellas se escriben las siglas del elemento geométrico, así como el cadenamiento en que se encuentra éste. Las siglas más utilizadas, con las que se señalan los elementos geométricos son las siguientes:

SIGLAS	ELEMENTO GEOMÉTRICO	SIGLAS	ELEMENTO GEOMÉTRICO
PST	Punto Sobre Tangente	ET	Espiral Tangente
PC	Principia Curva	PSC	Punto Sobre la Curva
PT	Principia Tangente	PSE	Punto Sobre Espiral
TE	Tangente Espiral	PI	Punto de Inflexión
EC	Espiral Curva	PSST	Punto Sobre Subtangente
CE	Curva Espiral		



Img 5. En este conjunto de imágenes se pueden apreciar ejemplos de estacas colocadas para señalar el *trazo* del camino, fotografías: J. C. Mendoza Jiménez.

Una vez terminado el *trazo* del eje en un tramo, se procede a trazar en el terreno los ejes de ceros de construcción, los cuales se marcan con estacas de madera a la izquierda y derecha del eje, en los puntos en que el talud lateral del corte o terraplén intersece la superficie del terreno natural, esto servirá de guía para iniciar con los trabajos: despalme del terreno natural; y posteriormente para las labores del movimiento de tierras: terrapleneo o corte, según sea necesario; es importante mencionar que este trabajo se repite las veces que sea necesario, para la correcta construcción de las diversas capas del terraplén o corte. Para la realización de este trabajo, es importante contar también con el apoyo de la brigada de nivelación, que irá verificando constantemente el avance de los cuerpos ya formados

manteniendo un control adecuado de las elevaciones construidas, conservando así la optimización de los equipos y materiales con que se cuenta.

Cada una las estacas debe de estar debidamente referenciada y éstas generalmente se colocan a una distancia fija entre ellas, para poder sustituirlas en caso de que se muevan o pierdan durante los trabajos.

Los datos que deben ser llevados al campo son: la cota del terreno en el eje del camino; la cota de la subrasante en el eje del camino; el ancho de la sección del camino; y los taludes o terraplenes del camino; todos estos deben ser llevados cada 20 metros, o menos, si la topografía o requisitos del proyecto lo ameritan

En la imagen 6 se observa, ya marcado, mediante estacas, todo el ancho del “derecho de vía”, listo para proceder al desmonte y al despalme.



Img 6. Vista panorámica del *trazo* del “derecho de vía”.
Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 86+000, DGDC-SCT.

A continuación se incluye una breve descripción de las herramientas de mayor uso en las técnicas topográficas más comunes, en el *trazo* de una carretera:

Cinta métrica: *cinta* flexible graduada. Es una herramienta utilizada en medición de distancias, se construye con una delgada lámina de acero al cromo, o de aluminio, o con un tramado de fibras de carbono, unidas mediante un polímero de teflón. Las *cintas métricas* más usadas son las de 10 m, 15 m, 20 m, 25 m, 30 m, 50 m y 100 m.

Las dos últimas *cintas*, de mayor extensión, son las llamadas de agrimensor y se construyen únicamente en acero, ya que la fuerza necesaria para tensarlas podría producir un crecimiento, si estuvieran construidas en un material menos resistente a la tracción. Las más pequeñas están centimetradas, e incluso algunas milimetradas, con las marcas y los números pintados o grabados sobre la superficie de la *cinta*, mientras que las de agrimensor son marcadas, cada 2 dm, mediante remaches de cobre o bronce fijos a la *cinta*, utilizando un remache algo mayor para los números impares y un pequeño óvalo numerado para los números pares.

Por lo general están protegidas dentro de un rodete de latón o PVC. Las de agrimensor tienen dos manijas de bronce en sus extremos para su exacto tensado y es posible desprenderlas completamente del rodete para mayor comodidad.

Teodolito: instrumento universal empleado principalmente para la medición de ángulos horizontales y verticales, para medir distancias con estadía y para prolongar alineaciones. El *teodolito* lleva un antejo capaz de girar alrededor de un eje vertical y de otro horizontal; ordinariamente está provisto de una brújula magnética y va montado en un trípode. Se utiliza para la medición de ángulos horizontales y verticales, y para prolongar alineaciones.

Nivel: utensilio que tiene como finalidad la medición de desniveles y representa una referencia con respecto a un plano horizontal. Este aparato ayuda a determinar la diferencia de elevación entre dos puntos con la ayuda de un estadal.

Hoy en día estas tres herramientas han ido quedando en desuso, debido a herramientas más modernas, o de última tecnología.

Estación Total es un instrumento electro-óptico utilizado en topografía para medir distancias, ángulos y desniveles, cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica. Tiene una pantalla alfanumérica de cristal líquido (LCD = Liquid Crystal Display), iluminación independiente de la luz solar; tiene calculadora, distanciómetro, trakeador (seguidor de trayectoria); guarda información en formato electrónico en diversos programas, calcula coordenadas y replantea puntos.



Img 7. En estas imágenes podemos observar dos estaciones con diferente marca.
Libramiento, Norte de Puebla, fotografías: J. C. Mendoza Jiménez.

Sistema de Posicionamiento Global (GPS) Topográfico. Estos equipos ayudan a calcular distancias a partir de la georreferenciación satelital y tienen precisiones desde varios milímetros hasta menos de medio metro.

Existe el GPS de una banda (L1) y el de dos bandas (L1, L2). La diferencia es que para el GPS de una banda se garantiza la precisión milimétrica en distancias menores a 40 km entre antenas; en el GPS de dos bandas la precisión milimétrica es de hasta 300 km; si bien se pueden realizar mediciones a distancias mayores, ya no se garantiza la precisión de las lecturas.

El GPS no reemplaza a la Estación Total, en la mayoría de los casos se complementan.



Img 8. GPS posicionado en estación. Fotografía: J. C. Mendoza Jiménez.

2.2 DESMONTE Y DESPALME

El *despalme* y *desmonte* son las primeras operaciones que se deben realizar antes de cualquier movimiento de tierras.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) define estas actividades de la siguiente manera:

“El **desmonte** es la remoción de la vegetación existente en el derecho de vía en las zonas de bancos, de canales y en las áreas que se destinen a instalaciones o edificaciones, entre otras, con objeto de eliminar la presencia de material vegetal, impedir daños a la obra y mejorar la visibilidad. Cuando así lo indique el proyecto o lo ordene la Secretaría, el desmonte se complementa con el trasplante de especies vegetales, a que se refiere la Norma N.CTR.CAR.1.09.003, “Trasplante de Especies Vegetales”, y que consiste en el traslado de un sitio a otro del individuo vegetal vivo. El desmonte comprende:

B.1 Tala, que consiste en cortar los árboles y arbustos.

B.2 Roza, que consiste en cortar y retirar la maleza, hierba, zacate o residuos de siembra.

B.3 Desenraice, que consiste en sacar los troncos o tocones, con o sin raíces.

B.4 Limpia disposición final, que consiste en retirar el producto del desmonte al banco de desperdicios que indique el proyecto o apruebe la Secretaría.”
N.CTR.CAR.1.01.001/11

“El **despalme** es la remoción del material superficial del terreno, de acuerdo con lo establecido en el proyecto o aprobado por la Secretaría, con objeto de evitar la mezcla del material de las terracerías, con materia orgánica o con depósitos de material no utilizable.” N.CTR.CAR.1.01.002/11

Es muy importante que en el lugar se haga una correcta disposición del “material vegetal” y del “material de banco”, ya sea que vaya a ser desechado o reubicado.

2.2.1. Tala

Una vez definida la ruta por donde pasará una carretera, puede ser que en la labor de desmonte se requiera la *tala* de árboles. Si los árboles son adecuados para producir madera, se talan con ayuda de personal especializado y luego se cortan en medidas comerciales para su aprovechamiento. Este proceso también puede ser hecho por maquinaria, excavadoras que van desprendiendo los árboles desde su raíz.



Img 9. Excavadora retirando árboles. <http://www.viverosjarddinn.com/imagenes/Desmonte.png>

Cuando el “material vegetal” no requiere de otra disposición y debe ser eliminado por completo, se puede proceder a la utilización de tractores, estos eliminan de forma general la materia orgánica superficial, árboles, arbustos, residuos agrícolas, etc. Este método simplifica el procedimiento y se puede decir que se realizan la *tala* y la roza al mismo tiempo.



Img10. Bulldozer en trabajos de desmonte. <http://www.opsur.org.ar>

2.2.2 Roza

Posterior a la eliminación de los árboles, o cuando no existen estos, se procede a retirar los arbustos y matorrales, esto generalmente se ejecuta con personal especializado, como biólogos, por si se requiere de la conservación y reubicación de las especies vegetales del lugar; de no ser así, al igual que en la tala, se emplea maquinaria para remover con mayor facilidad la maleza.



Img 11. Tractor en el proceso de *roza*.

2.2.3 Desenraice

En este procedimiento se buscan todas las raíces y la materia vegetal que pudiese haber quedado debajo de la superficie, se desentieran y eliminan del sitio, a fin de impedir que este material orgánico pueda llegar a pudrirse, dejar huecos debajo de la superficie y con ello provocar asentamientos en la carretera. Por lo general esta maniobra se hace con ayuda de excavadoras.

2.2.4 Limpia y disposición final del desmonte

Todo el material vegetal resultante del desmonte, y que es retirado del lugar, ya sea para su reubicación, o como material de desperdicio, deberá ser transportado y almacenado según como indica la normativa de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

“Los residuos producto del desmonte se cargarán y transportarán al sitio o banco de desperdicios que indique el proyecto, o apruebe la Secretaría, en vehículos adecuados, o con cajas cerradas y protegidas con lonas, que impidan la contaminación del entorno, o que se derramen. Cuando se trate de materiales que no vayan a ser aprovechados posteriormente y que hayan sido depositados en al-

gún almacén temporal, serán trasladados al banco de desperdicios lo más pronto posible. El transporte y disposición de los residuos se sujetarán, en lo que corresponda a las leyes y reglamentos de protección ecológicas vigentes.”
N.CTR.CAR.1.01.0001/1 SCT



Img 12. Acarreo de material producto de desmonte.
Salamanca-León, km 18+800, DGDC-SCT

2.2.5 Despalme

El último procedimiento dentro de los trabajos preliminares es el *despalme*, en éste se busca eliminar la totalidad de la materia vegetal, así como la materia que no será utilizada. Para ello se utilizan generalmente tractores con sus diferentes accesorios, así como cargadores frontales. El acarreo y almacenamiento del material resultante del despalme, a la letra en la normativa de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, son idénticos a los del desmonte.

Al concluir esta etapa el terreno queda delimitado y limpio para iniciar los procesos que formarán el cuerpo y la estructura de la carretera.



Img 13. Terreno en el que se realizó *despalme*.
Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 82+000 al 80+000, DGDC-SCT.

En la siguiente imagen se observa el trazo del “derecho de vía” y el despalme finalizado. El terreno está listo para dar inicio a la construcción de las terracerías.



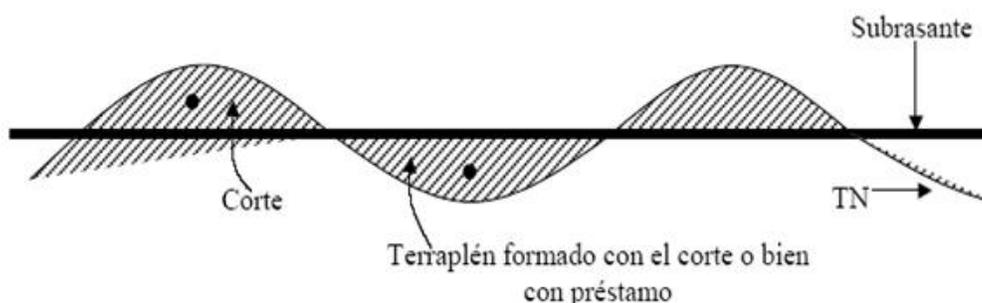
Img 14. Vista panorámica después de despalme.
Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 82+700, DGDC-SCT.

3. TERRACERÍAS

Las *terracerías* son el resultado de los procedimientos constructivos realizados entre la limpieza del lugar y la pavimentación del camino; son las operaciones en donde los volúmenes de material se retiran: “*cortes*” o, bien, se colocan para servir de relleno: “*terraplenes*”, esto con el fin de alcanzar el nivel de la *subrasante* en la construcción de una carretera.

La *subrasante* es la línea que determina la altura de la terracería y es a partir de ésta donde se empiezan a colocar las capas del pavimento.

Es deseable que el material retirado sirva de relleno en algún otro punto del camino. También es importante tener conocimiento del material retirado, y que ya no es posible ocupar, a éste se le denomina “desperdicio”. Cuando ya no es posible ocupar el material de los cortes, para relleno, se le puede obtener de lugares denominados “préstamos”: “préstamo lateral”, si se encuentra dentro del “derecho de vía”; y “préstamo de banco”, que se adquiere de cualquier otro sitio. Las actividades de excavación: arrastres, diseminación y consolidación, son operaciones incluidas en la construcción de terracerías



Img 15. Esquema que muestra el material de corte o en terraplén, con relación a la subrasante. TN = terreno natural.

http://documentos.dicym.uson.mx/resp2008/rafabojo/VT/VT20082_C4_P1_archivos/frame.htm#slide0175.htm

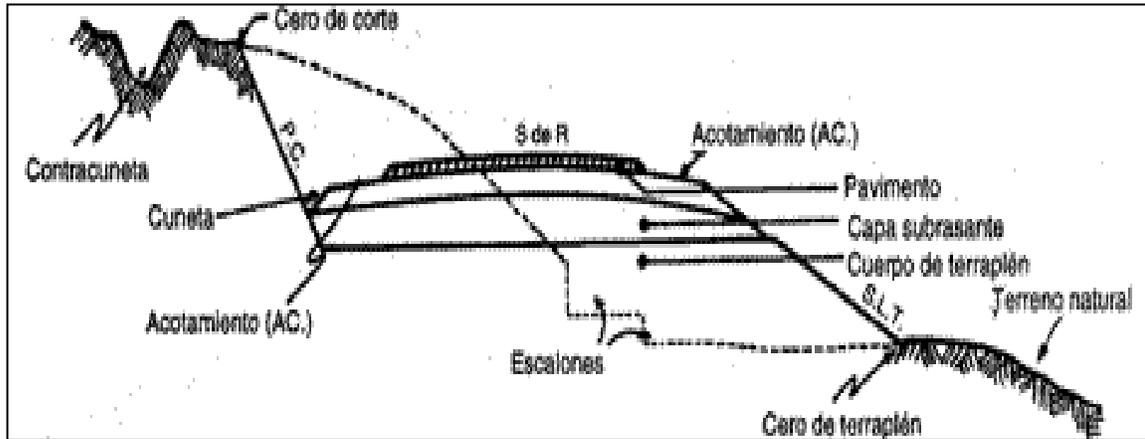
Sección transversal

La *sección transversal* nos permite definir la disposición y dimensiones de los elementos que forman el camino y su relación con el terreno natural. La *sección transversal* está definida como un corte vertical normal al alineamiento horizontal del camino en un punto cualquiera.

Los elementos que componen y definen la *sección transversal* son: la corona, la subcorona, las cunetas, las contracunetas, los taludes y las estructuras complementarias como los elementos del drenaje.

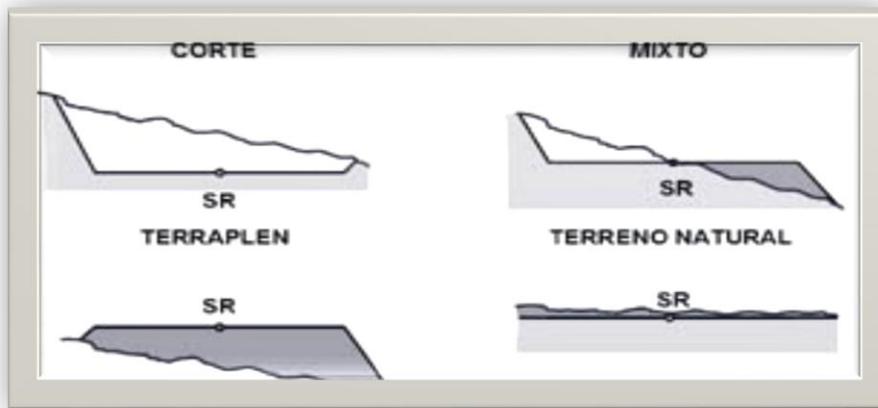
- *Corona*: es la superficie del camino terminado, que queda comprendida entre los hombros del camino, es decir, las aristas superiores de los taludes del terraplén o, bien, las aristas interiores de las cunetas. Los elementos que definen la *corona* son la rasante, la pendiente transversal, la calzada y los acotamientos:
 - a) *Rasante*. La línea que nos marca, en un plano vertical, el eje del camino.
 - b) *Pendiente transversal*. Es la pendiente que se le da a la *corona*, la cual es “normal” al eje del camino.
 - c) *Calzada*. Es la parte de la corona destinada al tránsito.
 - d) *Acotamientos*. Son las franjas del camino, entre la calzada y los hombros de éste.
- *Subcorona*: el plano que delimita a las terracerías y sobre éstas se colocan las capas de pavimento.
- Las *cunetas* y *contracunetas* son elementos que pertenecen a las obras de drenaje, y se definirán de manera amplia junto con los demás elementos que componen el drenaje en el capítulo 4.
- Los *taludes* son las paredes que se forman al construir los terraplenes y realizar los cortes.

La imagen que enseguida se presenta ilustra de manera clara los elementos de la *sección transversal*.



Img 16. Esquema de una *sección transversal* tipo, en la que se pueden observar los elementos que la componen. Imagen tomada del *Manual de Proyecto Geométrico-SCT*.

En el siguiente esquema se muestran posibles secciones transversales con las que nos podríamos encontrar durante la construcción de la carretera: sección de corte; sección mixta en la que existe terraplén y existe corte, sección de terraplén y sección de terreno natural, donde no se requieren ni corte ni terraplén.



Img 17. Imagen que nos muestra los tipos de *sección transversal*. SR = Subrasante.
http://www7.uc.cl/sw_educ/construccion/urbanizacion/html/concepto.html

3.1 MAQUINARIA

Existen diversos procedimientos para la construcción de las terracerías. El procedimiento adecuado generalmente depende del tipo de suelo, de modo que, una vez definido el procedimiento es como se elige la *maquinaria* a emplear.

Cabe mencionar que un adecuado análisis en la selección de la maquinaria es vital para optimizar los tiempos y gastos de la obra. Enseguida se presenta la maquinaria de más uso en la construcción de terracerías, su utilidad y características:



Img 18. Excavación en corte. Libramiento de Irapuato, km 15+600, DGDC-SCT.



Img19. Motoescrepa. Máquina para cortar, mover y transportar grandes volúmenes de material.

MOTOESCREPAS

Son máquinas que van montadas sobre cuatro grandes neumáticos, creadas para mover grandes volúmenes de material y luego depositarlo a distancias alejadas de la obra. Están diseñadas con una caja metálica rectangular unida al tractor, por medio de una estructura articulada en forma de cuello de ganso. En su parte inferior tiene adaptada una cuchilla cortadora o dientes; en la parte frontal tiene una placa deslizante graduable, con la que se controla el espesor del corte; con respecto a su interior, está equipado con una placa eyectora, para extraer de manera gradual el material excavado; su mecanismo es operado por un sistema hidráulico.

Existen en el mercado diferentes modelos de estas máquinas, según la marca. La capacidad en las cajas de estas grandes máquinas varía de 8 m³ a 40 m³, y alcanzan velocidades de operación del orden de los 60 m/h. En función de su mecanismo de impulso, estas máquinas se dividen en: motoescrepas autocargables, motoescrepas estándar y motoescrepas de tiro y empuje. Enseguida se presentan algunos modelos y sus características particulares:

Motoescrepas autocargables. Son máquinas autónomas que no requieren del auxilio de otra máquina. Su campo de acción se limita a suelos de poca dureza.



Img 20. Motoescrepa autocargable.

Motoescrapas estándar. Este tipo de máquina requiere del auxilio de un tractor, que le ayude a empujarla, con el fin de suministrar la potencia necesaria para poder realizar el trabajo de cortar y llenar la caja con el material excavado, ya que sólo tienen un motor.



Img 21. Motoescropa estándar.

Motoescrapas de tiro y empuje (push-pull). Máquina que requiere de la ayuda de otra motoescropa para poder llevar a cabo el trabajo de cortar y elevar el material a su caja, cuando éste presenta cierta resistencia al ser extraído, no obstante que cuenta con dos motores.



Img 22. Motoescrapas de tiro y empuje.

Motoconformadoras o motoniveladoras. Máquinas para la construcción, que cuentan con una larga hoja metálica (cuchilla), empleada para nivelar terrenos. Generalmente presentan tres ejes: la cabina y el motor se encuentran situados en la parte posterior, sobre los dos ejes tractores, y el tercer eje se localiza en la parte frontal de la máquina, en donde se localiza la hoja niveladora, entre el eje frontal y los dos ejes traseros.

Una de las características que dan gran versatilidad a esta máquina es que es capaz de realizar el refino de taludes con distintas inclinaciones.



Img 23. Motoconformadora.

Excavadoras. Estas máquinas se emplean generalmente para realizar zanjas, cortes, formar taludes, para limpieza, y también para carga de camiones, entre otras labores.

Las excavadoras son máquinas grandes capaces de moverse por el terreno con facilidad; sin embargo es importante a la hora de elegir el equipo considerar su tamaño y peso. Por ejemplo, las excavadoras más pequeñas podrán moverse más fácilmente a través de áreas más pequeñas como los bosques. La mayoría de las excavadoras tienen la capacidad de moverse 360 grados, esto resulta especialmente útil cuando el terreno es estrecho. Asimismo, si su peso es menor podrán ser capaces de atravesar terrenos más suaves.



Img 24. Excavadora

Las partes que componen una excavadora son: el chasis o estructura portante, desplazable mediante cadenas o ruedas neumáticas; la corona de giro sirve de apoyo a la estructura sobre el chasis, permitiendo el giro de ésta mientras el chasis permanece fijo; la estructura contiene el cuerpo de la excavadora, dígame, motores, transmisiones, cabina, contrapeso, etc., el brazo y la cuchara o algún accesorio, como puede ser un rotomartillo.

Cargador frontal. Esta unidad es utilizada para mover o cargar materiales. Tiene una función similar a la retroexcavadora, en cuanto a trabajo, la diferencia es que



Img. 25. Cargador frontal.

tiene mayor fuerza. Existen en el mercado dos tipos de cargadores, el de oruga y el de neumáticos: los de oruga tienen un mejor desempeño en terrenos con material inestable y los de neumáticos se usan para terrenos más estables.

Retroexcavadoras. Las retroexcavadoras son relativamente pequeñas y propulsadas por un motor diesel. Su equipo consta de tres piezas en una sola máquina: el tractor, que es la principal parte de la retroexcavadora, permite a los usuarios moverse con facilidad en diferentes tipos de terrenos. El tractor tiene neumáticos especiales, y éstos sirven de apoyo en las zonas en que los demás vehículos pueden tener enorme dificultad de movimiento. Las retroexcavadoras en la parte posterior cuentan con un brazo hidráulico, similar al de una excavadora; también cuenta con una pala frontal, al igual que un cargador frontal. Las retroexcavadoras también se utilizan para tallar zanjas en la tierra, crear trincheras, y para eliminar los materiales de “desperdicio” de las obras.



Img 26. Retroexcavadora, también conocida coloquialmente como “pachara”.

Compactadores. Son máquinas, de gran peso, dotadas de uno o varios rodillos metálicos, o neumáticos, cuya función consiste en aplanar y dar la compactación requerida al material sobre el cual se desplaza.

Todos los compactadores son autopropulsados, y están provistos de rodillos inversores del sentido de la marcha, que funcionan con acción suave y están dotados de dispositivos para mantenerse húmedos, en caso necesario.



Img 27. Compactador tipo “pata de cabra”.

Los sistemas de compactación del suelo se han ido desarrollando y van ligados al tipo de material a compactar. Esta es la razón de la existencia de múltiples y diferentes equipos en el mercado, que se diferencian, más que en la energía de compactación suministrada, en la forma en que dicha energía es transmitida al terreno.

Los equipos de compactación se clasifican en dos tipos:

- *Los de presión estática o compactadores de “pata de cabra”.* Disponen de rodillos cilíndricos de acero, a los que se ha dotado de patas de apoyo puntuales, distribuidas uniformemente sobre la superficie del cilindro, cuyo efecto de compactación se debe a la alta presión que comunican al terreno.

Su uso queda restringido a la compactación de cimientos, o núcleos de terraplén, de materiales cohesivos sin piedra.

- *Los vibratorios o compactador vibratorio monocilíndrico.* Están compuestos por un cilindro metálico vibratorio liso (con o sin tracción), que actúa como elemento de compactación y dos neumáticos traseros de tracción.

Pueden usarse para la compactación de todo tipo de capas de cimiento, núcleo, explanada y firme; tienen una mejor adaptación a la compactación de suelos no cohesivos, donde el efecto de la vibración posibilita un mejor acomodo de los elementos granulares.



Img. 28. Compactador monocilíndrico.

Compactadores vibratorios bicilíndricos (o tándem). Están compuestos por dos cilindros metálicos vibratorios lisos (con tracción), que compactan las capas de suelo.

Pueden usarse para la densificación de todo tipo de capas de firme y/o explanadas bien graduadas.



Img 29. Compactador bicilíndrico.

Tractores de oruga (Bulldozer). Este tipo de tractores tienen un uso variado. El trabajo de estos consiste en movimientos de tierra y corte. Cuentan con orugas para que le den un mejor agarre al suelo, mientras que con su cuchilla frontal mueven el material. Cabe mencionar que este tipo de máquinas cuenta con sistema hidráulico para una mejor y más rendidora operación y existen varios tamaños, para la aplicación que se requiera.



Img 30. Tractor de orugas

Accesorios auxiliares

Además de los trabajos realizados por la cuchilla, al Bulldozer se le pueden añadir accesorios que aumenten su versatilidad.

- *Escarificador o ripper.* Especie de reja de arado, que se fija fuertemente en la parte posterior del Bulldozer y ejerce una acción de labrado, para disgregar terrenos compactos y rocas semiduras.
- *Stumper.* Pico corto que se acopla en vez de la cuchilla, utilizado para arranque de tocones, o para romper capas aisladas de roca dura.
- *Grúa lateral.* Accesorio que descansa en una lateral de chasis, y está provista de contrapeso y accionada por cabestrantes. El tractor se apoya en la cuchilla para aumentar la estabilidad.

Camiones de volteo articulados. Se utilizan para mover la arena, el suelo, la grava y la roca. Estos camiones ya figuran como parte de los mejores adelantos tecnológicos en el sector de la construcción.

El camión de volteo articulado consiste en un camión con remolque, con un marco articulado y un componente trasero para la descarga. Los fabricantes típicamente ofrecen las configuraciones de transmisión 4X4, 6X6 ó 6X4.



Img. 31. Camión de volteo articulado.

Camiones de volteo. Son camiones de carga, que nos ayudan a mover distintos materiales, dentro o fuera de la obra, a diferencia de los camiones articulados que generalmente sólo se mueven al interior de la obra. Los camiones de volteo adquieren su nombre, coloquialmente, en función de su capacidad de carga:

- *Rabón.* Este camión tiene una capacidad aproximada de 7 m³.



Img 32. Camión rabón

- *Torton*. Estos son los más comúnmente utilizados y generalmente tienen una capacidad de 14 m^3 ó 16 m^3 .



Img 33. Camión torton.

- *Góndola*. Estos son tractocamiones con una capacidad de hasta 30 m^3 .



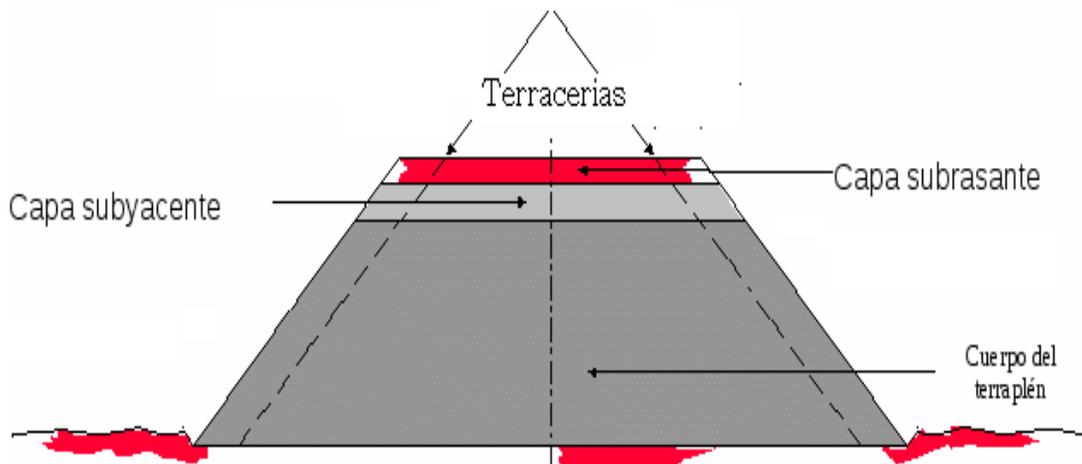
Img 34. Góndola.

3.2 TERRAPLENES

Los *terraplenes* son estructuras que se construyen para elevar el nivel de la carretera sobre el del terreno natural, con el objeto de mantener las normas del proyecto; por ejemplo, cuando se requiere mantener la pendiente de la carretera en regiones de lomerío y montañosas, o para evitar daños en la carretera provocados por agua que proviene de algún escurrimiento; estas estructuras también se emplean para los accesos a un puente o a una gran estructura de alcantarilla a fin de alcanzar la altura necesaria.

Por lo general la sección transversal de un *terraplén* consta de una superficie horizontal plana con taludes a los lados, generalmente simétricos, que inician en la parte superior y terminan hasta su intersección con el terreno natural.

Las capas de las que constan las terracerías en una sección de *terraplén* son: el cuerpo de terraplén, que es la parte de la estructura que da la altura al terraplén; la capa subyacente se emplea generalmente cuando el volumen de tránsito es superior a los 10 000 vehículos diarios; y la capa subrasante es la que coincide con la línea subrasante, además es la capa de mayores especificaciones ya que, al estar en contacto directo con el pavimento, es la que recibe las cargas de tránsito transmitidas por éste. De igual forma esta capa debe garantizar la no contaminación del pavimento, así como la no absorción del pavimento por las terracerías, también debe evitar que las imperfecciones en los cortes se reflejen en la superficie de la carretera.



Img 35. Capas del terraplén.



Img 36. Compactación de terraplén.
Autopista Salamanca – León, cuerpo derecho, km 48+200, SCT-DGDC.

Para la construcción de terraplenes, la elección del procedimiento y equipo necesarios, será en función de la calidad y disposición de los materiales, así como de las características físicas del lugar.

La calidad de los materiales con los que se construirá un terraplén puede ser muy variada; sin embargo, la clasificación general para poder elegir el procedimiento y equipo más adecuados, depende de si el material es “compactable”, es decir, que se puede compactar a cierto grado de humedad; o “no compactable”, como son los materiales granulares, con partículas relativamente grandes que no tienden a adherirse como los fragmentos de roca.



Img 37. Formación de terraplén en material “compactable”.
Libramiento de Irapuato, km 23+500, DGDC-SCT.



Img 38. Formación de terraplén en material “no compactable”.
Libramiento de Irapuato, km 10+320, DGDC-SCT.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) define a los terraplenes en la Norma N-CTR-CAR-1-01.009/11 como:

“Los terraplenes son estructuras que se construyen con materiales producto de cortes o procedentes de bancos, con el fin de obtener el nivel de subrasante que indique el proyecto o la Secretaría, ampliar la corona, cimentar estructuras, formar bermas y bordos, y tender taludes.”

Esta misma Norma marca las especificaciones sobre el material y el equipo que se debe utilizar en la construcción de los terraplenes.

“D. MATERIALES

D.1. Los materiales que se utilicen en la construcción de terraplenes cumplirán con lo establecido en las Normas N-CMT·1·01, Materiales para Terraplén, N-CMT·1·02, Materiales para Subyacente y N-CMT·1·03, Materiales para Subrasante, salvo que el proyecto indique otra cosa, o así lo apruebe la Secretaría. Los materiales procederán de los cortes o bancos indicados en el proyecto o aprobados por la Secretaría.

D.2. Los materiales para la construcción del cuerpo del terraplén, la ampliación de la corona o el tendido de los taludes de terraplenes existentes, cuando procedan de cortes, pueden ser compactables o no compactables. Cuando provengan de bancos o se utilicen en la construcción de las capas subyacentes y subrasantes, siempre serán compactables.

D.3. No se aceptará el suministro y utilización de materiales que no cumplan con lo indicado en la Fracción D.1. de esta Norma, ni aun en el supuesto de que serán mejorados posteriormente en el lugar de su utilización por el Contratista de Obra.

D.4. Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, los materiales presentan deficiencias respecto a las características establecidas, como se indica en la Fracción D.1. de esta Norma, se suspenderá inmediatamente el trabajo en tanto que el Contratista de Obra los corrija por su cuenta y costo. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

E. EQUIPO

El equipo que se utilice para la construcción de terraplenes será el adecuado para obtener la calidad especificada en el proyecto, en cantidad suficiente para producir el volumen establecido en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, conforme al programa de utilización de maquinaria, siendo responsabilidad del Contratista de Obra su selección. Dicho equipo será mantenido en óptimas condiciones de operación durante el tiempo que dure la obra y será operado por personal capacitado. Si en la ejecución del trabajo, y a juicio de

la Secretaría, el equipo presenta deficiencias o no produce los resultados esperados, se suspenderá inmediatamente el trabajo en tanto que el Contratista de Obra corrija las deficiencias, lo remplace o sustituya al operador. Los atrasos en el programa de ejecución, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

E.1. MOTOCONFORMADORAS Las motoconformadoras que se utilicen para el extendido y conformación de terraplenes serán autopropulsadas con cuchillas, cuya longitud sea mayor de tres coma sesenta y cinco (3,65) metros, y con una distancia entre ejes mayor de cinco coma dieciocho (5,18) metros.

E.2. TRACTORES Los tractores serán montados sobre orugas, reversibles, con la potencia y capacidad compatibles con el frente de ataque.

E.3. MOTOESCREPAS Las motoescrepas serán autocargables en el menor tiempo, con capacidad de ocho coma cuatro (8,4) metros cúbicos (11 yd 3) como mínimo, con descarga plena.

E.4. CARGADORES FRONTALES Los cargadores frontales serán autopropulsados y reversibles, de llantas o sobre orugas, con la potencia y capacidad compatibles con el frente de ataque.

E.5. COMPACTADORES Los compactadores serán autopropulsados y reversibles. Los compactadores vibratorios estarán equipados con controles para modificar la amplitud y frecuencia de vibración.”

3.2.1 Trabajos previos

Antes de empezar a construir el terraplén, el área de desplante de éste debe quedar bien delimitada. Al igual que con el “derecho de vía” se suelen usar estacas para delimitar el área.

También es importante antes de iniciar la construcción del terraplén, que el área quede debidamente desmontada y despalmada.

La normativa de la SCT nos marca que, cuando se encuentra material inaceptable en el área de desplante del terraplén, éste podrá ser sustituido por uno de mejor calidad, para lo cual se abrirá una caja de profundidad suficiente, como parte del despalme; posteriormente, y si se requiere, se compactará el fondo de la caja. La caja se rellena en capas debidamente compactadas.

La normativa también nos indica que, si el proyecto lo requiere, los huecos resultantes del desmonte y despalme se rellenarán con material compactado; asimismo se compactará el terreno natural o el despalmado, en el área del desplante, con espesor mínimo de veinte (20) centímetros, a una compactación similar a la del terreno natural.



Img 39. Vista adelante, cuerpo derecho, afine y compactación del terreno natural para desplante de terraplén. Libramiento de Irapuato, DGDC-SCT.

3.2.2 Extracción de materiales

La *extracción del material* que se utiliza para la construcción de terraplenes puede ser de un corte, de “préstamo lateral”, o de “préstamo de banco”; recordando que la normativa de la SCT nos indica que el material a utilizar deberá ser forzosamente compactable, cuando se utilice en la construcción de las capas subyacentes y subrasantes, o cuando provengan de un “préstamo de banco”.

La Norma N-CTR-CAR-1-01-008/00, de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, define los bancos como:

“Los bancos de materiales son las excavaciones a cielo abierto destinadas a extraer material para la formación de cuerpos de terraplenes; ampliaciones de las coronas, bermas o tendido de los taludes de terraplenes existentes; capas subyacentes o subrasantes; terraplenes reforzados; rellenos de excavaciones para estructuras o cuñas de terraplenes contiguas a estructuras^[1]; capas de pavimento; protección de obras y trabajos de restauración ecológica, así como para la fabricación de mezclas asfálticas y de concretos hidráulicos.”

^[1] Las cuñas de terraplenes contiguas a estructuras son los espacios que quedan entre el terraplén y alguna estructura, los cuales requieren ser rellenos. Por ejemplo el espacio que queda entre el terraplén y una alcantarilla.

Para realizar la *extracción del material*, generalmente se ocupa alguno de los siguientes procedimientos: extracción por medio de excavadoras, extracción por medio de tractores y cargadores, o extracción por motoescrepas.

En la siguiente imagen podemos observar la extracción por medio de excavadoras, en este procedimiento la excavadora extrae el material y lo carga directamente en camiones de volteo.



Img 40 Carga y acarreo de material de “préstamo”.
Libramiento de Irapuato, diciembre de 2008, DGDC-SCT.

En la siguiente imagen podemos observar la combinación de tractores con cargadores frontales; en este procedimiento los tractores remueven el material, mientras los cargadores frontales cargan el material removido en camiones de volteo para su traslado.



Img 41. "Préstamo de banco". Salamanca-León, diciembre de 2012, DGDC-SCT.

Por último, si el material a utilizar se encuentra en un sitio cercano, la extracción se puede llevar a cabo a través de motoescrepas.



Img. 42. Material transportado del préstamo a la obra por medio de una motoescrepa.



Img 43. "Préstamo de banco". Salamanca-León, vista panorámica, diciembre de 2012, DGDC-SCT.

Para llegar a la toma de decisiones acerca de cuál de los tres procedimientos usar para la extracción de material, surge una controversia cuando se trata de medir la eficiencia de cada uno de los procedimientos; ya que mientras la motoescrepa realiza sus rutinas con un solo operador y una sola unidad para extraer, transportar y tender el material, en los otros dos procedimientos se requiere de tres o más equipos para realizar estas maniobras. Sin embargo los dos primeros procedimientos tienen mucha mayor capacidad de producción, por lo que esta decisión queda sujeta por lo general al tipo de material y a la distancia a la que se encuentra éste. La motoescrepa funciona mucho mejor en recorridos cortos y en materiales cohesivos, pues en materiales arenosos los neumáticos de las motoescrepas tienden atascarse en la arena.

Otro factor que influye para decidir el procedimiento en la *extracción del material*, está en función de las condiciones físicas del lugar en el que se localiza el “préstamo”; por ejemplo, si el lugar es estrecho o elevado, tal vez sea conveniente usar la excavadora; aunque, si el lugar es amplio puede que la mejor opción sea la utilización de tractores y cargadores, lo que incrementará la capacidad de producción.

En la siguiente imagen se puede observar cómo se utiliza el material de un corte para formar el terraplén. El corte se encuentra al fondo de la imagen y el terraplén es el sitio donde está descargando el camión de volteo.



Img 44. Corte, km 102+900; formación de terraplén, km 102+700.
Libramiento Norte de la Ciudad de México, DGDC-SCT.

3.2.3. Calidad de los materiales

Como ya se ha mencionado los terraplenes están conformados por tres capas: cuerpo del terraplén, capa subyacente y capa subrasante, las cuales se distinguen una de otra esencialmente por la *calidad de los materiales* empleados en su construcción, así como su nivel de compactación.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes indica en su normativa las características aceptables para el material que conforma cada una de estas capas.

Para el *cuerpo de terraplén* la Norma vigente es la N-CMT-1-01/02, y al respecto indica lo siguiente:

“B. DEFINICIÓN

Los Materiales para terraplén son suelos y fragmentos de roca, producto de los cortes o extracción en bancos, que se utilizan para formar el cuerpo de un terraplén hasta el nivel de desplante de la capa subyacente.

D. REQUISITOS DE CALIDAD

Los materiales que se utilicen para la formación de terraplenes cumplirán con los requisitos de calidad que se establecen en la Tabla 1 de esta Norma, a menos que exista un estudio previamente aprobado por la Secretaría, que justifique el empleo de materiales con características distintas. En ningún caso se utilizarán materiales altamente orgánicos como turba (Pt), ni materiales producto de despalmes.

TABLA 1.- Requisitos de calidad de materiales para terraplén

Características	Valor
Límite Líquido; %, máximo	50
Valor Soporte de California (CBR) ^[1] ; %, mínimo	5
Expansión; %, máxima	5
Grado de compactación ^[2] ; %	90 ±2

^[1] En especímenes compactados dinámicamente, al porcentaje de compactación indicado en esta tabla, con un contenido de agua igual al del material en el banco, a 1,5 m de profundidad.

^[2] Respecto a la masa volumétrica seca máxima, obtenida mediante la prueba AASTHO Estándar del material compactado, con el contenido de agua óptimo de la prueba, salvo que el proyecto o la Secretaría indiquen otra cosa. Cuando el material sea no compactable, de acuerdo con lo indicado en el Manual M.MMP.1.02, *Clasificación de fragmentos de roca y suelos*, se colocará en capas del espesor mínimo que permita el tamaño máximo del material y se bandeará, previa apli-

cación de un riego a razón de 150 L/m³, dando como mínimo tres pasadas en toda la superficie en cada capa, con un tractor de 36,7 t con orugas.”

En relación con el material que se utiliza para la *capa subyacente* la Norma N-CMT-1-02/02 es que aplica actualmente, y en específico menciona lo siguiente:

“B. DEFINICIÓN

Los Materiales para la capa subyacente son suelos y fragmentos de roca, producto de los cortes o extracción en bancos, que se utilizan para formar dicha capa inmediatamente encima del cuerpo de un terraplén.

D. REQUISITOS DE CALIDAD

Los materiales que se utilicen para la formación de la capa subyacente, en función de sus características y de la intensidad del tránsito esperada en términos del número de ejes equivalentes de ocho coma dos (8,2) toneladas, acumulados durante la vida útil del pavimento (ΣL) cumplirá con lo que se indica a continuación, a menos que exista un estudio previamente aprobado por la Secretaría, que justifique el empleo de materiales con características distintas. En ningún caso se utilizarán materiales altamente orgánicos como turba (Pt).

D.1 Cuando la intensidad del tránsito (ΣL) sea menor de diez mil (10 000) ejes equivalentes, no se requiere la capa subyacente.

D.2 Cuando la intensidad del tránsito (ΣL) sea de diez mil (10 000) a un (1) millón de ejes equivalentes, el material cumplirá con los requisitos de calidad que se establecen en la Tabla 1 de esta Norma y tendrá un espesor mínimo de treinta (30) centímetros.

TABLA 1.- Requisitos de calidad de materiales para capa subyacente

Características	Valor
Tamaño máximo y granulometría	Que sea compactable ^[1]
Límite líquido; %, máximo	50
Valor Soporte de California (CBR) ^[2] ; % mínimo	10
Expansión; %, máxima	3
Grado de compactación ^[3] ; %	95 ±2

^[1] De acuerdo con lo indicado en el Manual M.MMP.1.02, *Clasificación de fragmentos de roca y suelos*.

^[2] En especímenes compactados dinámicamente, al porcentaje de compactación indicado en esta tabla, con un contenido de agua igual al del material en el banco, a 1,5 m de profundidad.

[3] Respecto a la masa volumétrica seca máxima, obtenida mediante la prueba AASTHO Estándar, del material compactado con el contenido de agua óptimo de la prueba, salvo que el proyecto o la Secretaría indiquen otra cosa.

D.3 Cuando la intensidad del tránsito (ΣL) sea de (1) millón a diez (10) millones de ejes equivalentes, el material cumplirá con los requisitos de calidad que se establecen en la Tabla 1 de esta Norma y tendrá un espesor mínimo de setenta (70) centímetros.

D.4 Cuando la intensidad del tránsito (ΣL) sea mayor de diez (10) millones de ejes equivalentes, la capa subyacente será motivo de diseño especial.

D.5 Si la capa subyacente se desplanta directamente sobre terreno de cimentación y su espesor es menor que el señalado en las Fracciones D.2. o D.3. de esta Norma, según corresponda, cuando el material del terreno de cimentación no cumpla con los requisitos establecidos en la Tabla 1, se excavará una caja hasta la profundidad necesaria para completar el espesor mínimo.”

Por último tenemos a la *capa subrasante* que, como ya se mencionó, es la capa con mayores especificaciones. En relación con esta capa la SCT señala la Norma N-CMT-1-03/02, con las siguientes observaciones:

“B. DEFINICIÓN

Los Materiales para la capa subrasante son los suelos naturales, seleccionados o cribados, producto de los cortes o de la extracción en bancos, que se utilizan para formar dicha capa inmediatamente encima de la capa de los cortes, de la capa subyacente o del cuerpo del terraplén, cuando esta última no se construya para servir de desplante a un pavimento.”

D. REQUISITOS DE CALIDAD

Los materiales que se utilicen para la formación de la capa subrasante, en función de sus características y de la intensidad del tránsito esperada en términos del número de ejes equivalentes de ocho coma dos (8,2) toneladas, acumulados durante la vida útil del pavimento (ΣL) cumplirá con lo que se indica a continuación, a menos que exista un estudio previamente aprobado por la Secretaría, que justifique el empleo de materiales con características distintas. En ningún caso se utilizarán materiales altamente orgánicos como turba (Pt).

D.1 Cuando la intensidad del tránsito (ΣL) sea igual a un (1) millón de ejes equivalentes o menor, el material cumplirá con las característica granulométricas y con los requisitos de calidad que se establecen en la Tabla 1 de esta Norma y tendrá un espesor mínimo de veinte (20) centímetros.

D.2 Cuando la intensidad del tránsito (ΣL) sea de (1) millón a diez (10) millones de ejes equivalentes, el material cumplirá con los requisitos de calidad que se establecen en la Tabla 1 de esta Norma y tendrá un espesor mínimo de treinta (30) centímetros.

D.3 Cuando la intensidad del tránsito (ΣL) sea mayor de diez (10) millones de ejes equivalentes, la capa subrasante será motivo de diseño especial.

D.4 Si la capa subrasante se desplanta directamente sobre terreno de cimentación y su espesor es menor que el señalado en las Fracciones D.1. o D.2. de esta Norma, según corresponda, cuando el material del terreno de cimentación no cumpla con los requisitos establecidos en la Tabla 1, se excavará una caja hasta la profundidad necesaria para completar el espesor mínimo.

TABLA 1.- Requisitos de calidad de materiales para capa subrasante

Características	Valor
Tamaño máximo; mm	76
Límite líquido; %, máximo	40
Índice plástico; % máximo	12
Valor Soporte de California (CBR) ^[1] ; % mínimo	20
Expansión; %, máxima	2
Grado de compactación ^[2] ; %	100 ±2

^[1] En especímenes compactados dinámicamente al porcentaje de compactación indicado en esta tabla, con un contenido de agua igual al del material en el banco, a 1,5 m de profundidad.

^[2] Respecto a la masa volumétrica seca máxima, obtenida mediante la prueba AASTHO Estándar, del material compactado con el contenido de agua óptimo de la prueba, salvo que el proyecto o la Secretaría indiquen otra cosa.“

En lo referente al material de las capas subyacente y subrasante la SCT menciona en estas mismas normas las características específicas para su transporte y almacenamiento.

Señala que se deberá tener cuidado en el transporte y almacenamiento, a fin de evitar se alteren las características del material.

En relación al lugar de almacenamiento, refiere, deberá ser en un sitio destinado específicamente para tal propósito, el cual deberá contar con un firme y, de no ser así, se deberá remover el material vegetal, limpiar, conformar, nivelar y compactar la superficie dejando una sección transversal uniforme, que permita el drenaje.

Con respecto a la transportación del material, la Norma indica que deberá hacerse en vehículos con cajas cerradas y protegidas con lonas, que impidan la contaminación del entorno o que se derramen.

3.2.4. Tendido y conformación

El *tendido y la conformación* en el terraplén generalmente se hace de forma similar en las tres diferentes capas, a excepción de cuando se usa material “no compactable” durante la construcción del cuerpo del terraplén.

Cuando se trata de material “compactable” éste se tiende en capas sucesivas, horizontales, uniformes y relativamente delgadas, con la finalidad de tener una buena compactación en todo el espesor de éstas.

Asimismo se debe cuidar la formación de la sección transversal del terraplén. Por lo general los taludes de los terraplenes son tan pronunciados como lo soporte el material, a fin de reducir la cantidad de terraplenado.

Para el tendido y conformación del material se pueden usar diferentes procedimientos, por ejemplo:

Si el material se trae de un lugar cercano éste se puede transportar y tender directamente a través de bulldozers que empujan el material desde la zona de “préstamos” y lo tienden en el cuerpo del terraplén.



Img 45. Formación de terraplén. Libramiento de Irapuato, km 21+700, DGDC-SCT.



Img 46. Formación y tendido de terraplén. Libramiento de Irapuato, km 15+600, DGDC-SCT.



Img 47. Tractor sobre orugas tendiendo material para la conformación del cuerpo de terraplén. Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 40+450, DGDC-SCT.

Cuando el material se encuentra en algún sitio relativamente cercano, pero donde resulta ya poco práctico el uso de bulldozers, el traslado se hace a través de motoescrepas, estas máquinas son capaces de cargar, transportar y tender el material por sí solas, lo que hace muy atractivo su uso en la conformación del terraplén.



Img 48. Motoescrepa nivelando camino. <http://www.youtube.com/watch?v=4Bew-KrKDnc>



Img 49. Acarreo de material para capa subrasante.
Libramiento de Irapuato, km 7+900, DGDC-SCT.

Ahora bien, si el material se trae de un sitio más lejano es indispensable el uso de camiones de volteo, que transportan el material desde los sitios de extracción, para después tirarlo directamente sobre la superficie de trabajo, posteriormente este material es tendido con la ayuda de motoconformadoras.



Img 50. Formación de capa subyacente. Libramiento de Irapuato, km 7+300, DGDC-SCT.



Img 51. Conformación de capa de subyacente.
Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 90+560 al km 91+000, DGDC-SCT.



Img 52. Vista de la conformación de capa subyacente.
Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 47+000, DGDC-SCT.



Img 53. Conformación de la capa subrasante.
Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 3+100 al km3+200, DGDC-SCT.



Img 54. Conformación de la capa subrasante a lo largo
del libramiento Norte de la Ciudad de México, km 102+500 al km 103+000, DGDC.SCT.

Cuando se trata del cuerpo del terraplén éste puede ser formado con material “no compactable”. Para ello, con la ayuda de camiones de volteo y motoconformadoras o con tractores, se tiende una capa de espesor mínimo que permita alojar el fragmento de roca de tamaño máximo; posteriormente, con la ayuda de un tractor de oruga de 36.7 t, se pasa tres veces por cada punto de la superficie de esta capa con movimientos en zigzag, con la finalidad de tener un buen acomodo del material, esto con la previa aplicación de un riego, a razón de 150 L/m³ como indica la normativa de la SCT.



Img 55. Terracerías: suministro y tendido de terraplén con material “no compactable”.
Salamanca-León, km 16+920.00 al km 17+000.00, DGDC-SCT.



Img 56. Tendido del material de terraplén.
Libramiento de Irapuato, km 6+600, DGDC-SCT.



Img 57. Formación del cuerpo de terraplén.
Libramiento de Irapuato, km 7+780, DGDC-SCT.

Con relación al tendido y conformación, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes proporciona las siguientes especificaciones en la Norma N-CTR-CAR-1-01.009/11.

“G.3. TENDIDO Y CONFORMACIÓN

G.3.1. Aspectos generales

G.3.1.1. El material proveniente de cortes o bancos se descargará sobre la superficie donde se extenderá, en cantidad prefijada por estación de veinte (20) metros, en tramos que no sean mayores a los que, en un turno de trabajo, se pueda tender, conformar y compactar o acomodar el material.

G.3.1.2. En caso de material compactable, éste se preparará hasta alcanzar el contenido de agua de compactación que indique el proyecto o apruebe la Secretaría y obtener homogeneidad en granulometría y humedad, extendiéndolo parcialmente e incorporándole el agua necesaria para la compactación, por medio de riegos y mezclados sucesivos, o eliminando el agua excedente.

G.3.1.3. Siempre que la topografía del terreno lo permita el material se extenderá en capas sucesivas sensiblemente horizontales en todo el ancho de la sección.

G.3.1.4. Si así lo indica el proyecto o aprueba la Secretaría, cuando la topografía del terreno presente lugares inaccesibles donde no sea posible la construcción por capas compactadas o acomodadas, utilizando equipo mayor, dichos lugares se rellenarán a volteo para formar una plantilla en la que se pueda operar el equipo, prosiguiendo la construcción por capas compactadas de ese nivel en adelante. El nivel de la plantilla será el que indique el proyecto o apruebe la Secretaría.

G.3.1.5. Cuando el nivel de desplante coincida sensiblemente con el nivel freático, se evitará desplantar el terraplén directamente sobre la superficie saturada, procediendo al abatimiento del nivel freático o a colocar una primer capa a volteo de espesor suficiente para que soporte al equipo, según lo indique el proyecto o apruebe la Secretaría.

G.3.1.6. Cuando el proyecto o la Secretaría indiquen que se deba asegurar la compactación de los hombros de los terraplenes, éstos se construirán con una sección más ancha que la teórica de proyecto, respetando la inclinación de los taludes señalada en el proyecto, como se muestra en la Figura 1 de esta Norma, obteniéndose así los sobrecanchos laterales, con las dimensiones indicadas en el proyecto o aprobadas por la Secretaría, en los cuales la compactación podrá ser menor que la fijada.

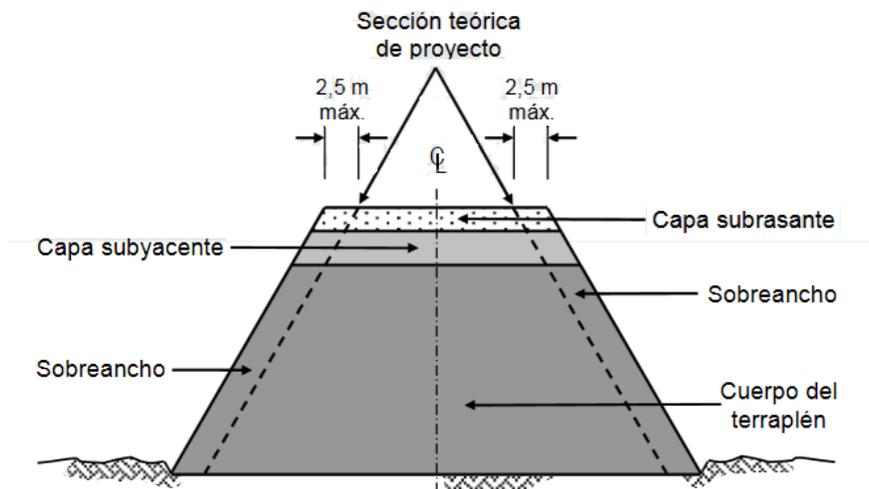


FIGURA 1.- Sección transversal de un terraplén

G.3.1.7. A menos que el proyecto indique otra cosa o así lo apruebe la Secretaría, como parte final del terraplén se construirá la capa subyacente y, por último, la capa subrasante, como se muestra en la Figura 1 de esta Norma, con los espesores, materiales y grados de compactación que establezca el proyecto o apruebe la Secretaría.

G.3.1.8. Cuando el proyecto o la Secretaría indiquen que la construcción de la capa subrasante se ejecute directamente bajo el nivel del piso de un corte y los materiales en ese sitio satisfacen las características establecidas como se indica en la Fracción D.1. de esta Norma, dicha capa se formará sin necesidad de una excavación adicional, escarificando y compactando la cama del corte, con el espesor y grado de compactación que establezca el proyecto o apruebe la Secretaría.

G.3.2. Tendido y conformación de material compactable

G.3.2.1. Para el cuerpo del terraplén, la capa subyacente y la capa subrasante, el material compactable se extenderá en todo el ancho del terraplén, en capas sucesivas, con un espesor no mayor que aquel que el equipo sea capaz de compactar al grado indicado en el proyecto o aprobado por la Secretaría, como se indica en el Inciso G.4.1. de esta Norma, y se conformará de tal manera que se obtenga una capa de material sin compactar de espesor uniforme.

G.3.2.2. Para la ampliación de las coronas o el tendido de los taludes de terraplenes existentes y previamente excavados los escalones de liga en los taludes, de acuerdo con lo indicado en la Norma N-CTR-CAR-1-01-004, Escalones de Liga, el material compactable se extenderá en todo el ancho de la ampliación y se conformará como se indica en el Párrafo anterior.

G.3.2.3. Cuando el proyecto o la Secretaría indiquen que se ejecute una excavación adicional abajo del nivel del piso de un corte, para alojar la capa subrasante, ésta se formará extendiendo el material en todo el ancho de la excavación y conformándolo, como se indica en el Párrafo G.3.2.1. de esta Norma.

G.3.3. Tendido y conformación con material no compactable

G.3.3.1. A menos que el proyecto indique otra cosa o así lo apruebe la Secretaría, el material no compactable para el cuerpo del terraplén, se humedecerá y se extenderá en todo el ancho del terraplén, en capas sucesivas, con el espesor mínimo que permita el tamaño máximo de las partículas del material; se conformará de tal manera que se obtenga una capa con superficie sensiblemente horizontal y se acomodará como se indica en el Inciso G.4.2. de esta Norma.

G.3.3.2. Para las ampliaciones de la corona o el tendido de taludes de terraplenes existentes y previamente excavados los escalones de liga en los taludes, de acuerdo con lo indicado en la Norma N-CTR-CAR-1-01-004, Escalones de Liga, el material no compactable se humedecerá y colocará a volteo en todo el ancho de la ampliación.

G.3.3.3. A menos que el proyecto indique otra cosa o así lo apruebe la Secretaría, el material no compactable se colocará hasta el nivel de desplante de la capa subyacente, misma que se extenderá y conformará según lo indicado en el Inciso G.3.2. de esta Norma.”

3.2.4. Compactación o acomodo

En la antigüedad los terraplenes se solían construir de una sola vez en toda su altura, mediante el vaciado directo de los camiones de volteo, no se hacían intentos por controlar el porcentaje de humedad ni para asegurar la consolidación del material, lo que ocasionaba que estos factores variaran mucho de un lugar a otro: esto originaba asentamientos diferenciales y esponjamientos diferenciales en zonas adyacentes del camino.

Durante los años 30 se empezaron a implementar técnicas en las que los terraplenes se construían por capas delgadas y compactadas, a contenidos óptimos de humedad, lo que ayudaba a tener menores asentamientos.

A partir de la segunda guerra mundial estas técnicas han sido sometidas a diferentes cambios; sin embargo el propósito de la compactación ha sido siempre el mismo, que los suelos se compacten por apisonamiento a porcentajes óptimos de humedad, para alcanzar el porcentaje de densidad máxima y así obtener ciertas ventajas: como el incremento de la resistencia al corte o estabilidad del suelo, la disminución de su permeabilidad y la minimización del asentamiento futuro del terraplén en sí mismo.

La selección de la maquinaria y procedimientos para la compactación depende en gran medida de las especificaciones de la capa en la que se vaya a trabajar y del tipo de material.

Hoy en día generalmente se usan los mismos procedimientos tanto en el cuerpo del terraplén, la capa subyacente y la capa subrasante. Lo primero que hay que hacer es utilizar el compactador “pata de cabra” para formar y consolidar cada una de las subcapas, y posteriormente afinarlas a través de compactadores cilíndricos vibratorios; todo esto se hace mientras que, con la ayuda de pipas, se agrega agua al material a fin de tener el porcentaje de humedad óptimo para alcanzar la compactación del proyecto.

Con respecto al acomodo, como habíamos visto antes, se hace en material “no compactable”. Recordemos que sólo se puede utilizar este material en el cuerpo del terraplén y con ayuda de un tractor de oruga de 36.7 t, se pasa tres veces por cada punto de la superficie de esta capa, con movimientos en zigzag, con la finalidad de tener un buen acomodo del material; esto con la previa aplicación de un riego, a razón de 150 L/m³.

A continuación presentaremos imágenes de trabajos de compactación con los diferentes equipos, en las diferentes capas del terraplén:

- Compactación del cuerpo del terraplén con compactador “pata de cabra”.



Img 58. Compactación de material de terraplén.
Libramiento de Irapuato, km 7+800, DGDC-SCT.



Img 59. Formación y compactación de terraplén. Salamanca-León, km 31+300, DGDC-SCT.

- Compactación y afinamiento del cuerpo del terraplén con rodillo vibratorio.



Img 60. Formación del cuerpo de terraplén.
Libramiento de Irapuato, km 19+200.00, DGDC-SCT.



Img 61. Compactación de terraplén.
Libramiento de Irapuato, Eje 10, entrada San Cristóbal, DGDC-SCT.

- Compactación de la capa subyacente con compactador “pata de cabra”.



Img 62. Formación de capa subyacente. Libramiento de Irapuato, km 18+450, DGDC-SCT.



Img 63. Formación de capa subyacente al 95%.
Libramiento de Irapuato, km 13+800, DGDC-SCT.

- Compactación y afinamiento de la capa subyacente con rodillo vibratorio.



Img 64. Trabajos de formación de la capa subyacente.
Libramiento de Irapuato, km 8+300.00, DGDC-SCT.



Img 65. Compactación de capa subyacente.
Libramiento de Irapuato, km13+300, DGDC-SCT.



Img 66. Compactación de capa de subyacente.
Libramiento de Irapuato, km 8+100, DGDC-SCT.



Img 67. Compactación de capa subyacente al 95%.
Libramiento de Irapuato, km13+900, DGDC-SCT.

- Compactación de la capa subrasante con compactador “pata de cabra”.



Img 68. Compactación del material de capa subrasante.
Libramiento de Irapuato, km 9+700.00, DGDC-SCT.



Img 69. Tendido y compactación de subrasante.
Libramiento de Irapuato, km 10+600, DGDC-SCT.

- Compactación y afinamiento de la capa subrasante con rodillo vibratorio.



Img 70. Compactación de material de capa subrasante en accesos.
Libramiento de Irapuato, Km 12+849.00, DGDC-SCT.



Img 71. Vista del afine de la compactación, capa subrasante, a lo largo del tramo ubicado en el Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 2+300, DGDC-SCT.

La Norma N-CTR-CAR-1-01.009/11 de la SCT nos indica, con respecto a la compactación o acomodo, lo siguiente:

“G.4. COMPACTACIÓN O ACOMODO

G.4.1. Compactación

G.4.1.1. Cada capa de material compactable, tendida y conformada como se indica en el Inciso G.3.2. de esta Norma, se compactará hasta alcanzar el grado indicado en el proyecto o aprobado por la Secretaría.

G.4.1.2. La compactación se hará longitudinalmente, de las orillas hacia el centro en las tangentes y del interior al exterior en las curvas, con un traslape de cuando menos la mitad del ancho del compactador en cada pasada.

G.4.2. Acomodo del material no compactable

G.4.2.1. Cada capa de material no compactable, tendida y conformada como se indica en el Inciso G.3.3. de esta Norma, se acomodará mediante bandeado, ronceando un tractor montado sobre orugas, que tenga una masa mínima de treinta y seis (36) toneladas, de forma que pase cuando menos tres (3) veces por cada sitio. El número de pasadas podrá ser ajustado en la obra y aprobado por la Secretaría, dependiendo del equipo que se utilice.

G.4.2.2. El bandeo se hará longitudinalmente, de las orillas hacia el centro en las tangentes y del interior al exterior en las curvas, con un traslape de cuando menos la mitad del tractor en cada franja bandeada.”

3.3 CORTES

Los *cortes* son excavaciones que se hacen en el terreno natural cuando el nivel de éste se encuentra por encima de la cota de la línea subrasante; en esta actividad se busca rebajar la superficie del terreno natural hasta alcanzar el nivel de desplante de la capa subrasante.

En la Norma N-CTR-CAR-1-01.003/11, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes proporciona una definición más amplia del concepto de *cortes*:

“B. DEFINICIÓN

Los cortes son las excavaciones ejecutadas a cielo abierto en el terreno natural, en ampliación de taludes, en rebajes en la corona de cortes o terraplenes existentes y en derrumbes, con objeto de preparar y formar la sección de la obra, de acuerdo con lo indicado en el proyecto o lo ordenado por la Secretaría.”

La sección transversal de un corte generalmente consta de uno o dos taludes, que inician en su intersección con el terreno natural y bajan hasta alcanzar el nivel de desplante de la subrasante, formando en el fondo una superficie horizontal plana. La inclinación en los taludes va desde 0 en cortes realizados en roca firme, hasta de 2 a 1 en materiales inestables; generalmente la inclinación de los taludes se da con base en la experiencia de los ingenieros especialistas en Geotecnia; sin embargo, de ser preciso, se hacen estudios de mecánica de suelos a fin de recomendar los taludes más convenientes.



Img 72. Vista de corte, en donde se pueden observar dos taludes y la superficie a nivel subrasante. Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 106+360 al km 106+740, DGDC-SCT.

En la misma Norma N-CTR-CAR-1-01.003/11, en donde se proporciona la definición de *cortes*, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes también hace notoria la observación acerca de la responsabilidad que tiene el Contratista de Obra en la selección de la maquinaria y deficiencias que hubiera en la ejecución del proyecto, asimismo no da a conocer las características técnicas para la construcción de estos:

“E. EQUIPO

El equipo que se utilice para la construcción de cortes, será el adecuado para obtener la geometría y selección de los materiales especificados en el proyecto, en cantidad suficiente para producir el volumen establecido en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, conforme al programa de utilización de maquinaria, siendo responsabilidad del Contratista de Obra su selección. Dicho equipo será mantenido en óptimas condiciones de operación durante el tiempo que dure la obra y será operado por personal capacitado. Si en la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, el equipo presenta deficiencias o no produce los resultados esperados, se suspenderá inmediatamente el trabajo en tanto que el Contratista de Obra corrija las deficiencias, lo remplace o sustituya al operador. Los atrasos en el programa de ejecución, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

E.1. BARRENADORAS De operación manual o mecanizada, con la versatilidad suficiente para que se adapten fácilmente al patrón de barrenación.

E.2. TRACTORES Montados sobre orugas, reversibles, con la potencia y capacidad compatibles con el frente de ataque.

E.3. MOTOESCREPAS Autopropulsadas, reversibles y autocargables, con capacidad de ocho coma cuatro (8,4) metros cúbicos (11 yd³) como mínimo.

E.4. CARGADORES FRONTALES Autopropulsados y reversibles, de llantas o sobre orugas, con la potencia y capacidad compatibles con el frente de ataque, para la excavación y carga de los materiales producto del corte.

G.4. CORTES

G.4.1. Los cortes se ejecutarán de acuerdo con las líneas de proyecto y sin alterar las áreas fuera de los límites de la construcción, indicados por las líneas de ceros en el proyecto o aprobadas por la Secretaría.

G.4.2. Los cortes se ejecutarán de manera que se permita el drenaje natural del corte.

G.4.3. Los cortes se ejecutarán con el talud establecido en el proyecto o aprobado por la Secretaría. En caso de que los materiales de los taludes resulten fragmentados o la superficie irregular o inestable, el material en estas condiciones será removido.

G.4.4. Cuando se requiera el uso de explosivos, se evitará aflojar el material de los taludes más allá de la superficie teórica establecida en el proyecto o aprobada por la Secretaría.

G.4.5. Si así lo indica el proyecto o lo ordena la Secretaría, los materiales producto del corte se utilizarán para construir terraplenes o arroparlos reduciendo la inclinación de sus taludes. Los materiales provenientes de derrumbes o deslizamientos recientes se retirarán del sitio de los trabajos para aprovecharse en el abatimiento de taludes o se depositarán, al igual que el material sobrante de los cortes, en el sitio y forma que indique el proyecto o apruebe la Secretaría, para evitar alteraciones al paisaje, a cuerpos de agua y favorecer el desarrollo de vegetación, así como para no obstaculizar el drenaje natural.

G.4.6. Las cunetas se construirán de forma que su desagüe no cause perjuicio a los cortes ni a los terraplenes, considerando lo señalado en la Norma N-CTR-CAR-1-03-003, Cunetas. G.4.7. Al menos que el proyecto indique otra cosa o así lo apruebe la Secretaría, las contracunetas se harán antes o simultáneamente con los cortes, considerando lo señalado en la Norma N-CTR-CAR-1-03-004, Contracunetas. G.4.8. Los daños originados por derrumbes, deslizamientos, agrietamiento y oquedades, entre otros, causados por negligencia del Contratista de Obra, serán reparados por su cuenta y costo, a satisfacción de la Secretaría.



Img 73. Vista panorámica de corte. Cuacnopalan-Oaxaca, km 96+000, fotografía: J. C. Mendoza Jiménez.

3.3.1 Trabajos previos

Antes de empezar el corte es indispensable que los trabajos de desmonte y despalme estén totalmente concluidos, tal y como se describió en el capítulo 2 de esta tesis y conforme a la normativa citada en ese mismo capítulo. Una vez terminado el desmonte, con apoyo de ingenieros topógrafos, al igual que el “derecho de vía” y los terraplenes, se delimita la zona de corte mediante estacas en las líneas de ceros, de acuerdo con lo indicado en el proyecto.

3.3.2 Excavación de cortes

Para realizar un corte existen distintas técnicas, éstas generalmente dependen del tipo de material que se encuentre en el lugar donde se va a realizar el corte.

El material encontrado en un corte generalmente se clasifica en: roca firme, roca suelta o suelos blandos.

3.3.2.1 Cortes en roca firme

La *roca firme* casi siempre debe ser perforada y volada por medio de explosivos, y posteriormente cargada en camiones, con ayuda de excavadoras, que llevarán este material ya sea para la formación de un terraplén, o a un sitio cercano autorizado para tirar material de “desperdicio”.



Img 74. Carga y acarreo de material producto de corte.
Salamanca-León, km 15+500, DGDC-SCT.

Pasos a seguir para la realización de una voladura:

PASO 1. Con la ayuda de máquinas barrenadoras, se hacen varias perforaciones cilíndricas en la superficie del macizo a volar, llamadas barrenos, estos tendrán una distribución y un ángulo de inclinación previamente diseñados, con el fin de producir el arranque, fragmentación y desplazamiento de parte del macizo rocoso.



Img 75. Barrenación para colocación de explosivos.
Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 26+680, DGDC-SCT.



Img 76. Barrenación para la excavación en corte.
Salamanca-León, km 15+880, DGDC-SCT



Img 77. Operación del equipo de barrenación.



Img 78. Barreno terminado, listo para la colocación de los explosivos.

PASO 2. Una vez listos los barrenos, los especialistas en explosivos retacan las perforaciones con la cantidad de material explosivo necesaria para realizar la voladura. La cantidad de explosivos depende de la dureza del material.



Img 79. Explosivos colocados en sus perforaciones para el corte.
Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 34+240 al km 34+660, DGDC-SCT.



Fig. 80 Voladura con explosivos, <http://dialogosconlaciencia.blogspot.mx/>

PASO 3. Posterior a la voladura, el material es cargado en camiones por excavadoras, que lo retiran del sitio para llevarlo al lugar dispuesto para recibirlo.



Img 81. Extracción de material de corte, después de la voladura.
Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 82+400, DGDC-SCT.

PASO 4. Por último, después de retirar todo el material, se afinan los taludes del corte.



Img 82. Obreros escombrando y afinando el corte.
Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 117+900, lado derecho, DGDC-SCT.

3.3.2.2 *Cortes en roca suelta*

Para realizar cortes en roca suelta generalmente se utilizan tractores equipados con grandes escarificadores, los cuales aflojan y rompen la roca completamente.



Img 83. Excavación en corte. Salamanca-León, km 15+800, DGDC-SCT.

También se pueden usar excavadoras equipadas con rotomartillos para aflojar y romper el material.



Img 84. Excavación en corte.
Salamanca-León, km 18+000, DGDC-SCT.

Por último, el material es cargado en camiones para su disposición final, ya sea para la construcción de un terraplén, o como “desperdicio”.



Img 85. Acarreo de material, producto de corte.
Salamanca-León, km 16+410, DGDC-SCT.



Img 86. Acarreo de material producto de corte.
Salamanca-León, km 15+000, DGDC-SCT.

3.3.2.3 Cortes en suelos blandos

Los *cortes en suelos blandos* generalmente se hacen con la ayuda de excavadoras, las cuales extraen el material y lo cargan directamente en los camiones para su disposición final. También se pueden utilizar bulldozers, que van desbastando el material con sus *rippers* y acumulando el material para su posterior carga.

A continuación se muestran imágenes de los dos procedimientos:

- Formación de corte en suelos blandos con ayuda de excavadoras.



Img 87. Inicio de trabajos en corte, con ayuda de excavadoras.
Salamanca-León, km 7+000.00, DGDC-SCT.



Img 88. Excavación en corte al 50% de avance, aproximadamente.
Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 71+400, DGDC-SCT.



Img 89. Trabajos finales en corte.
Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 35+350, DGDC-SCT.

- **Formación de corte en suelos blandos con ayuda de bulldozers.**



Img 90. Trabajos de corte utilizando bulldozers.
Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 626+300, DGDC-SCT.



Img 91. Carga y acarreo de material de corte en suelo blando, realizado con bulldozers.
Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 626+260, DGDC-SCT.

3.3.3 Capa subrasante en cortes

La *capa subrasante* es la única que se coloca tanto en terraplenes como en cortes. Las especificaciones técnicas son las mismas tal y como ya observamos cuando describimos la calidad de los materiales de los terraplenes en el apartado 3.2 de esta tesis. Es de suma importancia evitar que las imperfecciones de los cortes se transmitan o contaminen el pavimento.

Los procedimientos de construcción de la subrasante en cortes son prácticamente los mismos que se utilizan para construir esta capa durante la formación de los terraplenes.

Primero el material se tiende y conforma con la ayuda de tractores, de motoescrepas, de camiones y de motoconformadoras, para posteriormente ser consolidado con compactadores “pata de cabra” y finalmente ser afinado con rodillos vibratorios.

En ocasiones el material resultante del corte es adecuado para formar la capa subrasante, lo que ahorra el acarreo de material de otro sitio; cuando esto sucede se escarifica 15 cm del material, se humedece y se compacta, según lo marcan las especificaciones para la capa subrasante.



Img 92. Formación de subrasante. Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 111+900 al km 111+400, lado izquierdo, DGDC-SCT.



Img 93. Tendido de capa subrasante en corte.
Salamanca-León, km16+600, DGDC-SCT.



Img 94. Compactación de capa subrasante en corte.
Salamanca-León, km 16+600, DGDC-SCT.

4. OBRAS DE DRENAJE

El agua es sin duda uno de los elementos de la naturaleza que más pueden llegar a afectar una carretera ya que ésta disminuye la resistencia de los suelos, y ello puede llegar a provocar fallas, tanto en terraplenes como en cortes.

Por lo anterior resulta indispensable alejar lo más pronto posible el agua de la carretera y es para esto que sirven las *obras de drenaje*.

En una carretera al drenaje se le puede definir como el conjunto de obras que captan, conducen y alejan el agua de ésta, a fin de evitar que sufra daños.

Cuando llueve el agua toma diversos caminos, una parte escurre por la superficie, otra se infiltra en el subsuelo y otra parte se evapora.

El agua que escurre superficialmente debe ser canalizada en forma adecuada, para posteriormente ser conducida y alejada de la obra. Por lo anterior debe tenerse en cuenta cómo se afectan los escurrimientos naturales y con ello provocar problemas de erosiones e inundaciones, pues se alteran las características de las cuencas.

Con respecto al agua que escurre de forma subterránea, es necesario cortar su flujo o profundizar el nivel freático, pues al infiltrarse ésta en el subsuelo puede llegar a aflojar los taludes y la cama del camino, lo que provocaría problemas de inestabilidad.

Por todo lo anterior, cuando se va a construir una carretera es necesario tener bien ubicados los posibles caminos del agua pues, con base en esos datos, se determinan las obras de drenaje.

Las *obras de drenaje* se clasifican en dos tipos: *superficial* y *subterráneo*.

- **Drenaje superficial.** Este a su vez se divide en longitudinal y transversal, según la posición que guarden con respecto al eje del camino.
 - *Drenaje longitudinal.* Es el que capta los escurrimientos, a fin de evitar que lleguen o permanezcan en el camino.
 - *Drenaje transversal.* Es el que permite el paso del agua de un lado a otro de la carretera. A su vez este drenaje se subdivide en “mayor” y “menor”, dependiendo de la dimensión de su claro. Se considera mayor cuando el claro es superior a los 6 m. Las *obras de drenaje mayor* son los “puentes” y las *de drenaje menor* las “alcantarillas”.
- **Drenaje subterráneo.** En el *drenaje subterráneo* también encontramos tanto elementos longitudinales como transversales.

4.1 DRENAJE SUPERFICIAL

4.1.1 Drenaje superficial longitudinal

4.1.1.1 Cunetas

“Las cunetas son zanjas que se construyen adyacentes a los hombros de la corona en uno o en ambos lados, con el objeto de interceptar el agua que escurre sobre la superficie de la corona, de los taludes de los cortes, o del terreno contiguo, conduciéndola a un sitio donde no haga daño a la carretera o a terceros.” N-CTR-CAR-1-03-003/00.

Generalmente las *cunetas* se colocan en secciones de corte, por lo que éstas se empiezan a construir una vez concluida la excavación. Las *cunetas* con sección triangular son las que más suelen fabricarse, ya que son las que menos molestias causan a los usuarios en caso de caer en ellas, además su mantenimiento es muy sencillo.



Img 95. *Cunetas*. Libramiento de Irapuato, lado derecho, km 15+700.00, DGDC-SCT.

La construcción de las *cunetas* es simple, primero se excava la zanja según las secciones, niveles y alineaciones determinados en el proyecto; posteriormente, una vez que el material de las zanjas está debidamente conformado y compactado, las *cunetas* son revestidas; generalmente el *revestimiento* se hace con concreto hidráulico, aunque puede llegar a usarse alguna mezcla de suelo-cemento.

El revestimiento de las zanjas con concreto hidráulico se hace mediante el colado de losas de 1 m de longitud. El colado de estas losas debe ser alternado según marca la normativa de la SCT, como se aprecia en la *Img 97*. El colado de las losas se hace alternado para que se forme una junta fría entre ellas y así funcionen como elementos independientes, lo que le da flexibilidad a la cuneta.

A continuación se presenta una secuencia de imágenes de la colocación del revestimiento en *cunetas*.



Img 96. Colocación de cimbra para colado de *cunetas*.
Libramiento de Irapuato, km 15+100, DGDC-SCT.



Img 97. Colado intercalado de *cunetas*.
Libramiento de Irapuato, km 13+750 DGDC-SCT.



Img 98. Descimbre de primer colado de losas.
Libramiento de Irapuato, km 16+000, DGDC-SCT.



Img 99. Segundo colado alternado de losas y cierre del revestimiento de la *cuneta*.
Libramiento de Irapuato, km 17+380, DGDC-SCT.

Como se puede observar en las imágenes, la sección más común en *cunetas* es la triangular y las dimensiones más comunes son de 33 cm de profundidad X 1 m de ancho. Es recomendable que las *cunetas* no tengan una longitud mayor a 250 m; si esto llegara a ocurrir, se recomienda construir obras de alivio que permitan reducir la longitud a captar.

4.1.1.2 *Contracunetas*

“Las contracunetas son zanjas o bordos que se construyen en las laderas localizadas aguas arriba de los taludes de los cortes, con el objeto de interceptar el agua que escurre sobre la superficie del terreno natural, conduciéndola a una cañada inmediata o a una parte baja del terreno, para evitar el saturamiento hidráulico de la cuneta y el deslave o erosión del corte. Según indique el proyecto o la Secretaría, las zanjas pueden estar recubiertas o no y los bordos pueden ser de tierra, concreto o suelo-cemento.” N-CTR-CAR-1-03-004/00

La sección de las *contracunetas* en zanja generalmente tiene un diseño trapezoidal y tiene una dimensión aproximada de 80 cm de platilla X 50 cm de altura. La distancia al borde del corte debe ser como mínimo de 5 m y debe contar con una pendiente constante desde su inicio hasta su desfogue; estas dos últimas características también se aplican en el caso de los bordos.



Img 100. *Contracuneta* en zanja. Cuacnopalan-Oaxaca, km 109+000, fotografía: J. C. Mendoza Jiménez.



Img 101. *Contracuneta* en zanja. Cuacnopalan-Oaxaca, km 110+000, fotografía: J. C. Mendoza Jiménez.



Img 102. *Contracuneta* en bordo. Cuacnopalan-Oaxaca, km 111+000, fotografía: J. C. Mendoza Jiménez.

4.1.1.3 Canales de encauzamiento

En terrenos planos, donde no existen causas definidos, pero sí existen escurrimientos torrenciales, es necesario construir *canales* que intercepten el agua antes de que llegue a la carretera, y la lleven a algún sitio donde se construya una obra de captación para su posterior desalojo, lejos de la carretera.

La construcción de los *canales* se realiza a la par de la construcción de las terracerías. Las dimensiones de los canales varían según el volumen de escurrimiento de cada sitio. El material se extrae con la ayuda de excavadoras o retroexcavadoras, según la dimensión del mismo; si el material, producto de estas excavaciones, tiene la calidad adecuada se utiliza para la formación de terraplenes.



Img 103. Excavación de material de corte, para formación de *canal lateral* de desagüe.
Libramiento de Irapuato, km 18+300, DGDC-SCT.

Con relación al revestimiento de los *canales*, la normativa de la SCT indica que éste puede ser elaborado de mampostería, suelo-cemento, concreto hidráulico, concreto lanzado, concreto asfáltico, especies vegetales o mayas vegetales o geosintéticas, a fin de protegerlo de la erosión.



Img 104. Excavación de canal.
Libramiento de Irapuato, lado izquierdo, km 17+880.00, DGDC-SCT.



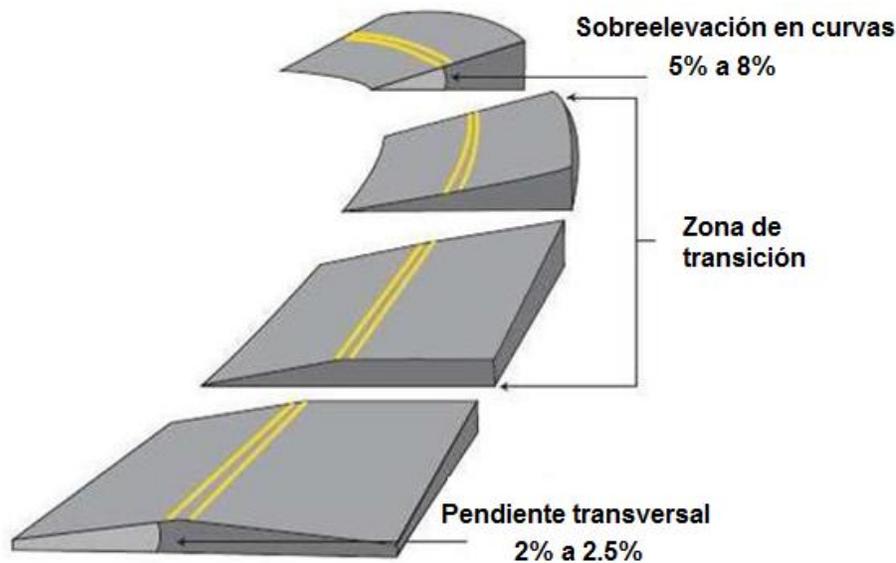
Img 105. Construcción del canal de mampostería.
Libramiento de Irapuato, lado izquierdo, km 17+880 DGDC-SCT.

4.1.1.4 Bombeo

Se llama *bombeo* a la pendiente transversal que se le proporciona la corona del camino. La pendiente va desde el centro del camino hasta los hombros y sirve para dar salida inmediata al agua que cae sobre el pavimento, para evitar encharcamientos y que el líquido penetre en las terracerías.

En las curvas del camino se da una sobreelevación en el hombro externo, a fin de dar salida al agua hacia el hombro interno. A esta sobreelevación se le conoce como “peralte”. La sobreelevación máxima es de 10 por ciento. El peralte ayuda a contrarrestar la fuerza centrífuga en los vehículos.

El *bombeo* y la sobreelevación se dejan al final de las terracerías, en el afinamiento de éstas, justo antes de empezar a colocar las capas del pavimento.



Img. 106. Cortes transversales donde se aprecian las pendientes que se le debe dar al *bombeo*.

4.1.1.5 Bordillos

“Los bordillos son elementos que interceptan y conducen el agua que por el efecto del bombeo corre sobre la corona del camino, descargándola en los lavaderos, para evitar la erosión a los taludes de los terraplenes que estén formados con material erosionable. Los bordillos pueden ser de concreto hidráulico, concreto asfáltico o de suelo-cemento. En todos los casos se consideraran obras provisionales en tanto el talud se vegete y se proteja por sí mismo, o sea protegido mediante otro procedimiento, momento en que deben ser removidos y retirados.” N-CTR-CAR-1-03-004/00



Img 107. Vista del colado de *bordillo*.

Libramiento de Irapuato, lado izquierdo, km 16+540.00, DGDC-SCT.

Con relación a los *bordillos*, la normativa vigente de la SCT hace mención que estos deberán ser colocados en terraplenes, cuya altura sea superior a 1.5 m y se situarán a 20 cm del hombro del camino. Los *bordillos* deberán tener una sección trapezoidal de 16 cm en su base inferior, 8 cm en su base superior y una altura de 12 cm.

Los *bordillos* de concreto hidráulico pueden ser colados en el sitio o prefabricados; cuando los bordillos sean colados en sitio se utilizarán moldes rígidos sobre el terreno natural y se colocarán varillas cada metro, de tal manera que permanezcan

anclados al terreno natural. Si se emplean elementos precolados deberán ser anclados y llevar el debido tratamiento en las juntas, esto según marque el proyecto.

Los *bordillos de concreto asfáltico* pueden ser colados con la ayuda moldes, o con alguna máquina especial de extrusión; cuando se utilizan moldes en sitio estos deben ser colados verticalmente, o con un talud de un tercio a uno, rellenándose con el concreto asfáltico en capas de 6 cm de espesor, ligeramente apisonadas; si se forman por medio del proceso de extrusión el material deberá estar a 130 °C.

Los *bordillos de suelo-cemento* se construyen solamente mediante el proceso de extrusión, cuidando todos los detalles para lograr una consistencia estructural adecuada.

A continuación se muestra una secuencia de imágenes, que muestra la formación de un *bordillo de concreto hidráulico*, generalmente son los más utilizados.



Img 108. Colado de *bordillo de concreto hidráulico*.
Libramiento de Irapuato, lado izquierdo, km 23+300, DGDC-SCT.



Img 109. Colado de *bordillo de concreto hidráulico*.
Libramiento de Irapuato, lado derecho. km 4+100, DGDC-SCT.



Img 110. Colado de *bordillo de concreto hidráulico*.
Libramiento de Irapuato, km 22+000, DGDC-SCT.

4.1.1.6 Lavaderos

“Los lavaderos son canales que conducen y descargan el agua recolectada por los bordillos, cunetas y guarniciones a lugares donde no cause daño a la estructura del pavimento. Los lavaderos pueden ser de mampostería, concreto hidráulico o metálicos. Si se construyen con mampostería o concreto hidráulico, generalmente tienen sección triangular, con el propósito de lograr una depresión en su intersección con el acotamiento, para facilitar la entrada del agua al lavadero.”
N-CTR-CAR-1-03-006/00

La SCT, en la misma norma en que define a los *lavaderos*, indica que estos se construirán sobre el talud y a ambos lados de los terraplenes en tangente, de preferencia en las partes con menor altura; en curvas se colocarán sólo en el talud interno, en su parte más baja; en las curvas verticales, en las partes bajas; en las secciones de corte en donde se haya interceptado un escurridero natural, así como en las salidas de la obras de drenaje que lo requieran. Los lavaderos se construirán cada cincuenta (50) metros.

En los taludes de los cortes los *lavaderos* se ubicarán de tal manera que capten el escurrimiento desde el punto superior y lo conduzcan hasta la parte inferior del corte, descargándolo a una caja amortiguadora ubicada al pie del lavadero y conectada a una cuneta o a una alcantarilla que permita el paso del escurrimiento.

Los *lavaderos* para descargas de cunetas y contracunetas se prolongarán hasta desfogar en el terreno natural o en la alcantarilla más cercana; la sección de *lavadero* en su parte final se ampliará, para admitir la descarga con una menor pendiente.

El fondo de la excavación, en donde se asiente el *lavadero*, estará exento de raíces, piedras salientes, oquedades u otras irregularidades. Previo a la colocación del revestimiento, la superficie por cubrir estará afinada, humedecida y compactada al grado establecido. En los casos en que sea necesario reducir la velocidad del agua en los *lavaderos* revestidos, se construirán escalones con disipadores de energía para retener el agua por un momento y no descargue directamente.

Cuando se utilicen láminas para revestir el *lavadero*, éstas se colocaran siempre de aguas abajo hacia aguas arriba. Las piezas se colocarán de manera que en sus traslapes, el extremo de la lámina a la que le corresponda la parte superior del traslape, quede aguas arriba.

Para la sujeción se construirán anclajes intermedios en los *lavaderos*, con separación entre tres (3) metros y cinco (5) metros, unidos por medio del colado monolítico con acero de refuerzo, o pijas especiales en el caso de láminas.

La unión del *lavadero* con el bordillo se hará en forma de arco, o mediante una transición de cuarenta y cinco (45) grados, con respecto al eje del lavadero y abanicos, en la intersección del lavadero con el acotamiento que tenga pendiente, de manera que se permita encausar el agua rápidamente a la entrada del *lavadero*.



Img 111. Colado de *lavaderos*. Libramiento de Irapuato, km 6+150.00, DGDC-SCT.



Img 112. Lavadero de concreto. Libramiento de Irapuato, km 3+500, DGDC-SCT.



Img 113. Lavadero de lámina corrugada. Cuacnopalan-Oaxaca, km 123+000, fotografía: J. C. Mendoza Jiménez.



Img 114. Lavadero de mampostería. Cuacnopalan-Oaxaca, km 113+000, fotografía: J. C. Mendoza Jiménez.

4.1.2 Drenaje superficial transversal menor

4.1.2.1 Vados

“Los vados son las obras que se construyen en las zonas de cruce del camino con un cauce, para permitir el paso del agua sobre la superficie de rodamiento. Según el régimen de la corriente, los vados pueden ser:”

B.1. VADOS MONOLÍTICOS

“Los vados monolíticos son los que se construyen a nivel del cauce, cuando el arroyo por cruzar tiene escurrimientos sólo durante la temporada de lluvias normales, que producen tirantes de hasta cuarenta (40) centímetros.”

B.2. PUENTES VADO

“Los puentes vado son los que se construyen mediante tubos o cajones de concreto hidráulicos en cauces que presentan un gasto pequeño en forma permanente. Funcionan como alcantarillas conservando seca la superficie de rodamiento hasta el momento en que el gasto excede la capacidad de los tubos, funcionando entonces como vado.” N·CTR·CAR·1·03·008/00

Los accesos a los *vados* se construirán siempre en corte. Se deben construir dentellones para evitar la socavación y destrucción del cuerpo del pavimento, aguas arriba y aguas abajo del cruce del arroyo con el camino; cuando el *vado* se ubique en un terraplén construido con material erosionable, se revestirán los taludes mediante un zampeado. A fin de tener una sección constante en el cruce con el camino, se conformará el cauce en una longitud mínima de cincuenta (50) metros, aguas arriba y aguas abajo del *vado*.



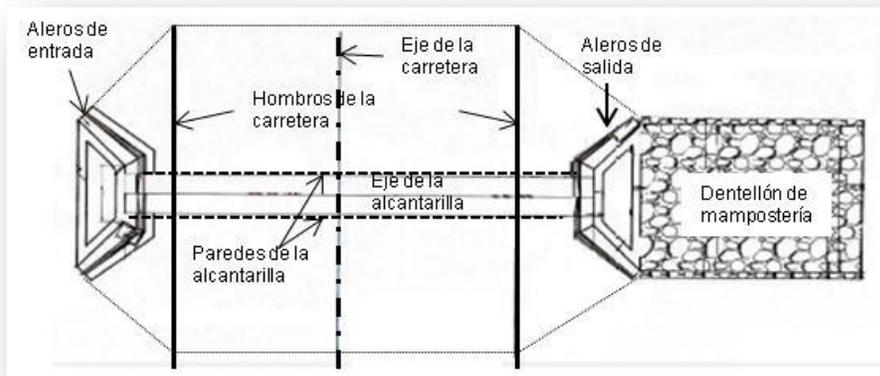
Img 115. *Vado monolítico* en funcionamiento.

4.1.2.2 Alcantarillas

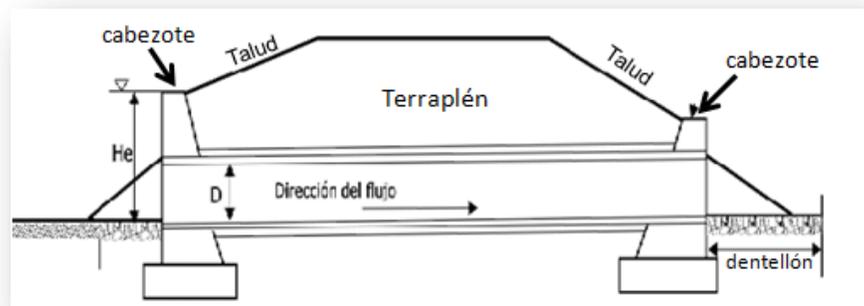
Las *alcantarillas* son estructuras que se encuentran alojadas en el cuerpo de las terracerías y ayudan a que el agua cruce de un lado al otro del camino, con el fin de conducir y desalojar el agua lo más rápidamente posible de las hondonadas y partes bajas de terreno.

Las *alcantarillas* tienen formas diversas y pueden estar hechas de diversos materiales, generalmente se clasifican en: tubos, bóvedas, losas sobre estribos y cajones.

La función de las *alcantarillas* se mejora con la construcción de estructuras de transición, a la entrada y a la salida del conducto; generalmente se colocan aleros, con un ángulo de apertura de 30° , respecto al eje longitudinal de la alcantarilla; excepto en las *alcantarillas* formadas con tubos, donde se coloca un muro plano de cabeza, conocido como cabezote; en todos los casos se construyen a la salida dentellones, a través de zapeado, con el fin de evitar la erosión.



Img 116. Planta de alcantarilla.



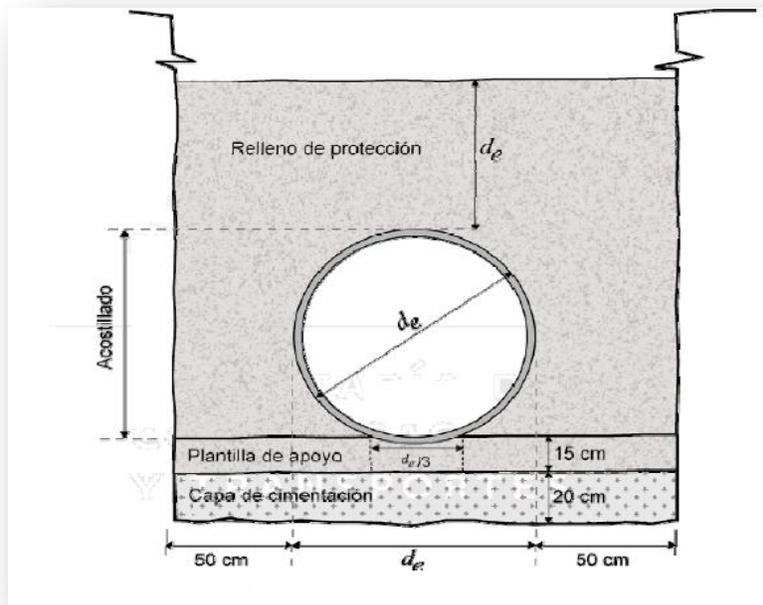
Img 117. Perfil de alcantarilla tubular.

Tomado de: http://dc407.4shared.com/doc/kiMmUaFC/preview_html_371b46f0.gif

A. TUBOS

Este tipo de alcantarillas pueden estar formadas por *tubos de concreto*, por *tubos corrugados de polietileno de alta densidad* o por *tubos corrugados de lámina*.

En ambos casos se requiere que en la excavación se deje una holgura de 50 cm a cada lado de la tubería, para permitir la compactación del material de relleno, hasta una profundidad de 15 cm mayor a la de desplante de los *tubos*, para alojar una plantilla que sirva de apoyo; y de ser material suave, 20 cm adicionales, a fin de formar una capa de cimentación, la compactación del material de relleno se deberá hacer en capas de 15 cm.



Img 118. Rellenos en una excavación, donde se colocan los *tubos*.
Fig. 1 de la norma N-CTR-CAR-1-03-002/00.

Con respecto a los *tubos de concreto*, la SCT contempla la norma N-CTR-CAR-1-03-002/00, y en esta misma proporciona la siguiente definición:

“Las alcantarillas tubulares de concreto son estructuras rígidas, que se construyen mediante tubos de concreto con o sin refuerzo, colocados sobre el terreno en una o varias líneas para dar paso libre al agua de un lado a otro de la vialidad. Según el terreno donde se construyan, pueden ser en zanja, en zanja con terraplén o en terraplén; según su ubicación se clasifican en normal o esviada.”



Img 119. Colocación de *tubo* en obra de drenaje.
Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 117+400, DGDC-SCT.



Img 120. Colocación de *tubos* en la alcantarilla.
Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 4+553, DGDC-SCT.



Img 121. Alcantarilla de *tubo de concreto*. Colocación del acero por temperatura en cabezotes. Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 24+966.63, DGDC-SCT.



Img 122. Trabajos de construcción de alcantarilla de *tubo de concreto*. Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 24+697.28, DGDC-SCT.

Con respecto a la normativa para las alcantarillas formadas con *tubos corrugados de polietileno de alta densidad*, la SCT presenta la norma N-CTR-CAR-1-03-014/09 y proporciona la siguiente definición:

“Las alcantarillas de tubos corrugados de polietileno de alta densidad son estructuras flexibles, que se construyen mediante este tipo de tubos, colocados sobre el terreno en una o varias líneas para dar paso libre al agua de un lado a otro de la vialidad. Según el terreno donde se construyan, pueden ser en zanja, en zanja con terraplén o en terraplén; según su ubicación se clasifican en normal o esviada.”

La colocación de este tipo de *tubos* se realiza utilizando empaques o, bien, por medio de un proceso de termofusión.



Img 123. Maniobras con *tubo de polietileno de alta densidad* para alcantarilla.
<http://www.solostocks.cl/img/polietileno-574401z0.jpg>

La norma N.CTR.CAR.1.03.001/00 de la SCT indica la construcción de *alcantarillas formadas de lámina corrugada*; asimismo menciona que éstas pueden ser formadas mediante *tubos* o arcos y que se pueden clasificar según su geometría: en *tubo circular*, *tubo abovedado o de bóveda*; y, según su ensamble, en anidables, cuando se utilizan ganchos especiales; y, seccionables, si las secciones son atorilladas.



Img 124. Colocación de tubo de lámina para alcantarilla. Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 103+983, hacia San Martín Texmelucan, DGDC-SCT.



Img 125. Trabajos de relleno de obra de drenaje. Libramiento Norte de la Ciudad de México, km.103+887, DGDC-SCT.

B. BÓVEDA

Las alcantarillas en sección de *bóveda* son estructuras cuya sección transversal está formada por tres partes: el piso, dos paredes laterales y un arco en la parte superior.

Las *bóvedas* pueden ser construidas con mampostería o con concreto. Lo primero que se hace es construir una platilla, como base, para posteriormente construir las paredes laterales y por último se construye el techo que en esta sección tiene forma de arco. Para construir el arco se requiere utilizar un molde de madera sobre el cual se coloca el armado y posteriormente se realiza el colado, generalmente con la ayuda de bombas de concreto.

En general, a la entrada y a la salida de la alcantarilla se colocan aleros, que facilitan el flujo del agua; asimismo se construyen dentellones de mampostería, con el fin de evitar la erosión.

Se pueden utilizar láminas corrugadas de acero para formar el arco, cuando nos encontramos con claros grandes.



Img 126. Aspecto general de la colocación de cimbra en la estructura de la *bóveda*.
Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 107+714.77, DGDC-SCT.



Img 127. Habilitado de acero en *bóveda*.
Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 90+020 DGDC-SCT.



Img 128. *Bóveda*: 5.00 m X 4.50 m. Colado de muro 1, trepado 2.
Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 34+775, DGDC-SCT.

C. ALCANTARILLA DE LOSA SOBRE ESTRIBOS

La *losa sobre estribos* son estructuras con sección rectangular, que se forman con la ayuda de dos muros de mampostería, o concreto armado, sobre los cuales se coloca una losa de concreto reforzado; los estribos de mampostería pueden ser cimentados con concreto reforzado cuando la resistencia del terreno es baja; al igual que en las bóvedas también se colocan aleros y dentellones a la salida y a la entrada.



Img 129. Trabajos de construcción de *estribos*.
Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 42+076, DGDC-SCT.

D. ALCANTARILLAS CON SECCIÓN DE CAJÓN

Las *alcantarillas con sección de cajón* están formadas por una sección rectangular con piso, paredes y techo de concreto armado. Esta estructura trabaja como un marco rígido que absorbe el peso y el empuje del terraplén, la carga viva y la reacción del terreno.

La característica de este tipo de estructuras es que tienen losas y muros delgados de poco peso, pero que en conjunto tienen una amplia superficie de sustentación.



Img 130. Plantilla para obra de drenaje.
Libramiento Norte de la Ciudad de México, en km 2+148, DGDC-SCT.



Img 131. Habilitación de acero en la losa, cuerpo izquierdo de la obra de drenaje.
Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 61+020, DGDC-SCT.



Img 132. Armado de aleros en obra de drenaje para su próximo cimbrado y colado.
Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 60+486, DGDC-SCT.



Img 133. Vista del saneo de obra, a base de losa.
Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 69+430, DGDC-SCT.

4.1.3 Drenaje superficial transversal mayor

4.1.3.1 Puentes

El *drenaje superficial transversal* es una estructura que ayuda a que los escurrimientos pasen de un lado a otro de la carretera. En el proyecto de construcción del drenaje, se determina realizar un *punte* en carretera, cuando se requieran librar grandes claros; asimismo cuando a su paso se encuentren ríos y barrancas o, bien, al cruce con alguna otra vía de comunicación, como otra carretera o una vía férrea.

Existe una gran variedad de *puentes*, su diseño generalmente depende del tipo de suelo, del tamaño del claro; del régimen de corriente, en el caso de los ríos, y de los factores económicos.

A pesar de la gran variedad de tipos de *puentes*, los más utilizados en carreteras son los *puentes* sobre vigas; aunque también se pueden encontrar *puentes* atirantados, entre los más comunes.



Img 134. *Puente sobre vigas.* México-Acapulco, fotografía: J. C. Mendoza Jiménez.



Img 135. Puente Calapa, puente sobre vigas. Cuacnopalan-Oaxaca, km 84+000, fotografía: J. C. Mendoza Jiménez.



Img 136. Puente Mezcala, *puente atirantado*. México-Acapulco, km 219+500, fotografía: J. C. Mendoza Jiménez.



Img 137. Puente Baluarte, *puente atirantado*. Durango-Mazatlán, km 157+400.

A continuación se describen, de manera breve, los pasos para la construcción de los *puentes*, que son formados con traveses *asstho* y columnas:

Paso 1. Inicialmente se construyen pilas, que servirán de cimentación para el *punte*.



Img 138. Colado del Pilote 1, de la Pila 2.
Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 1+787.25, DGDC-SCT.

Paso 2. Posteriormente se inicia la construcción de las columnas.



Img 139. Habilitado de acero de columnas para *punte*.
Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 54+888, DGDC-SCT.



Img 140. Colado de columnas.
Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 30+100, DGDC-SCT.



Img 141. Descimbre de columnas de *puente*.
Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 30+119, DGDC-SCT.

Paso 3. Una vez terminada la construcción de las columnas se construyen cabezales sobre los cuales descansarán las traveses.



Img 142. Cabezal de *punte*, colado en pila.
Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 4+298, DGDC-SCT.

Paso 4. Por último se colocan las traveses y se cuela una losa sobre éstas, a fin de dejar el *punte* listo para la colocación de la carpeta asfáltica.



Img 143. Colocación de traveses para formación de *punte*.
Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 85+820, DGDC-SCT.



Img 144. Vista de la colocación de vigas prefabricadas en estructura, Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 64+389, DGDC-SCT.



Img 145. Colado de loza de *punte*. Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 83+492.21, entrada Tulancingo, DGDC-SCT.

4.2 DRENAJE SUBTERRÁNEO

Como se mencionó al inicio del capítulo, la construcción de un *drenaje subterráneo* tiene como fin captar y conducir el agua que se filtra bajo la superficie, a fin de evitar que ésta cause erosiones que puedan aflojar los taludes.

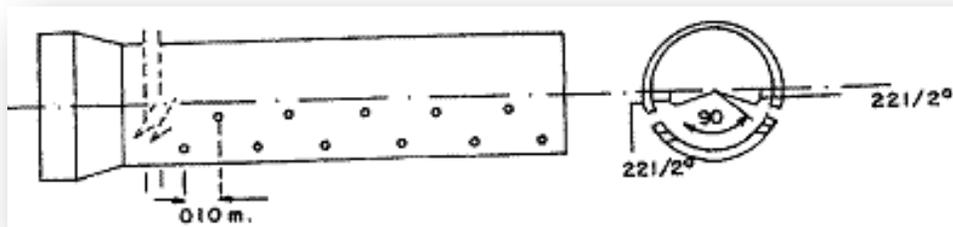
4.2.1 Subdrenes

La Secretaría de Comunicaciones proporciona las especificaciones de los subdrenes en la norma N.CTR.CAR.1.03.009/00, y los define de la siguiente manera:

“los subdrenes consisten en una red colectora de tuberías perforadas o ranuradas, alojadas en zanjas para permitir recolectar el agua subterránea, con objeto de controlarla y retirarla, minimizando su efecto negativo en las capas estructurales del pavimento”

Esta misma norma nos indica que los *subdrenes* se clasifican en: longitudinales, cuando estos se colocan paralelos al eje de la carretera y, transversales, si se construyen perpendicularmente o esviados.

Para la construcción de los *subdrenes* generalmente se utilizan tubos de concreto perforados, que se alojan en las zanjas que se rellenan con material permeable como la grava-arena en greña o, en su defecto, con fragmentos de roca no mayores de 15 cm.



Img 146. Disposición de las perforaciones en tuberías de subdrenaje.
Fig. 4.43, en *Estructuración de vías terrestres*, F. Olivera Bustamante, p 91.

4.2.2 Drenes de penetración transversal

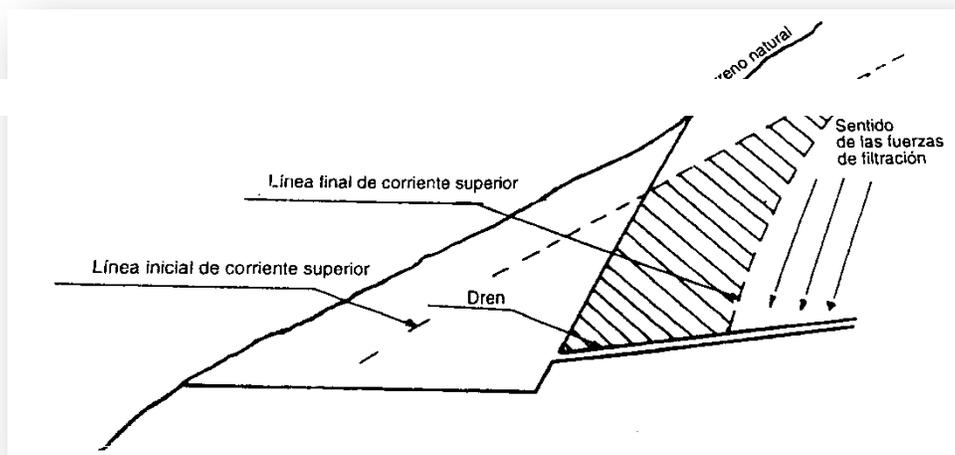
La norma N.CTR.CAR.1.03.012/00 es la que se refiere a los drenes de penetración y los define como:

“Los drenes de penetración transversal constituyen un sistema de subdrenaje que consiste en tuberías horizontales, ranuradas e insertadas transversalmente a los taludes de los cortes o rellenos para aliviar la presión de poro, en la mayor parte de los casos extrayendo agua de los suelos o rocas”



Img 147. Barrenación para la colocación de drenes.
Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 35+400, DGDC-SCT.

En la construcción de *drenes* comúnmente se utilizan tubos de acero de 5 cm de diámetro, perforados lateralmente. Para introducirlos se realizan perforaciones con equipo especial de 10 cm de diámetro y la longitud necesaria para que los tubos crucen las probables superficies de falla.



Img 148. Forma de captación de un dren transversal de talud.
Fig. 4-44, en *Estructuración de vías terrestres*, F. Olivera Bustamante, p 92.

4.2.3 Geodrenes

“Los geodrenes son sistemas de subdrenaje que utilizan geotextiles como filtro para dejar pasar el agua y evitar la migración de finos, minimizando su efecto negativo en la capas estructurales del pavimento; permitir la salida del agua para abatir el nivel freático y prevenir la tubificación o erosión del subsuelo, por lo que están forrados con geotextiles permeables. Estos elementos están integrados generalmente por placas separadoras de plástico prensado, con o sin tubos ranurados para la conducción del agua.” N.CTR.CAR.1-.03.010/00



Img 149. Colocación de geodrenes, a pie de corte.

5. CASOS ESPECIALES

Este capítulo está dedicado a mostrar algunos de los principales procedimientos que se emplean cuando encontramos en la construcción de una carretera alguna condición especial en el terreno, debido a complicaciones climáticas, geológicas, orográficas, o en el “derecho de vía, por lo que en tales casos resulta necesario implementar alguna estructura o elemento específico, a fin de solucionar los *casos especiales*, principalmente *por espacio y por seguridad*.

Los problemas de inseguridad por lo general se presentan con relación a la inestabilidad de taludes, tanto en cortes como en terraplenes; por lo que la mayoría de los elementos o estructuras especiales van enfocados a conseguir dicha estabilización. Entre las técnicas más utilizadas se encuentran: el recubrimiento de taludes, el arroyo, las bermas, el concreto lanzado y los muros de contención.

Otra de las complicaciones más frecuentes que se encuentran es la relacionada con falta de espacio. Para resolver este problema se usan: terraplenes reforzados; la tierra armada es la técnica más empleada; los terraplenes reforzados se utilizan cuando no existe el espacio suficiente para poder darle la inclinación necesaria a los taludes de los terraplenes, ya sea por las condiciones geológicas del sitio o debido a lo reducido del “derecho de vía”.

Los túneles son otra estructura que se utiliza en *casos especiales*, estos se emplean generalmente cuando el trazo del camino exige cruzar algún elemento geológico en el cual no es factible realizar un corte, ya sea por sus dimensiones o por la calidad del material.



Img 150. Complicación por inestabilidad en talud.
México-Acapulco, km 219+200, fotografía: J. C. Mendoza Jiménez.

5.1 ESTABILIDAD DE TALUDES

5.1.1 Recubrimiento de taludes

Según la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, en la norma N.CTR.CAR. 1.01.012/00

“El recubrimiento de taludes es el conjunto de trabajos que tiene el objeto de proteger de la erosión al material que forma los taludes de cortes o terraplenes. Los recubrimientos más comunes son:

- Siembra de especies vegetales
- Mallas vegetales
- Mallas geosintéticas
- Mallas metálicas
- Riego asfáltico
- Zampeado”

La *siembra de especies vegetales* consiste en sembrar directamente sobre el talud plantas apropiadas al clima y condiciones del lugar para que éstas enraícen y se expandan en el talud, a fin de darle estabilidad a éste. Esta técnica generalmente se emplea cuando el talud está constituido por material orgánico.



Img 151. Colocación de césped sobre talud de terraplén.
Libramiento Norte de la Ciudad de México, por lado izquierdo de la troncal, DGDC-SCT.

Las *mallas* se deben colocar en lienzos o tramos adecuados a las dimensiones de talud, siguiendo el contorno de éste. Las *mallas* se deben fijar de tal manera que se evite al máximo su desplazamiento, para su fijación se pueden utilizar: clavos de impacto y anclas largas o cortas, según sea el caso; las *mallas* se deben traslapar de forma adecuada, como se necesite.



Img 152. *Malla vegetal.*



Img 153. *Malla geosintética.*



Img 154. Colocación de *malla* metálica triple torsión en pared de corte.
Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 32+920, DGDC-SCT.



Img. 155. Trabajos de sujeción de *malla* triple torsión en pared de corte.
Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 35+400, lado izquierdo, DGDC-SCT.

El *riego asfáltico* consiste en aplicar sobre el talud una emulsión asfáltica, con el fin de dar cohesión al material del cual está constituido el talud.

El *zampeado* consiste en construir sobre el terraplén una capa que ayude a evitar la erosión del material debido a la intemperie.

5.1.2 Arrope de taludes

El *arrope de taludes* consiste en recubrirlos con material producto de corte, generalmente de los terraplenes, a fin de darle una mayor estabilidad a estos.

Habitualmente este procedimiento se realiza con la ayuda de bulldozers, que empujan y esparcen el material sobre la superficie del talud.



Img 156. *Arrope de taludes* con material, producto de despalme. Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 24+000. DGDC-SCT.



Img 157. *Arrope de material*, producto de despalme. Libramiento Norte de la Ciudad de México, km.4+000, DGDC-SCT.

5.1.3 Bermas

Las *bermas* son escalones que se hacen en los taludes de los cortes y terraplenes, a fin de mejorar su estabilidad. N.CTR.CAR.1.01.017/00.

Las *bermas* en cortes se hacen escalonando los taludes, de acuerdo con las dimensiones requeridas de espacio y estabilidad.

Las *bermas* en terraplenes se forman comenzando el primer escalón por el pie del talud extendiendo y compactando el material hasta alcanzar la estabilidad necesaria para formar el siguiente escalón.



Img. 158. Talud estabilizado con *bermas*.
Autopista Cuacnopalan, Oaxaca, km 96+000, fotografía: J. C. Mendoza Jiménez.



Img 159. Talud estabilizado con *bermas*. Autopista de Bandeirantes, Brasil.

5.1.4 Concreto lanzado

“El concreto lanzado es una mezcla de cemento Portland, agregados pétreos, agua, aditivos y fibras en algunas ocasiones, que mediante la fuerza controlada de aire a presión, a través de una boquilla, se proyecta sobre una superficie a fin de obtener una capa de recubrimiento compacta, homogénea, y resistente, para proteger superficies de roca o suelo contra erosión, proveer soporte temporal o definitivo a una excavación y proteger zonas con alto fracturamiento o alteración”

N.CTR.CAR.1.01.017/00



Img 160. Aplicación de concreto lanzado.
<http://www.cemexmexico.com/Concretos/Lanzado.aspx>



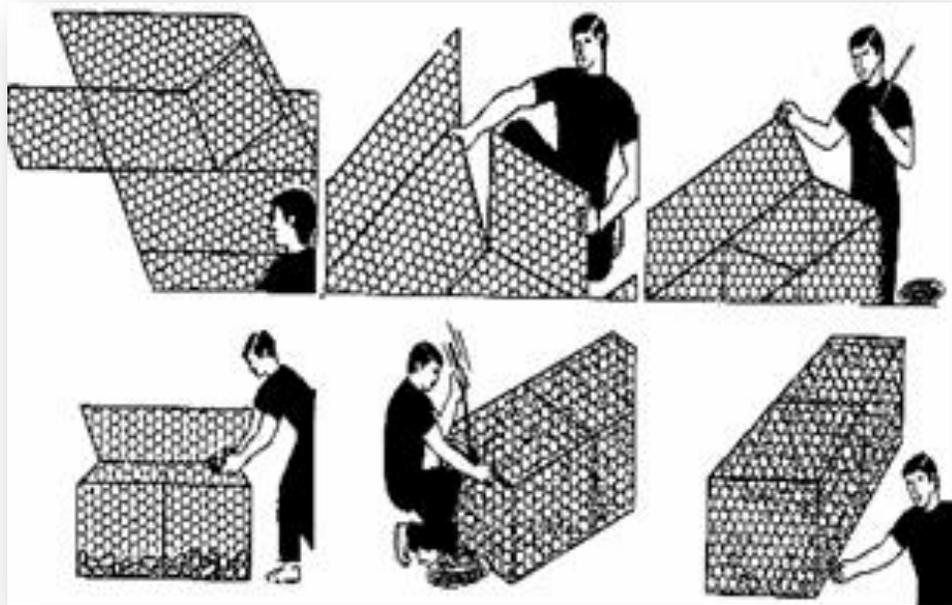
Img 161. Corte estabilizado con concreto lanzado.
Autopista Coacnopalan-Oaxaca, km 95+000, fotografía: J. C. Mendoza Jiménez.

5.1.5 Muros de contención

Los *muros de contención* son estructuras que ayudan a evitar deslizamientos en los taludes, se emplean generalmente cuando se construyen terraplenes muy altos, cuando nos encontramos con algún obstáculo que nos impida desplantar el terraplén en su totalidad, o cuando debemos delimitar claramente el desplante, los muros de contención también se emplean para proteger la carretera cuando tenemos deslizamientos fuertes en los cortes.

Los *muros de contención* pueden ser contruidos de mampostería, concreto armado o de gaviones.

Los gaviones son elementos en forma de prisma rectangular, los cuales se construyen formando una caja de malla triple torsión de acero galvanizado; ésta puede tener varios paneles, generalmente en forma de cubo; posterior a su construcción, la caja se rellena de piedras. Los gaviones pueden fabricarse de diferentes dimensiones, aunque habitualmente se construyen de 1 m de alto X 1 m de profundidad y 2 m ó 3 m de largo.



Img 162. Pasos para la elaboración de gaviones.



Img 163. Muro de gaviones.
Cuacnopalan-Oaxaca, fotografía: J. C. Mendoza Jiménez.



Img 164. Colado del muro de contención.
Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 110+700, lado derecho, DGDC-SCT.



Img 165. Colado de remate del muro de contención.
Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 19+350.00, lado derecho, DGDC-SCT.



Img 166. Muro de contención adicional proyectado, debido a que el desplante del terraplén daba al centro del canal de aguas negras. Libramiento Norte de la Ciudad de México, DGDC-SCT.

5.2 OTROS CASOS

5.2.1 Terraplenes reforzados

Los *terraplenes reforzados* son, según la SCT:

“Estructuras que se construyen con materiales producto de cortes o procedentes de bancos, con el fin de obtener el nivel de la subrasante que indique el proyecto o la Secretaría, adicionándole al cero del terraplén elementos transversales, metálicos, plásticos o de otro material, que le proporcionan al suelo la capacidad de resistir esfuerzos de tensión, permitiendo la obtención de taludes menos tendidos que los que se podrían lograr sin elementos estructurales de contención, formando un muro de contención con el suelo y su esfuerzo”

En las estructuras de *terraplenes reforzados*, como nos indica la norma de la SCT, se pueden utilizar elementos de diferente materiales como placas de concreto o acero, materiales geosintéticos o elementos plásticos; sin embargo, la técnica que más se emplea es la conocida como “tierra armada”.

La “tierra armada” es una técnica donde se confina el terraplén con escamas pre-fabricadas, que son planchas de concreto, las cuales se colocan a uno o ambos lados del terraplén y van sujetándose con flejes de acero o plástico que quedan

confinados en el terraplén, estos flejes quedan sujetos a través de la cohesión del material.



Img 167. Vista de la colocación de escamas en muro mecánicamente estabilizado de "tierra armada", km 0+883.00 Libramiento Norte de la Ciudad de México DGDC-SCT.

Los terraplenes de tierra armada se construyen por nivel, se coloca una fila de escamas, la cual forma una especie de cajón y se rellena con material que se compacta en cuanto se alcanza el nivel de las escamas.



Img 168. Vista general de obra a base de "tierra armada". Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 3+048, DGDC-SCT.



Img 169. Vista de la conformación de relleno de estructura a base de "tierra armada".
Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 53+027. DGDC-SCT.

Una vez compactada la primera capa se coloca un armado de acero y se coloca la siguiente hilera de escamas, y así sucesivamente, hasta alcanzar la altura deseada.



Img 170. Vista de armado en estructura a base de "tierra armada".
Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 3+048, DGDC-SCT.



Img 171. Colocación de muros de “tierra armada”.
Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 118+060,
lado izquierdo de la troncal, DGDC-SCT.



Img 172. Colocación de muros de “tierra armada”. Libramiento Norte
de la Ciudad de México, km 109+100, por lado derecho de la troncal, DGDC-SCT.



Img 173. Muro de “tierra armada” al 100%. Libramiento Norte de la Ciudad de México, km 109+120, por lado derecho, DGDC-SCT.

5.2.2 Túneles

Los *túneles* son estructuras subterráneas que se utilizan para librar obstáculos geológicos y así permitir la continuidad del trazo de la carretera. Los túneles se pueden construir excavando manualmente o con máquinas. Hoy en día los sistemas manuales han entrado en desuso debido al tiempo y los riesgos que esto implica, por lo que actualmente se emplean voladuras con explosivos y métodos mecánicos.

La normativa de la SCT menciona tres métodos diferentes de excavación de *túneles*, así como diferentes técnicas de estabilización. Los métodos de excavación que menciona son con explosivos, con máquinas perforadoras de frente pleno en roca y con escudo en suelos.

“A) Excavación con explosivos. N.CTR.CAR.1.05.01/00

Los túneles excavados con explosivos son aquellas obras que se construyen para permitir la continuidad del tránsito a través de obstáculos, ejecutadas

mediante barrenación y voladuras. Este método está basado en el uso de explosivos para el rompimiento generalmente de roca, en el frente de avance de la excavación.”



Img 174. Máquina barrenadora para la colocación de explosivos en túneles.

B) Excavación con máquinas perforadoras de frente pleno en roca. N.CTR. CAR.1.05.02/00

Los túneles excavados mediante máquinas perforadoras mecánicas de frente pleno, son aquellas obras que se construyen para permitir la continuidad del tránsito a través de obstáculos, ejecutadas mediante máquinas capaces de excavar en toda la superficie del frente de avance. La excavación se realiza mediante la trituración de la roca por acción mecánica de un cabezal giratorio equipado con cortadores de alta resistencia al desgaste y el impulso de sistemas hidráulicos que se apoyan directamente sobre las paredes de la cavidad o, bien, en el sistema de soporte que es colocado por el propio equipo.



Img 175. Máquina excavadora de túneles.

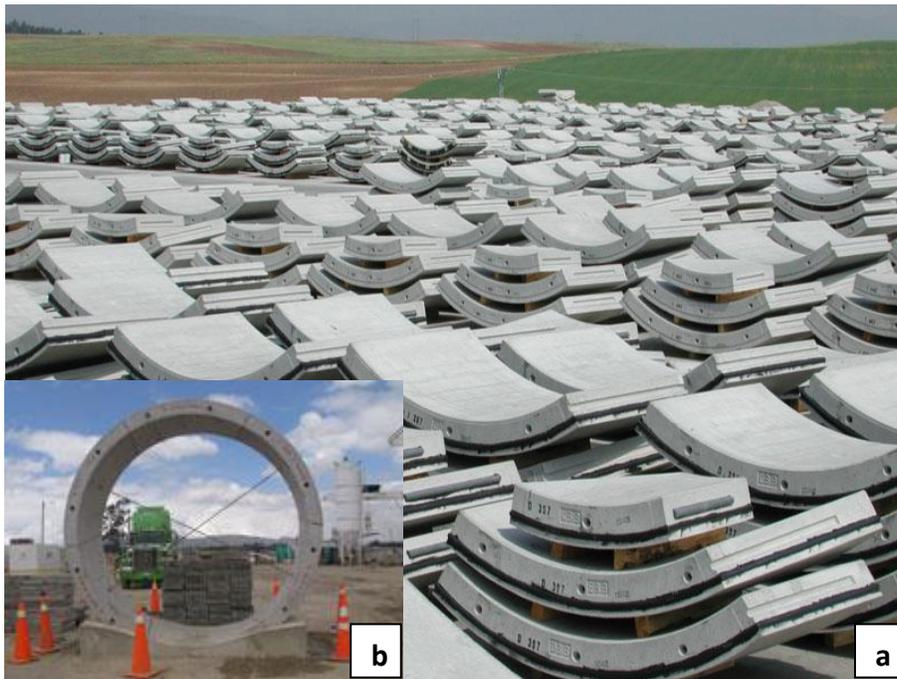
C) Excavación con escudo en suelos. N.CTR.CAR.1.05.03/00

Los túneles excavados mediante escudos son aquellas obras que se construyen para permitir la continuidad del tránsito a través de obstáculos, ejecutados mediante máquinas provistas de una camisa cilíndrica metálica, cuyo propósito fundamental es proporcionar al subsuelo un confinamiento temporal en el intervalo entre las operaciones de corte y de colocación del sistema primario; se utiliza generalmente en terrenos inestables o con tiempo de autosopORTE muy bajo.”

Los escudos son máquinas tuneladoras muy avanzadas, que se utilizan en suelos o rocas blandas, capaces de realizar la excavación y colocar sistemáticamente una estructura que sirve de soporte, a la vez que desalojan el material producto de la excavación. Los escudos realizan la excavación mediante una cabeza giratoria equipada con elementos de corte y accionada por motores hidráulicos; cuentan con una carcasa metálica que sostiene provisionalmente el terreno, desde el frente de avance, hasta algo más allá, de donde se coloca la estructura de soporte definitivo, ésta estructura de soporte normalmente consta de anillos formados por siete dovelas que garantizan la estabilidad del túnel. Para desalojar el material arrancado, los escudos cuentan con una serie de aperturas por donde el material excavado pasa a una cámara situada tras la rueda de corte y desde donde se transporta a presión hacia el exterior.



Img 176. Máquina tuneladora (escudo).
<http://catedu.es/arablogs/repositorio/958/tuneladora2.jpg>



Img 177a. Dovelas que coloca el escudo para formar los anillos, y sirven como estructura de soporte del túnel.

http://eng.prefabricatspujol.com/imagenes/productos/obras_subterranas/dovelas_5.jpg

Img 177b. Ejemplo de uno de los anillos de soporte que se forman con las dovelas.

<http://www.asocreto.org.co/noticreto/JPG/edicion103/JPEG/prefabricacion.jpg>

6. CONCLUSIONES

La bibliografía referente a la construcción de terracerías en carreteras es escasa y el tema se aborda de manera muy general, en ella, no se describen ni ejemplifican claramente los procedimientos constructivos que se emplean en dicha actividad, la mayor parte de la bibliografía relacionada con carreteras es referente al diseño del proyecto y a los cálculos necesarios para la cuantificación de los volúmenes de obra, tiempos y costos.

En la normativa de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes se pueden encontrar más detalles acerca de los procedimientos constructivos de terracerías de carreteras, sin embargo es indispensable estar relacionado con el tema previamente para poder interpretar dicha normativa, ya que se hace uso frecuentes de términos técnicos y se dan por conocidos temas, por ejemplo la maquinaria y los elementos que componen una carretera.

Una mejor forma para comprender los procedimientos constructivos de terracerías en carreteras es describiéndolos con la ayuda de imágenes de trabajos reales.

Es importante tener en cuenta que todas las actividades que conllevan la construcción de terracerías de carreteras siempre deben realizarse tomando en cuenta las leyes y normativa vigentes en el lugar.

En este trabajo se logró describir y ejemplificar los procesos constructivos más empleados durante la construcción de las terracerías en una carretera. Para poder ejemplificar los diferentes procedimientos se contó con los reportes de obra de varias carreteras, dichos reportes son de los que entregan las constructoras y las empresas de supervisión a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, los reportes fueron de vital importancia para la realización de este trabajo.

El capítulo 3: Terracerías, se abordó de manera más amplia que el resto de los capítulos, ya que contiene en sí el tema propuesto para este trabajo, sin embargo se debe dejar en claro que a pesar de que se trató de describir y desarrollar lo más extensamente posible, solo se tomaron en cuenta los procedimientos más empleados y se describieron de una manera simple, sin profundizar tanto en los detalles, ya que existen una gran variedad de técnicas las cuales serían muy difíciles de describir en un solo escrito, incluso se requeriría de un documento en específico para cada una de estas técnicas.

Con relación al resto de los capítulos se trataron de una manera más general, siempre buscando que fuesen lo más descriptivos posible, en función de los obje-

tivos que nos planteamos, sin embargo aunque no se profundizó mas allá en éstos, se plantea la necesidad de realizar trabajos escritos específicos para profundizar en cada uno de los temas que se trataron en los capítulos de esta tesis: Generalidades, Preliminares y Drenaje, en el caso del drenaje, como ejemplo se pudiese realizar un escrito completo para cada uno de los elementos que lo componen.

Con la elaboración de esta tesis se comprendió la importancia de tener documentos que aborden en específico el tema de los procedimientos constructivos, no solo durante la etapa de la construcción de las terracerías, sino de todas las etapas que conlleva la construcción de una carretera, así mismo se espera que quien haya leído esta tesis comprenda que se requieren una mayor cantidad de textos que aborden los temas relacionados con construcción de carreteras.

Bibliografía y fuentes de consulta

BIBLIOGRAFÍA

- CRESPO Villalaz, Carlos. Caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos. Ed. Limusa, México 1979.
- GARBER, Nicholas J. y Hoel, Lester A.; Ingeniería de tránsito y de carreteras. Ed. Thomson, 3ra edición, México 2005. Traducción Raúl Arriola y Virgilio González y Pozo.
- JEUFROY, Georges. Proyecto y construcción de carreteras. Tomo I: Vehículos, suelos, cálculo estructural. Editores técnicos asociados S.A. España 1972.
- OGLESBY, Clarkson H. y Hewes, Laurence I. Ingeniería de carreteras: calles, viaductos y pasos a desnivel. Ed. Continental S.A., México 1976. Traducido por el Ing. Pompeyo Flores B.
- OLIVERA Bustamante, Fernando. Estructuración de vías terrestres. Ed. Compañía editorial Continental S.A., 2da edición, México 1996.
- WRIGHT, Paul H. y Paquette, Radnor Joseph. Ingeniería de carreteras. Ed. Limusa, México 1993.

NORMAS Y MANUALES.

- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Normativa para la infraestructura del Transporte. Instituto Mexicano del Transporte, México 2014.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Manual de proyecto geométrico de carreteras. Ed. Reproducciones Montesinos, México 1991, 4ª reimpresión.

REPORTES DE OBRA

- Dirección General de Desarrollo Carretero SCT. Informes Mensuales de obra del Libramiento Norte de la Ciudad de México. PACCSA Ingeniería S.A., periodo 2006 - 2010.
- Dirección General de Desarrollo Carretero SCT. Fotografías aéreas del Libramiento Norte de la Ciudad de México. PACCSA Ingeniería S.A., febrero 2010.
- Dirección General de Desarrollo Carretero SCT. Informes quincenales y mensuales de obra de la Autopista Salamanca- León. Concesionaria de Infraestructura del Bajío., periodo 2012 – 2013.
- Dirección General de Desarrollo Carretero SCT. Informes mensuales de obra del Libramiento de Irapuato. Ingeniería Control y Administración S.A. de C.V., periodo 2008 - 2010.

FUENTES DE INFORMACIÓN ELECTRÓNICAS

- Sitio web de la empresa Caterpillar fabricante de maquinaria para construcción. Consultado del 3 al 21 de febrero de 2014.
<http://mexico.cat.com>
- Block Maquinaria y Construcción. Consultado el 10 y 11 de febrero de 2014
<http://maquinariayconstruccion.blogspot.mx/search/label/Maquinaria%20pesada>
- Sitio web sobre Maquinaria, RitchieWiki Especificaciones del equipo, información y fotos. Consultado el 20 de febrero de 2014.
http://ritchiewiki.com/wiki/index.php/Main_Page
- Diccionario de la Real Academia Española. Consultada de noviembre de 2013 a septiembre de 2014.
http://buscon.rae.es/draeI/SrvltConsulta?TIPO_BUS=3&LEMA=estado
- Enciclopedia electrónica de contenido libre Wikipedia. Consultada de noviembre de 2013 a septiembre de 2014.
<https://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Portada>