

24/4/86



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**"EL PROCESO CONSTRUCTIVO EN CAMINOS"**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO CIVIL**

**P R E S E N T A N :**

**Victor Manuel Calvo Sánchez**

**José Luis Díaz Gutiérrez**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-245

Señores VICTOR MANUEL CALVO SANCHEZ y  
JOSE LUIS DIAZ GUTIERREZ,  
Presentes.

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Rafael Aburto Valdés, para que lo desarrollen como TESIS para su Examen Profesional de la carrera de INGENIERO CIVIL.

"EL PROCESO CONSTRUCTIVO EN CAMINOS"

Introducción.

- I. Estudio topográfico.
- II. Terracerfías.
- III. Estructuras y partes integrantes de los pavimentos.
- IV. Maquinaria y equipo.
- V. Medios de protección.
- VI. Conclusiones.

Ruego a ustedes se sirvan tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, deberán prestar Ser vicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la dis posición de la Coordinación de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, a 9 de septiembre de 1985  
EL DIRECTOR

DR. OCTAVIO A. RASCON CHAVEZ.

ORCH/RCCH/sho.

# I N D I C E

## EL PROCESO CONSTRUCTIVO EN CAMINOS

	PAG.
INTRODUCCION .....	1
I.- ESTUDIO TOPOGRAFICO .....	3
I.1 LOCALIZACION .....	4
I.2 CONFIGURACION DEL EJE DEFINITIVO .....	11
I.3 PROYECTO DE GABINETE .....	16
I.4 CLASIFICACION DE CARRETERAS Y FACTORES QUE DETERMI NAN SU DISEÑO.....	38
I.5 TRAZO DE CURVAS .....	42
I.6 ESPECIFICACIONES GEOMETRICAS DE UN CAMINO .....	89
II.- TERRACERIAS .....	105
II.1 ELEMENTOS DE LA TERRACERIA .....	106
II.2 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LAS TERRACERIAS ....	111
II.3 COMPACTACION DE LAS TERRACERIAS .....	132
II.4 PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD .....	143
III.- ESTRUCTURA Y PARTES INTEGRANTES DE LOS PAVIMENTOS .....	152
III.1 TIPOS Y ESTRUCTURA DE LOS PAVIMENTOS .....	153
III.2 FACTORES PREVIOS AL DISEÑO DE PAVIMENTOS .....	160
III.3 PRUEBAS PRINCIPALES EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS ...	169
III.4 METODOS DE DISEÑO .....	179
III.5 TENDIDO DE CARPETA ASFALTICA .....	216
IV.- MAQUINARIA Y EQUIPO .....	227
IV.1 CLASIFICACION DE LA MAQUINARIA EN CAMINOS .....	228
IV.2 DESCRIPCION DE MAQUINARIA Y EQUIPO PESADO .....	233
IV.3 DESCRIPCION DE MAQUINARIA Y EQUIPO LIGERO .....	275

	PAG.
V.- MEDIOS DE PROTECCION .....	280
V.1 ASPECTOS GENERALES .....	281
V.2 DRENAJE SUPERFICIAL .....	283
V.3 DRENAJE SUBTERRANEO .....	329
VI.- CONCLUSIONES .....	346
BIBLIOGRAFIA .....	350

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

## INTRODUCCION

La necesidad de construir caminos en los últimos años se ha convertido en vital para el desarrollo de las naciones y especialmente para el nuestro. Un país incomunicado difícilmente podría salir adelante en una época en que el progreso científico e industrial, obliga casi materialmente hacer uso de todos los recursos naturales y humanos con que se cuenta.

El hecho en si de comunicar poblaciones alejadas de los centros de educación producción y consumo, entre otros, les proporcionará a estas la oportunidad de participar en la vida económica, política y social que se tiene en el resto del país, en una manera igualitaria.

Una buena planeación y la correcta ejecución de la construcción de un camino redituará a la larga en beneficios para la comunidad o comunidades a que - - este destinado. El proceso para la realización de estos es variable en cuanto a métodos y procedimientos se refiere, pero en general la secuencia de -- construcción es similar en casi todos los aspectos. Deseando que pueda interesar y ser útil sobre todo a aquellos compañeros que inician la Carrera y - - quieran formarse una idea general del trabajo que involucra una obra de esta naturaleza, el presente trabajo ofrece un enfoque panorámico del proceso de - - construcción que se lleva a cabo para el tendido de caminos o si se le quiere llamar carreteras.

Se pretende con esta tesis dar una visión retrospectiva de los aspectos más-

importantes que se deben considerar, al momento de iniciar la el  
aboración de un proyecto constructivo de este género de vías de co  
municación por modestas o simples que sean.

C A P I T U L O I

ESTUDIO TOPOGRAFICO

Cuando se ha determinado la necesidad de la construcción de un camino tomando como base la realización de estudios socioeconómicos, es necesario realizar una serie de trabajos preliminares que correspondan al estudio cualitativo de todas las rutas posibles y convenientes, para poder así seleccionar la que ofrezca las mayores ventajas económicas y sociales. Algunos factores que tienen un efecto determinante en la localización y en la elección de carreteras son los siguientes:

El Estudio Topográfico

El Estudio Geológico

El Estudio Hidrológico

El Estudio de Drenaje

El Uso de la Tierra

Que conjuntamente con los datos de tránsito constituyen la información básica para el proyecto de estas obras.

## I.1.- LOCALIZACIÓN

Una de las principales cuestiones que deben resolverse para que un camino tenga el mejor y más económico acomodo en el terreno y esté debidamente protegido contra la acción destructora del agua que es su peor enemigo, se recurre primero a la localización.

La localización tiene por objeto fijar los puntos obligados dentro de la ruta del camino.

Los puntos obligados son los de referencia, tales como poblaciones; rancherías que tocará el camino; zonas ganaderas, agrícolas o industriales y/o los sitios atractivos para el turismo.

Como puede observarse en la Figura I.1

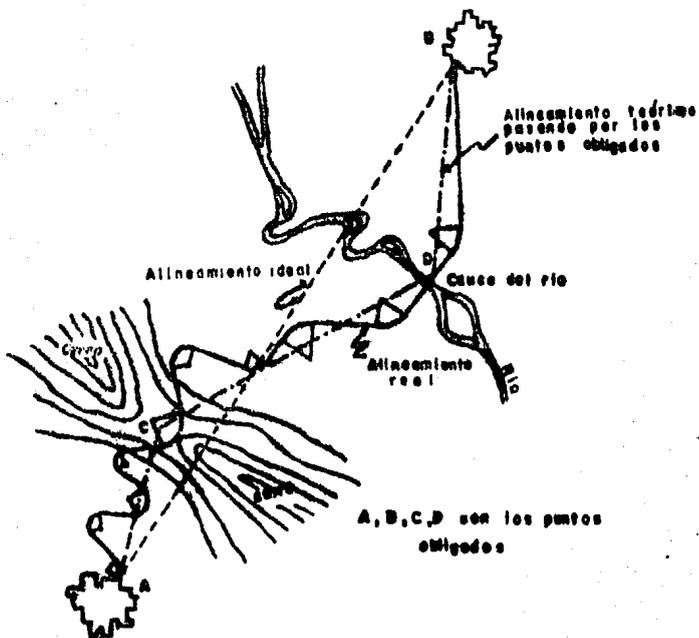


FIG. I.1

El Ingeniero localizador debe de contar con cartas geográficas y geológicas, sobre las cuales se deba formar una idea de las características más importantes de la región, sobre todo en lo que respecta a su topografía, a su hidrología y a la ubicación de las poblaciones. Auxiliándose con las cartas geológicas existentes y -- con mapas que indiquen la potencialidad económica de la región, -- se dibujan sobre ella las rutas que puedan satisfacer el objetivo de comunicación deseada.

Una vez representadas las posibles rutas en los mapas geográficos se inicia propiamente el trabajo de campo con reconocimiento del terreno, los cuales pueden ser Aéreos, Terrestres y una combinación de ambos.

#### RECONOCIMIENTO AEREO

Básicamente consiste en hacer tres reconocimientos en avioneta y helicóptero.

a) El primer reconocimiento se efectúa en avioneta y tiene como objeto de que las rutas viables queden incluidas con amplitud en una área que debe fotografiarse a escala 1:50 000.

Comprobando que la potencialidad de la zona concuerde con la supuesta en los estudios previos, que las poblaciones queden dentro de la zona de influencia de las rutas, además de verificar en el terreno si la ruta marcada en el plano es la correcta, comprobar la clasificación general de las rocas y suelos, la existencia de fallas, ob--

servar la hidrografía de la zona, apreciando tamaños y tipos de cuencas para preveer las dificultades que se pueden presentar en el cruce de las corrientes fluviales.

En caso de que exista diferencia entre el terreno y el mapa con que se cuenta, se deberá buscar la nueva ruta que se ajuste a las condiciones reales del terreno.

b) El segundo reconocimiento se efectúa en helicóptero y . - tiene como objeto comprobar en el terreno lo estudiado en las fotografías a escala 1:50 000 que se obtuvieron en el primer reconoci-miento.

Se comprobará principalmente lo relacionado con los cruces de los - ríos apreciando las características del terreno de cimentación y las condiciones hidráulicas en el lugar del cruce. Además se podrá recabar información sobre el número de habitantes de un poblado, del tipo y número de cultivos de la zona, y en general de todos los aspectos económicos.

Una vez efectuado el reconocimiento, se delimita la zona que deberá cubrirse con fotografías a escala de 1:25 000 las cuales se estudiarán en un aparato llamado Balplex, el que proyecta las fotografías sobre una mesa hasta una escala cinco veces mayor, sobre esta se estudian varias líneas, obteniendo sus secciones y estimando los vold-menes de materiales por mover en cada una, por lo que puede ser un factor determinante en la elección de una de las rutas.

c) El tercer reconocimiento que puede ser aéreo o terrestre es más que nada un refinamiento del estudio que se ha efectuado en el Balplex y se realiza a lo largo de la poligonal en estudio, se estudia el comportamiento de los ríos y de acuerdo con los datos anteriores se fija el lugar donde se debe cruzar.

#### RECONOCIMIENTO TERRESTRE

Esté reconocimiento se hará ya sea a pie, caballo o en un vehículo apropiado; se requiere la observación directa del terreno y sus características. En el reconocimiento se recabarán todos los datos generales de la ruta, que abarcará lo siguiente

RECONOCIMIENTO TERRESTRE	UBICACION
	LONGITUD
	FINALIDAD
	PUNTOS IMPORTANTES QUE TOCA O CRUZA
	ALINEAMIENTO
	PENDIENTE
	CLASE DE TERRENOS ATRAVEZADOS
	DRENAJE
	UBICACION DE BANCOS DE REVESTIMIENTO
VOLUMENES PROBABLES	

Ubicación.- Por ubicación se entenderá el Estado de la República -

en que se encuentra el camino; su rumbo general o el de los tramos que lo componen. Los rumbos se tomarán con brújula de mano.

Longitud.- Se calcularán las distancias aproximadas entre los puntos importantes del camino, realizándose por el método que más convenga.

Finalidad.- En términos generales es el uso que tendrá el camino, ya sean: Agrícolas, Mineros, Industrial, Turístico o de Penetración.

Puntos importantes que toca o cruza.- Se tomará nota de los centros agrícolas, ganaderos, industriales, etc. Así como lugares de interés público o turísticos, miradores, ruinas arqueológicas, etc. con el kilometraje aproximado que les corresponda y precisando su importancia.

Alineamiento.- Se observará el alineamiento que en términos generales tendrá el camino tan explícito como se requiera.

Pendiente.- Es la primera información la cual se anotará, la pendiente gobernadora que se considere pueda tener el camino en su totalidad o en tramos.

Clase de terrenos atravesados.- Debe tomarse nota del tipo de terreno por donde pasará el camino, estimando promedios para los tramos en los cuales no cambie sensiblemente el material. La clasificación

se hará según es costumbre en porcentajes de tierra, roca suelta y roca fija o sus equivalentes en denominación, el total de los tres porcentajes sumara cien. Como se observa en la Tabla 1.1.

TRAMO	CLASIFICACION	OBSERVACIONES
K 0+000-K9+000	100-0-0	TIERRA
K9+000-K12+500	20-40-40	
K12+500-K16+000	0-30-70	LA ROCA ES RIOLITA DURA
K16+000-K28+000	50-50-0	TIERRA Y TEPETATE
K28+000-K33+000	100-0-0	TIERRAS DE CULTIVO

Tabla 1.1

Drenaje.- Se tomará un cálculo aproximado del número de alcantarillas, agrupándolas por su tipo y tamaño: tubos, losas, bóvedas, vados, etc., especificando si son obras definitivas, semidefinitivas o provisionales. Se harán anotaciones respecto a los ríos y a los arroyos de cierta importancia.

Ubicación de bancos de revestimientos.- se localizarán los posibles bancos de revestimientos midiendo o estimando sus distancias al camino. Mencionando siempre la clase de material de revestimiento y su clasificación probable.

Volúmenes probables.- Tomando en consideración los datos que se hayan recabado especialmente por lo que hace a secciones transversales y topografía en general, puede formularse un anteproyecto de volúmenes probables por kilómetro.

## I.2 CONFIGURACIÓN DEL EJE DEFINITIVO

Una vez efectuado el reconocimiento de la ruta, durante el cual se fijaron los puntos obligados, se procederá al proyecto del eje definitivo mediante un levantamiento topográfico, ya sea este convencional o empleando la fotogrametría electrónica.

Para elegir cualquier procedimiento se debe tomar en cuenta algunos factores importantes como:

### 1.- La Vegetación

- 2.- La Configuración Topográfica
- 3.- El Plazo de Ejecución
- 4.- La Accesibilidad a la Zona

METODO CONVENCIONAL.- El trabajo sobre el terreno consiste en ir marcando la línea a seguir entre puntos obligados consecutivos, en la dirección requerida por los lugares más adecuados, cuando el terreno es plano; y para cuando proseguir por esa ruta se encuentran cuestas cuya pendiente es mayor que la permisible habrá necesidad de desarrollar la línea para llegar al punto obligado siguiente, buscando sobre el terreno puntos consecutivos, de tal modo que entre ellos se tenga una pendiente menor o igual a la máxima permisible.

Una vez localizada una serie de puntos que vayan dando la pendiente, necesaria de uno a otro se tendrá, si se les une una línea muy quebrada, que nos marca el camino general que debe de seguirse llamada "LINEA A PELO DE TIERRA". Pero como no es posible trazar una vía de comunicación según esa línea debe entonces configurarse una faja de terreno que tenga como eje esa línea quebrada, aproximadamente, para estudiar después sobre el dibujo el trazo definitivo más conveniente y que siga lo más cerca posible la localización encontrada. Como puede observarse en la figura I.2

Teniendo en forma general el trazo del camino con su respectiva faja de terreno, es necesario obtener planos topográficos.

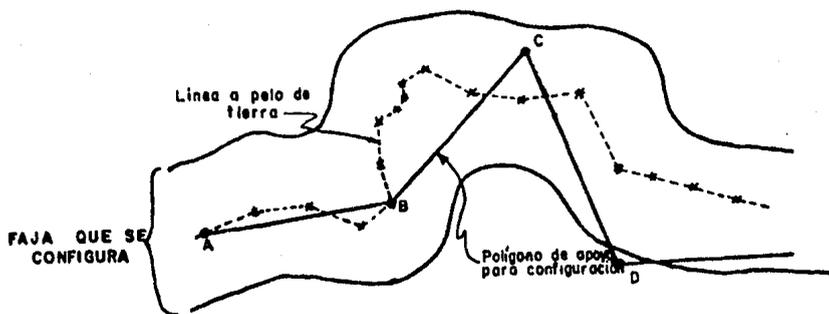


Figura 1.2

Los trabajos de campo necesarios para la elaboración de planos de esa naturaleza consisten en establecer una poligonal de apoyo debidamente marcada con estacas en el terreno a cada 20 metros y en los puntos notables para ir de vértice en vértice. Generalmente se miden los ángulos por el sistema de deflexiones y con el rumbo magnético observado para el primer lado de la poligonal se van calculando los de los siguientes lados; además se realiza una nivelación para la fijación de bancos de nivel a lo largo de la ruta de localización. Esto es con el objeto de obtener la configuración de las secciones transversales del terreno.

Para obtener la configuración del terreno en los caminos, se emplea básicamente el sistema de las secciones transversales; aunque también por medio de la fotogrametría se puede determinar con bastante aproximación. Esto es de gran utilidad para los estudios generales, sin embargo, finalmente es necesario hacer los estudios directos te

restres.

**METODO DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES.**- Este Procedimiento consiste, en términos generales, en trazar uno o más polígonos por los lugares convenientes de la zona a levantar, y después se obtienen los perfiles o secciones del terreno, transversales a los lados -- del polígono cubriendo el área requerida. Las secciones transversales se sacan a cada 20 metros, si el terreno es muy uniformes puede seccionarse a cada 40 o 60 metros como se observa en la figura I-3

Si el Polígono en algunos tramos va por la orilla o por fuera de la faja, las secciones deben tomarse de tal modo que cubran la faja, se seccionará solo de un lado del polígono o según se requiera.

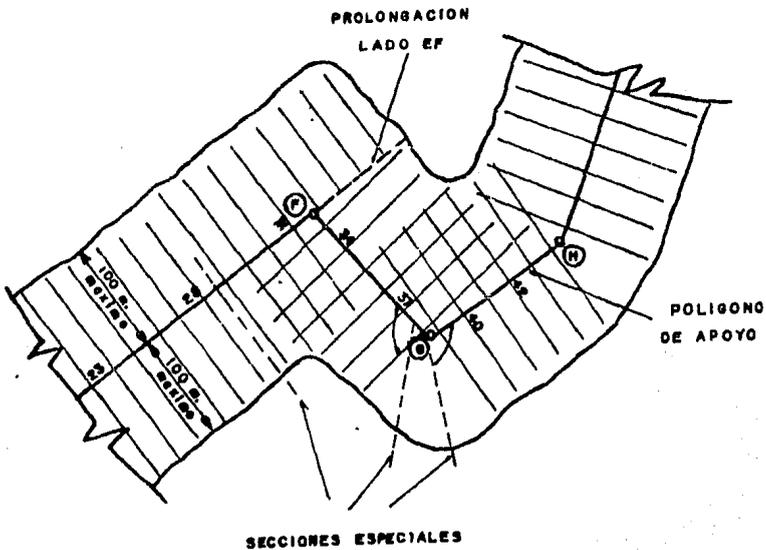


FIG. I.3

En terreno plano de poca pendiente el polígono de apoyo se va trazando de inmediato sobre la ruta escogida, pues no requiere la búsqueda de pendiente para desarrollar la línea.

Al ir trazando con el tránsito se va confirmando que no se sobrepase la pendiente especificada. A este polígono de apoyo de le llama "PRELIMINAR", y debe quedar perfectamente referenciada para poder después localizarla cuando se regrese al terreno a trazar el proyecto estudiando, para su construcción.

Con los datos así levantados, se dibuja la faja configurada con sus curvas de nivel. Obsérvese la figura I. 4

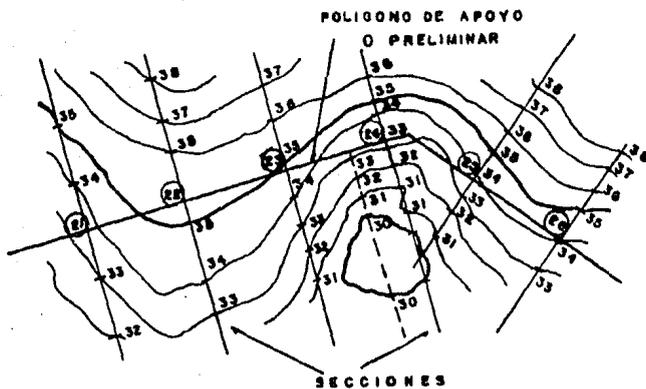


FIG. I. 4

El eje definitivo de la vfa se localizará en el terreno mediante "LIGAS" que se miden en el dibujo al hacer el proyecto; estas ligas son ángulos y distancias entre la preliminar y el eje definitivo.

Con los datos así obtenidos por las brigadas de campo se procede a realizar lo que se llama Proyecto de Gabinete, esto se realiza totalmente sobre el dibujo y comprende lo que se verá en el siguiente subcapítulo.

### I.3 PROYECTO DE GABINETE

El proyecto de gabinete incluye:

- I.- Proyecto en planta del eje de vfa.
- II.- Perfil del eje proyectado.
- III.- Proyecto de la subrasante sobre el perfil.
- IV.- Secciones transversales de construcción.
- V.- Areas en las secciones y cálculo de volúmenes
- VI.- Curva masa del proyecto.

Que construido sobre el dibujo sería como se menciona a continuación.

- I.- Proyecto en planta del eje de la vfa.

Lo que en el terreno puede hacerse con los instrumentos topográficos correspondientes para llevar una línea con una pendiente dada, puede

hacerse en un plano utilizando un compás, preferentemente de puntas secas, conociendo la equidistancia entre curvas de nivel y la pendiente que se desea para el camino, se calcula la abertura del compás, para que al interceptar con sus puntas dos curvas de nivel contiguas, la línea imaginaria que une esos dos puntos tenga la pendiente deseada, como se observa en el siguiente ejemplo:

a) Supongáse que la distancia es un metro y la pendiente con la que se quiere proyectar una línea en una ladera es del 5% ; la separación entre las puntas del compás deberá de ser de 20 metros para que cada vez que se suba o se baje un metro se recorran 20 metros, lo que equivale al 5%.

b) Suponiendo una equidistancia en el plano entre curvas de nivel de 2 metros y una pendiente del 6% ; cada vez que se pase de una curva a otra se subirán o bajarán 2 metros, por lo tanto la abertura entre las puntas del compás será igual a  $2/6$  o sea 33.33 metros, con la misma escala con que está dibujado el plano se separarán las puntas del compás y partiendo del punto inicial se procede a ascender o descender brincando de curva a curva. La unión de estos puntos daría una línea a pelo de tierra. Esta línea que brada es la base para proyectar el trazo de la línea definitiva que, con las mayores tangentes posibles deberá pegarse lo más que se pueda a la línea a pelo de tierra.

En la práctica es imposible lograr esto, pero se procurará compensar a izquierda y derecha de la línea de proyecto imaginaria del trazo a pelo de tierra para lograr un primera compensación longi-

tudinal. Las tangentes se unen con curvas que igualmente se apeguen a la línea imaginaria o compensen las desviaciones a izquierda y derecha lo más que sea posible. Obsérvese la figura I.5.

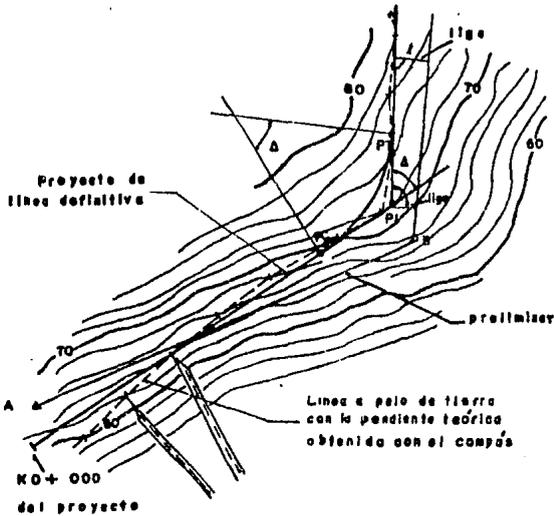


FIG. I.5

## II.- Perfil del Eje Projectado

En la misma forma vista anteriormente para obtener el dibujo de la sección del terreno según un cierto trazo, se puede obtener la sección o sea el perfil del eje de la vía proyectado en planta, es decir se obtiene del plano de la planta de kilometraje correspondiente a los cruces de las curvas de nivel con el eje, y así se van marcando los puntos del perfil subiendo o bajando de curva a curva

de nivel. Cuando una curva de nivel cruce dos veces consecutivas la línea como sucede en los fondos de los escurridores y cimas, se estima por medio de la cercanía de las curvas de nivel adyacentes, la cota de mínima o máxima elevación, y se verá cual es su kilometraje para dibujarla en el perfil.

El perfil se dibuja en papel milimétrico grueso para que no se maltrate al borrar cuando se hagan varios ensayos al trazar la subrasante. Obsérvese la figura 1.6.

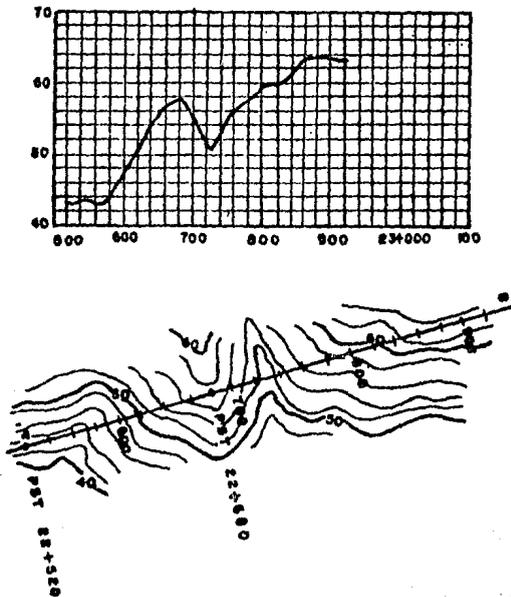


FIG. 1.6

Como los datos para calcular espesores (diferencia de cotas en un punto entre el terreno y la Subrasante) y volúmenes, se obtienen gráficamente de este dibujo, para poder tener mayor aproximación en estas medidas, se exageran los desniveles dibujando en la escala vertical de estas, a una escala que sea cinco o diez veces menor que la escala horizontal. Por ejemplo:

1:200	Horizontal		1:500	Horizontal
		6		
1:20	Vertical		1:100	Vertical

Este perfil será entonces el del eje de la vía proyectada, siguiendo por las tangentes (tramos rectos) curvas horizontales.

### III.- Proyecto de la Subrasante sobre el Perfil.

Se habla de subrasante porque ésta es el perfil del eje de las terracerías terminadas.

La rasante es el perfil de la superficie de rodamiento y es paralela a la subrasante y por consiguiente queda arriba de ella.

La subrasante la forman una serie de líneas rectas con sus respectivas pendientes según el caso y unidas de una pendiente a otra por curvas verticales tangentes a ellas. Las pendientes siguiendo el sentido del cadenamamiento se marcarán con signo positivo (+) si estas son ascendentes y con signo negativo (-) si son descendentes. Como por ejemplo: + 3.0%, - 3.2%, - 5.2% observese la figura I.7

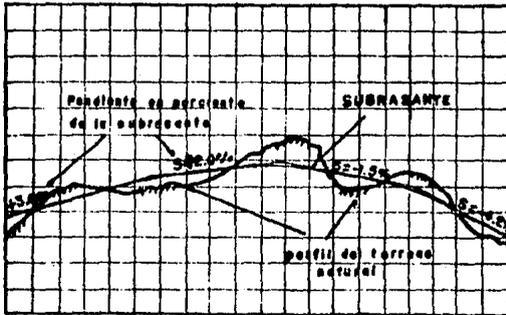


FIG. 1.7

La subrasante que se proyecta deberá compensar lo más que sea posible las excavaciones y los rellenos llamados también cortes y terraplenes. Esto se logra pegándose con la subrasante lo más posible al perfil -- del terreno pero sin sobrepasar las pendientes especificadas. Las pen dientes se proyectan hasta en décimos, como por ejemplo: 5.4%, 2.1% - etc. excepto en los casos en que igualdades, ligas o cualquier otro - motivo obliguen a calcular pendientes fraccionarias que necesitarán - todos los decimales que se requieran para dar la diferencia de nive - les entre los dos puntos que ligan. Como por ejemplo: 7.082%, 1.233%, 0.321% etc.

#### IV.- Secciones Transversales de Construcción

Estas son secciones o perfiles del terreno normales al eje proyectado en planta, que se obtienen a cada 20 metros siguiendo el kilometraje, y a veces también en puntos intermedios especiales.

Las secciones se dibujan en papel milimétrico a escala 1:100 y sirven para colocar en ellas la sección del camino, obtener el área en corte o terraplén correspondiente a cada sección y calcular el volumen de la estación.

La diferencia entre las elevaciones de la línea de proyecto de la subrasante y el perfil del terreno nos dará el espesor, ya sea en corte o en terraplén que corresponda a cada estación completa de 20 metros o a cualquier punto intermedio que haya sido nivelado.

Por medio de una plantilla, preferentemente de material transparente que represente la sección del camino con sus cunetas, se dibuja esta en la sección de construcción correspondiente, con la diferencia de elevación que haya resultado según sea corte o terraplén. Para los cortes se escogerán plantillas que tengan el talud correspondiente al terreno que se cortará, variando desde el talud como para los estratos horizontales a roca, hasta 1.5 X 1 para los materiales sueltos.

Los terraplenes se dibujarán con talud de 1.5 X 1 excepto para la sección LLANERA cuyo talud es hasta de 2 X 1.

Quando el terreno tiene inclinación transversal igual ó cercana a la inclinación que deba tener el terraplén, resultará este con un talud que se prolongará hasta donde cambie de pendiente el terreno para sostenerlo, en caso crítico se construyen muros de mampostería para sostener el terraplén pero son muy costosos.

Habrán también secciones en que al mismo tiempo tenga corte y terraplén (sección en balcón) los cuales se producen cerca y en los puntos de "paso" que son los lugares donde la subrasante cruza el perfil del terreno al pasar de corte a terraplén o viceversa.

El ancho de la excavación en la base es mayor que la corona para alojar las cunetas. Si se hacen secciones muy cercanas entre sí se puede apreciar y definir mejor el paso, pero solo se requiere esto en casos especiales, poco frecuentes en estos proyectos.

Se tendrá así en cada estación de 20 metros o puntos intermedios para los que se hayan levantado secciones de construcción, un corte del camino tal como quedará cuando se construya. Observese la figura I.8.

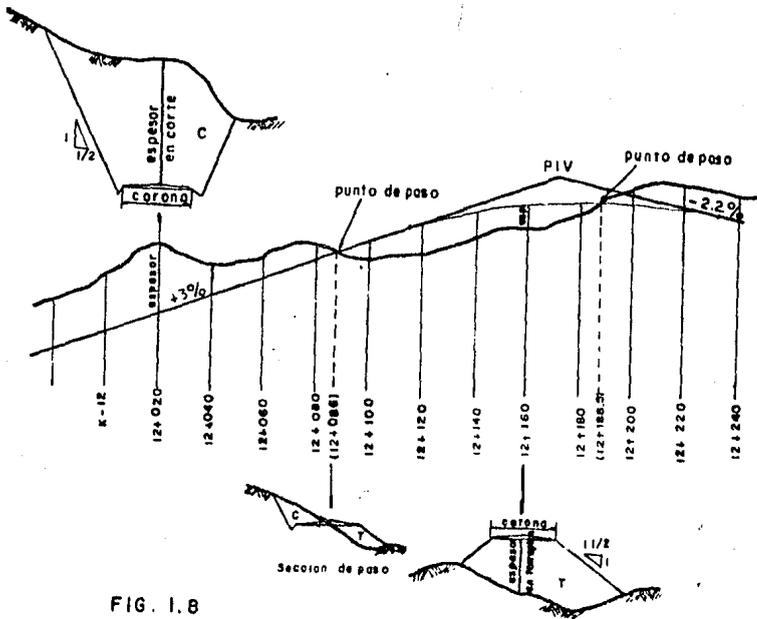


FIG. 1.8

#### V.- Areas de las Secciones y Cálculo de Volúmenes

Puesto que las secciones están dibujadas a igual escala horizontal, y vertical, puede calcularse su área a través de un planímetro. En caso de que no se disponga éste puede utilizarse dos métodos aproximados:

a.- Cuentece los cuadros del papel milimétrico comprendidos dentro de la sección, los medios cuadros y cuarto de cuadro se agruparán hasta conformar cuadros completos que representarán metros cuadrados. Todo esto cuando se dibujen las secciones en papel milimétrico.

b.- Se divide la superficie verticalmente en fajas del mismo ancho con líneas verticales separadas entre sí mediante una cantidad constante (k). Mientras más cercanas estén éstas líneas la aproximación aumentará. La separación puede ser de 3 a 5 mm. como se observa, en la figura I.9

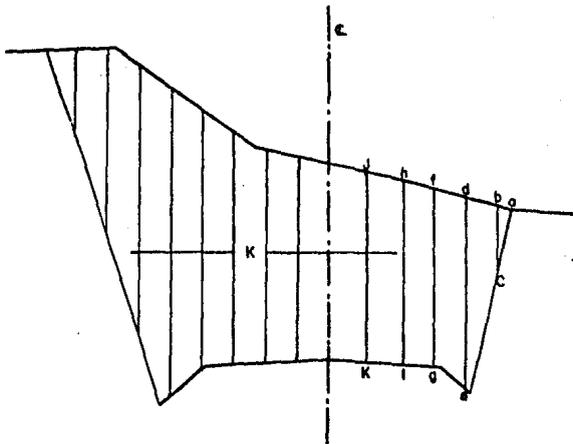


FIG. I. 9

Entonces puede calcularse el área de la sección mediante la siguiente expresión.

$$A = k (\sum I) \dots (1)$$

donde:

A: área de la sección

K: Separación constante entre líneas  
verticales

Σ I: Suma de las longitudes de las líneas  
verticales

Conocidas las áreas de todas y cada una de las secciones, se anotan ordenadamente en una tabla y se procede a calcular volúmenes de terracerías, ya sean corte o terraplén, el volumen del material se calculará tomando el promedio de las áreas de las secciones extremas y multiplicándolo por la distancia entre ellas.

Como la separación entre dos secciones es ordinariamente 20 metros; o sea una estación, el volumen en éste caso será:

$$V = \left[ \frac{A_1 + A_2}{2} \right] d \quad \dots (2)$$

donde:

V: volumen de terracería

d: distancia entre las dos secciones  
extremas del prisma

A<sub>1</sub>: área de la primera sección

A<sub>2</sub>: área de la segunda sección

Cuando una de las áreas sea igual a cero, como en el caso de los puntos de paso de corte a terraplén o viceversa, el volumen será el área de la otra sección dividida entre las secciones.

Debe tenerse especial cuidado en observar la sección que resulte en los puntos de paso, pues cuando el terreno es inclinado, aunque en el eje no haya movimiento de material, si existe área en corte y en terraplén en ese punto: una se promediará con la de la sección de atrás y la otra con la de adelante.

Por otro lado se deberá considerar el fenómeno de ABUNDAMIENTO el cual consiste en que al excavar el material de un corte y extraer se, éste aumenta su volumen. El material abundado es el que se acacrea para formar los terraplenes.

#### VI.- Curva masa del Proyecto

Es una gráfica dibujada en ejes cartesianos, cuyas abscisas representan el cadenamiento de la línea y cuyas ordenadas representan volúmenes de excavación o relleno, según sea la curva ascendente o descendente.

Es un método gráfico que permite determinar la distribución económica de los volúmenes excavados, y calcular el costo para llevar a cabo dicha distribución. Cuando el trazo está obligado, este método no es de utilidad. Obligan al trazo: Niveles al cruzar poblaciones, estructuras del camino, regiones pantanosas o inundables, pasos por acantilados de pendiente fuerte con terraplenes inestables con necesidad de muros de contención o cuando por economía se localiza la ruta sobre algún camino antiguo.

Cuando no está obligado el proyecto, se pueden compensar rellenos y excavaciones, siendo el único impedimento la calidad de materiales.

La curva masa se dibuja junto con el perfil del proyecto pues el ca denamiento debe ir coincidiendo. El dibujo puede comenzarse donde convenga. Entre estaciones consecutivas subirá si hay corte (signo positivo, +) el número de metros cúbicos correspondiente al tramo, o bajará si hay terraplén (signo negativo, -). Como es una gráfica-acumulativa siempre al marcar un volumen se hará partiendo del punto anterior a donde se llegó. Entonces la escala horizontal será la misma del perfil, y para la vertical se recomienda 1 cm. igual a  $200 \text{ m}^3$ , pero podrá escogerse otra si los volúmenes acumulativos son fuertes.

La secuela para el proyecto de la curva masa es como sigue:

- a.- Se proyecta la subrasante en el perfil del terreno.
- b.- Se determinan en cada estación o en los puntos que lo amerita, los espesores de corte o terraplén.
- c.- Se dibujan las secciones de construcción.
- d.- Se dibuja la plantilla del corte o terraplén con los taludes es cogidos según el tipo de material, sobre las secciones de construcción.
- e.- Se calculan las áreas por cualquiera de los métodos conocidos.
- f.- Se calculan los volúmenes, abundando los cortes según el mate-rial.
- g.- Se suman algebraicamente los volúmenes de corte y terraplenes.
- h.- Se dibuja la curva masa con los valores anteriores.



Además del dibujo, en una tabla se van anotando los volúmenes con su signo, y se van sumando algebraicamente para poder ir obteniendo las ordenadas de la curva masa. Obsérvese la figura I. 10

Una vez construida la curva masa se pueden observar las siguientes propiedades.

#### PROPIEDADES DE LA CURVA MASA

- 1.- La curva masa es ascendente para los cortes y descendente para los terrapienes, es decir que cuando la subrasante corta al terreno la curva sube y cuando se va terrapienando decrece.
- 2.- La curva presenta un máximo cuando se pasa de un corte a un terraplén, y un mínimo cuando se pasa de un terraplén a un corte.

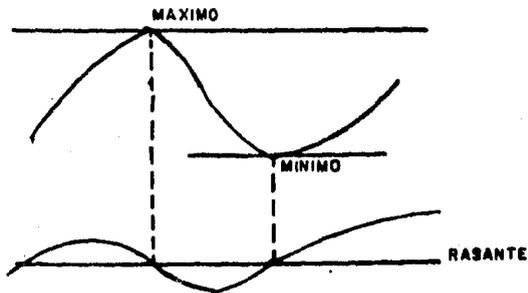


Figura I.11

3.- Cualquier línea horizontal que corte una cima o un columpio de la curva masa, marca los límites de corte y terraplén que se compensan y a dicha línea se le denomina compensadora.

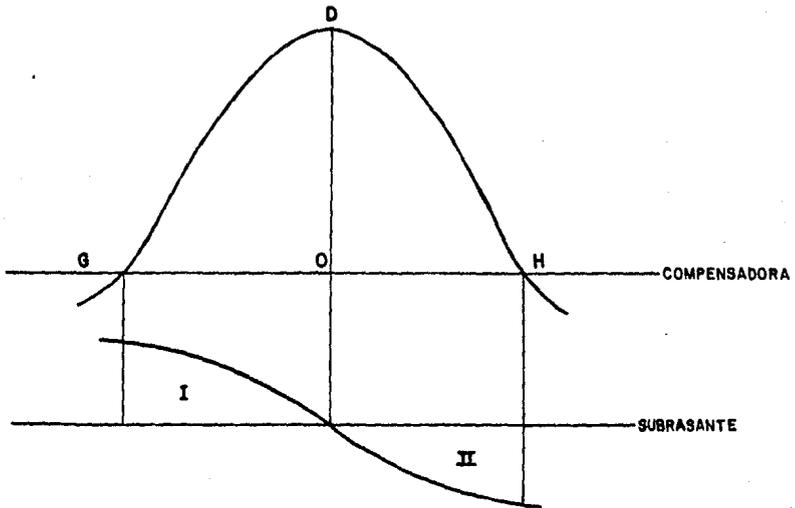


FIG. I. 12

Es decir, que si trazamos en la curva masa, la línea G O H que actuará como compensadora significará que el volumen comprendido entre G, O y D es suficiente para construir el terraplén D O H, a lo que el perfil del terreno significará que el volumen del corte I llenará el terraplén II.

4.- Cuando la curva queda arriba de la compensadora, el material se mueve de izquierda a derecha y viceversa cuando los cortes quedan abajo de la línea de compensación se mueven hacia atrás.

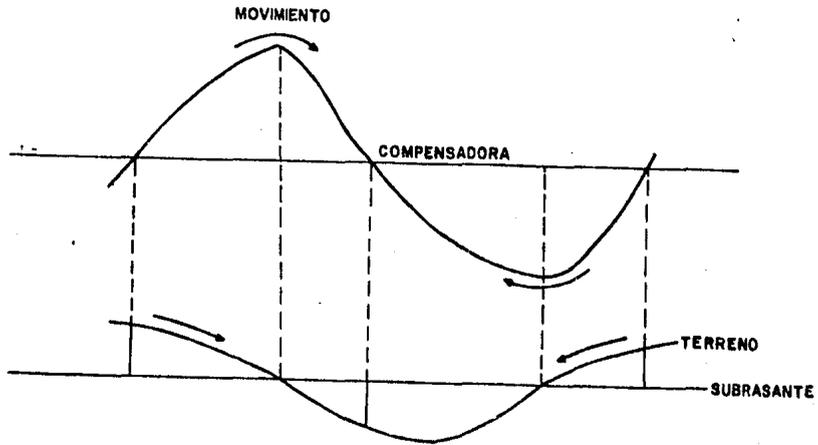


FIG. I. 13

5.- Al estudiarse un tramo pueden trazarse varias compensadoras según resulte la curva masa obtenida y entre una y otra quedarán tramos sin compensación. En estos tramos si la curva asciende habrá un volumen de excavación excedente que no hay donde emplearlo para rellenar o sea un desperdicio.

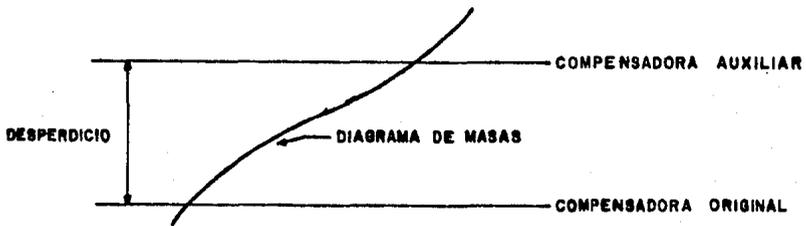


FIG. I. 14

Y, viceversa si la curva desciende indicará que hace falta material para el relleno que no podemos obtener de la excavación. En este caso debe traerse material de otro lado, o sea un préstamo.

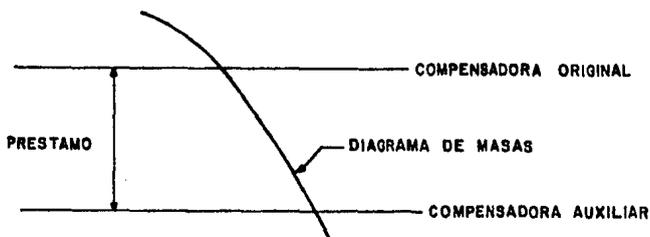


FIG. I.15

6.- El área comprendida entre la curva masa y una horizontal cualquiera compensadora, es el producto de un volumen por una distancia, y nos representa un volumen por una longitud media de acarreo, lo que se expresa en metros cúbicos - estación (en este caso el término "estación" no se refiere a un punto, sino al tramo de 20 metros entre estaciones cerradas, pues en el lenguaje de carreteras se dice por ejemplo, que entre un punto y otro hay ocho estaciones o sea 160 metros, con lo cual se facilita la nomenclatura y los cálculos).

Es evidente que las mejores compensadoras serán las que corten el -

mayor número de veces a la curva.

Existen diferentes posiciones de la línea horizontal de compensación para las cuales habrá diferentes compensaciones en las terracerías, diferentes distancias de acarreo y por consiguiente el costo por material acarreado variará dependiendo de estas posiciones de la compensadora.

Basándonos, en lo anterior se deduce que existirá una línea horizontal de compensación en la cual la suma total de movimientos hacia delante será igual a la suma total de movimientos hacia atrás, esta horizontal será la línea compensadora más económica, siempre y cuando se trate de material de igual clase.

Hay tres maneras de fijar la línea horizontal de compensación más económica:

- 1.- Por medio de tanteos.
- 2.- Procedimientos gráficos.
- 3.- Procedimientos matemáticos.

#### OBJETO DEL DIAGRAMA DE MASAS

Basándonos en las propiedades de la curva masa se deduce fácilmente que los objetos serán los siguientes:

- a.- Compensar volúmenes.

- b.- Fijar el sentido de los movimientos del material.
- c.- Fijar los límites de acarreo.
- d.- Calcular los sobreacarreos.
- e.- Controlar, préstamos y desperdicios.

Los puntos a, b están perfectamente definidos dentro de las propiedades del diagrama de masas expuesto anteriormente.

Los incisos restantes se tratarán en el capítulo de terracerías.

A continuación se pone como ejemplo la presentación del cálculo de una curva masa, utilizando una tabla para el ordenamiento de datos, los que se registran de la manera siguiente:

COLUMNA 1.- En esta columna se pone el cadenamiento del trazo en el terreno dejando los espacios correspondientes al cadenamiento de las líneas de paso.

COLUMNA 2.- Se anotan las elevaciones del terreno y la rasante en cada estación del cadenamiento.

COLUMNA 3.- Corresponde a los espesores que pueden ser de corte ó terraplén.

COLUMNA 4.- Se anotan aquí las áreas de la sección transversal del camino en la estación considerada.

COLUMNA 5.- En esta columna corresponden las sumas de las áreas, de

la estación considerada con el de la siguiente estación.

COLUMNA 6.- Semidistancia ó sea la mitad de la distancia de la estación considerada a la próxima.

COLUMNA 7.- Puesto que la determinación de los volúmenes esta basado en las áreas medias, basta multiplicar el valor de la suma de las áreas (columna No. 5) por la semidistancia (columna No. 6), para obtener el volumen correspondiente entre estaciones.

COLUMNA 8.- Como los materiales se mueven de su posición primitiva se abundan o reducen según su contenido de humedad, es necesario considerar coeficientes de abundamiento o de reducción según el terreno de que se trate.

COLUMNA 9.- Es el valor de los volúmenes obtenidos de multiplicar los volúmenes de corte o terraplén por su correspondiente coeficiente de abundamiento determinado para el tipo de terreno.

COLUMNA 10.- Denominada "Ordenada Curva Masa" se obtiene de sumar algebraicamente los volúmenes abundados de corte (+) y terraplén (-) en cada estación.

CURVA MASA \_\_\_\_\_

De Km \_\_\_\_\_ a Km \_\_\_\_\_

De la hoja Núm \_\_\_\_\_

Camina \_\_\_\_\_

Residencia \_\_\_\_\_

Componente \_\_\_\_\_

Fecha \_\_\_\_\_ de 19 \_\_\_\_\_

ESTACION	ELEVACIONES		ESPESORES		AREAS		A1 + A2	SEMI PIE	VOLUMEN		VOL. DE LLENTO		VOLUMENES ABRINDADO		AREA ALICATA VOIS MOS		ORDENADA CURVAMASA	
	TERRENO	ALBANTE	CORTE	TERRAPL	CORTE	TERRA	CORTE	TERRA	STANCIA	CORTE	TERRAPL	CORTE	TERRAPL	CORTE	TERRAPL	+		(-)
2 + 6 80	64.80	66.60		1.80		18.2												10 000
700	66.00	66.80		0.80		2.9	45	271	10.0								271	9 729
720	67.00	67.00	0.80		4.5	45	8.9	10.0		4.5	89	1.2		54	89		35	9 694
734	68.55	67.14	1.41		7.1	116		7.0		81		1.2		97			97	9 791
740	68.20	67.20	1.00		5.2	123		3.0		37		1.2		44			44	9 635
760	68.60	68.60	0.20		1.4	6.6		10.0		66		1.2		79			79	9 914
780	65.70	67.60		1.90		22.0	14	220	10.0	14	220	1.2		17	220		203	9 711
800	66.81	67.80		0.99		6.4		28.4	10.0		28.4			28.4			28.4	9 427
820	68.90	68.00	0.90		5.2	32	64	10.0		52	64	1.2		62	64		2	9 425
840	69.70	68.20	1.50		8.3	135		10.0		135		1.2		162			162	9 587
850	70.92	68.30	2.62		11.8	201		3.0		100		1.2		120			120	9 707
860	70.10	68.60	1.70		8.7	203		50		103		1.2		124			124	9 831
880	68.15	68.60	0.45		2.4	87	24	10.0		87	24	1.2		104	24		80	9 911
900	67.00	68.80		1.80		63	67	10.0		67				67			67	9 824
920	68.40	69.00		0.60		28		91	10.0		91			91			91	9 733
940	70.00	69.20	0.80		4.1	41	28	10.0		41	28	1.2		49	28		21	9 754
960	70.59	69.40	1.19		5.7	95		10.0		98		1.2		118			118	9 872
980	70.21	69.60	0.61		3.4	91		10.0		91		1.2		109			109	9 981
3 + 0 00	63.02	68.80		0.78		31	34	31	10.0	34	31	1.2		41	31		10	9 931
020	67.40	70.00		2.60		11.4		145	10.0		145			145			145	9 846

TABLA 1.2

## I.4 CLASIFICACIÓN DE CARRETERAS Y FACTORES QUE DETERMINAN SU DISEÑO

### Clasificación

A continuación presentamos una clasificación de carreteras tomada de las normas de Servicios Técnicos de la S.C.T. , la cual clasifica a estas de acuerdo con su tránsito diario promedio anual (TDPA) para el horizonte del proyecto, las cuales son:

a) Tipo "A"

- 1.- Tipo "A<sub>2</sub>", para un tránsito diario promedio anual de 3 000 a 5 000 vehículos.
- 2.- Tipo "A4", para un TDPA de 5 000 a 20 000 vehículos.

b) Tipo "B", para un TDPA de 1 500 a 3 000 vehículos.

c) Tipo "C", para un TDPA de 500 a 1 500 vehículos.

d) Tipo "D", para un TDPA de 100 a 500 vehículos.

e) Tipo "E", para un TDPA de hasta 100 vehículos.

Las normas geométricas de las carreteras así clasificadas, varían según las características topográficas del terreno que atraviesen. Se consideran los siguientes tipos de terreno:

- a.- Plano
- b.- Lomerío
- c.- Montañoso

En base a la clasificación y de los terrenos atravesados, se encuentra una característica básica e importante que debe de ser considerada en el diseño; siendo esta la "velocidad", la cual es un factor determinante y de ella dependen las especificaciones geométricas.

Debe entenderse por velocidad, para fines de proyecto la máxima -  
rápidez que puede mantenerse más o menos uniformemente en el cami-  
no o tramos de caminos, dentro de la seguridad y durante períodos  
de poco tránsito.

Por otro lado, se le designa como velocidad de operación, a la ma-  
yor velocidad media que un conductor, puede guiar en el camino, en  
condiciones normales de tránsito y sin exceder nunca de la veloci-  
dad de proyecto. Cuando el tránsito es poco intenso, la velocidad  
de operación se acerca a la de proyecto, disminuyendo conforme au-  
menta aquel.

Asimismo, otra de las características que debe tomarse en considera-  
ción en el diseño de los caminos, es lo relativo a la visibilidad;  
la cual se toma en cuenta para calcular la distancia de visibili-  
dad de encuentro, la distancia de visibilidad de parada y la dis-  
tancia de visibilidad de rebase.

Se entiende por visibilidad, a la longitud de camino que en condi-  
ciones normales alcanza a ver el automovilista cuando no hay cir-  
cunstancias especiales que interfieran, como niebla o lluvia o  
bien vehículos delanteros.

La distancia de visibilidad de encuentro, es la distancia de segu-  
ridad mínima necesaria para que en caminos de un solo carril, los  
conductores de dos vehículos, que circulan en sentido contrario, -  
se puedan detener antes de encontrarse. Esta distancia se puede -  
calcular con la expresión:

$$De = 2 Dp \quad - \quad - \quad - \quad ( 3 )$$

En donde:

De: Distancia de visibilidad de encuentro, en metros  
Dp: Distancia de visibilidad de parada, en metros

Distancia de visibilidad de parada; es la distancia de seguridad mínima necesaria para que un conductor que transita a la velocidad de marcha sobre pavimento mojado, vea un objeto en su trayectoria y pueda pararse su vehículo antes de llegar a él, y se calcula con la expresión.

$$D_p = \frac{Vt}{3.6} + \frac{V^2}{254f} \quad - - - (4)$$

En donde:

- Dp: Distancia de visibilidad de parada, en metros
- V: Velocidad de marcha, en km/h.
- t: Tiempo de reacción, en segundos. (2.5 seg).
- f: Coeficiente de fricción longitudinal

En la tabla I.3 se indican los valores para proyecto de la distancia de visibilidad de parada que corresponden a velocidades de proyecto de 30 a 110 km/h.

Distancia de visibilidad de rebase; es la distancia mínima necesaria para que el conductor de un vehículo pueda adelantar a otro que circula por el mismo carril, sin peligro de interferir con un tercer vehículo que venga en sentido contrario y se haga visible al iniciarse la maniobra. Esta distancia se calcula con la expresión.

$$D_r = 4.5 V \quad - - - (5)$$

En donde:

- Dr : Distancia de visibilidad de rebase, en metros
- v: Velocidad de proyecto, en km/h.

Los valores para proyecto de la distancia de visibilidad de rebase se indican en la tabla A que viene al final del capítulo.

VELOCIDAD DE PROYECTO km/h	VELOCIDAD DE MARCHA km/h	R E A C C I O N		COEFICIENTE DE FRICCION LONGITUDINAL	DISTANCIA DE FRENADO m	DISTANCIA DE VISIBILIDAD	
		TIEMPO seg	DISTANCIA m			CALCULADA m	PARA PROYECTO m
30	28	2.5	19.44	0.400	7.72	27.16	30
40	37	2.5	25.69	0.380	14.18	39.87	40
50	46	2.5	31.94	0.360	23.14	55.08	55
60	55	2.5	38.19	0.340	35.03	73.22	75
70	63	2.5	43.75	0.325	48.08	91.83	95
80	71	2.5	49.30	0.310	64.02	113.32	115
90	79	2.5	54.86	0.305	80.56	135.42	135
100	86	2.5	59.72	0.300	97.06	156.78	155
110	92	2.5	63.89	0.295	112.96	176.85	175

Tabla I.3 DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA

## I.5 TRAZO DE CURVAS

Previo al inicio de las curvas horizontales, mencionaremos algunos conceptos importantes referentes al alineamiento horizontal del cual forma parte el diseño de estas curvas, tales conceptos son los que a continuación se refieren.

La proyección en planta del eje de un camino estará compuesta por tangentes y arcos de circunferencia que unen dos tangentes consecutivas llamadas curvas. Al punto de intersección de la prolongación de dos tangentes consecutivas se le representa como (PI), y al ángulo de deflexión formado por la prolongación de una tangente y la siguiente se le representa como  $\Delta$ .

Las tangentes horizontales estarán definidas por su longitud y su Azimut.

La longitud máxima de tangentes no tiene límite especificado, sin embargo, por la inseguridad que produce al conductor es conveniente en el proyecto limitar esta longitud, proyectando en su lugar alineamientos ondulados con curvas de gran radio.

La longitud mínima de tangente entre dos curvas consecutivas está definida por la longitud necesaria para dar la sobre elevación y ampliación a esas curvas.

### CURVAS HORIZONTALES

Son arcos de circunferencia que se emplean para cambiar de una dirección a otra, uniendo los tramos rectos llamados tangentes. Estas curvas, son arcos de circunferencias, aunque en la práctica es común interponer curvas de transición, llamadas espirales, entre las tangentes y las curvas circulares.

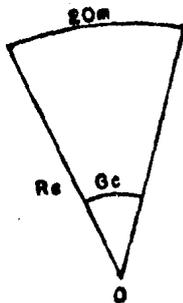
Las curvas circulares del alineamiento horizontal estarán defi

nidas por su grado de curvatura y por su longitud. Usualmente la agudeza de una curva circular dada está indicada por su radio. Sin embargo, la pronunciación de la curva generalmente se expresa por el número de grados de curva, que es el ángulo central subtendido por una longitud de 20 metros de arco, lo que comúnmente se llama grado de curvatura.

La longitud de arco en algunos casos puede ser mayor o menor a los 20 metros que aquí exponemos..

**GRADO DE CURVATURA.**- Angulo central subtendido por una longitud de 20 m. de arco.

Para un arco de 20 metros se puede obtener el grado de curvatura, con la siguiente relación, apoyada en la figura I.16



**FIG. I.16**

$$\frac{G_c}{20} = \frac{360^\circ}{2\pi R_c}$$

$$G_c = \frac{1145.920}{R_c} \quad \text{--- (6)}$$

GRADO MAXIMO DE CURVATURA.- El grado máximo de curvatura que puede tener una curva, es el que permite a un vehículo recorrer con seguridad la curva con la sobreelevación máxima a la velocidad de proyecto.

Para aclarar un poco este punto, a continuación exponemos un análisis breve de la obtención del grado máximo de la curvatura.

Un vehículo al pasar sobre una curva peraltada es sometido a las fuerzas que se ilustran en la figura I. 17

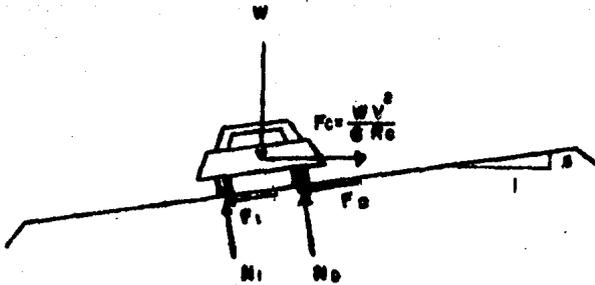


FIG. I.17

donde

$$F_c = \frac{Wv^2}{gRc} \quad \text{--- (7)}$$

En que:

$F_c$ : fuerza centrífuga que impele al vehículo hacia fuera de la curva.

$W$ : peso del vehículo en kilogramos

$v$ : velocidad del vehículo en m/seg.

$g$ : aceleración de la gravedad en m/seg.<sup>2</sup>

$Rc$ : radio de la curva horizontal en metros

$F_i$ ,

$F_d$ : fuerzas de fricción lateral, que ayudan al vehículo a mantenerse dentro de la curva. Generalmente se expresa através de un coeficiente llamado coeficiente de fricción ( $\mu$ ), el cual depende del tipo de pavimento.

La fricción lateral es requerida para aquellos casos en que el vehículo se mueve a velocidades mayores a los cuales el peralte equilibra la fuerza centrífuga.

De la misma figura: "s" es el peralte o sobreelevación de la curva medida en metros de elevación por metro horizontal transversal del camino.

La relación entre el peralte, la velocidad y el radio de curvatura expresada en metros y segundos es como sigue:

$$\frac{s}{1} = \frac{Wv^2/gRc}{W} (F_i + F_d) \quad \text{--- (8)}$$

Qué puede expresarse como

$$\frac{S}{l} = \frac{WV^2/Rc}{W} - \mu \quad - - - (8)$$

Simplificando la expresión (8') y teniendo la velocidad en km/h, vemos que:

$$S = \frac{V^2}{127.14 R_c} - \mu \quad - - - (9)$$

sustituyendo 9 en 6, obtenemos el grado máximo de curvatura

$$G_{\text{máx.}} = \frac{1145.92 (S_{\text{máx.}} + \mu) 127.14}{V^2}$$

Simplificando la expresión

$$G_{\text{máx.}} = 146000 \frac{(S_{\text{máx.}} + \mu)}{V^2} \quad - - - (10)$$

La S.C.T. proporciona una tabla I.4 donde se indican los valores de los grados máximos de curvatura para cada velocidad de proyecto.

VELOCIDAD DE PROYECTO km/h	COEFICIENTE DE FRICCIÓN LATERAL	SOBREELEVACION MAXIMA m/m	GRADO MAXIMO DE CURVATURA CALCULADO grados	GRADO MAXIMO DE CURVATURA PARA PROYECTO grados
30	0.280	0.10	61.6444	60
40	0.230	0.10	30.1125	30
50	0.190	0.10	16.9360	17
60	0.165	0.10	10.7472	11
70	0.150	0.10	7.4489	7.5
80	0.140	0.10	5.4750	5.5
90	0.135	0.10	4.2358	4.25
100	0.130	0.10	3.3580	3.25
110	0.125	0.10	2.7149	2.75

TABLA I.4 GRADO MAXIMO DE CURVATURA

Básicamente para el trazo de las curvas utilizamos las curvas horizontales compuestas. Las curvas compuestas están formadas por una curva central simple enlasada en los extremos por curvas espirales de transición.

### CURVAS CIRCULARES SIMPLES

Cuando dos tangentes están unidas entre sí por una sola circular, esta se denomina curva simple.

Las curvas circulares simples tienen como elementos característicos los mostrados en la figura I.18

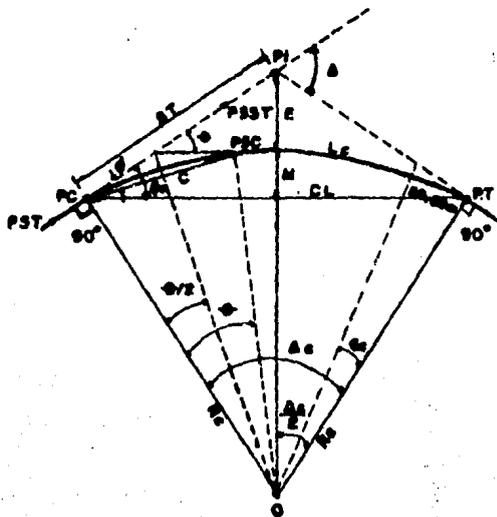


FIG. I.18

PI	Punto de intersección de la prolongación de las tangentes
PC	Punto en donde comienza la curva circular simple
PT	Punto en donde termina la curva circular simple
PSST	Punto sobre subtangente
PSST	Punto sobre subtangente
PSC	Punto sobre la curva circular
O	Centro de la curva circular
$\Delta$	Angulo de deflexión de la tangente
AC	Angulo central de la curva circular
$\oplus$	Angulo de deflexión a un PSC
$\emptyset$	Angulo de una cuerda cualquiera
$\emptyset c$	Angulo de la cuerda larga
Gc	Grado de curvatura de la curva circular
Rc	Radio de la curva circular
ST	Subtangente
E	Externa
M	Ordenada media
C	Cuerda
CL	Cuerda larga
l	Longitud de un arco
Lc	Longitud de la curva circular

Los elementos característicos de las curvas circulares siempre se calculan como sigue:

Al punto de intersección de la prolongación de dos tangentes consecutivas se le representa como PI, y al ángulo de deflexión formado por la prolongación de una tangente y la siguiente se le representa por  $\Delta$ ; ambos datos son conocidos, siendo el PI el resultado de un cadenamamiento y el  $\Delta$  un valor que se mide o se calcula directamente.

Radio de la curva.- Es el radio de la curva circular y se simboliza como  $R_c$ . De la expresión (6) se tiene

$$R_c = \frac{1\ 145.92}{G_c} \quad \text{--- (11)}$$

Angulo Central.- Es el ángulo subtendido por la curva circular.- Se simboliza como  $\Delta_c$  y es igual a la deflexión de las tangentes.

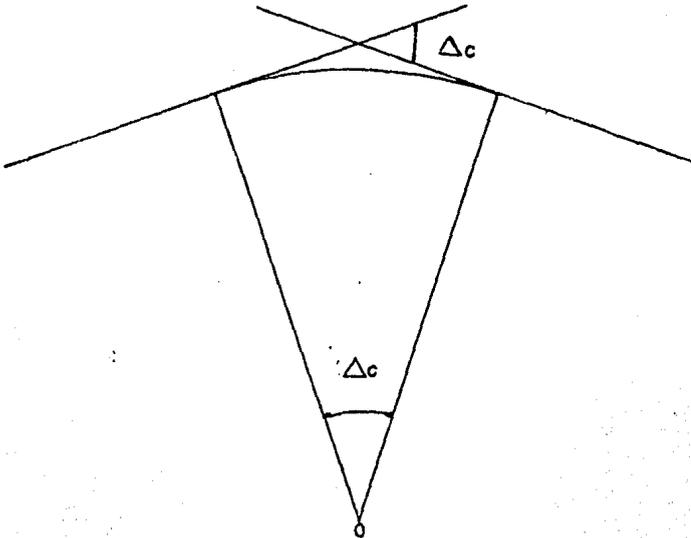
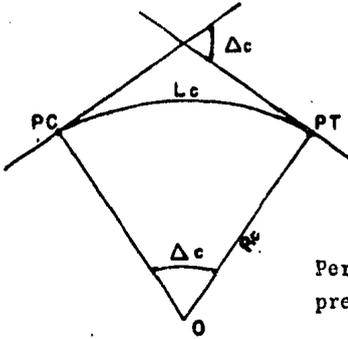


FIG. I.19

Longitud de curva.- Es la longitud del arco entre el PC y el PT. Se representa como  $L_c$ .



$$\frac{L_c}{2\pi R_c} = \frac{\Delta_c}{360^\circ}$$

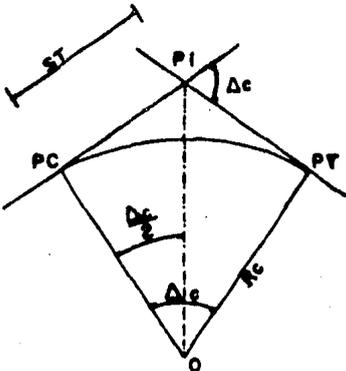
$$L_c = \frac{\pi \Delta_c}{180^\circ} R_c \quad \text{--- (12)}$$

Pero además tomando en cuenta la expresión (6) se tendrá:

$$L_c = 20 \frac{\Delta_c}{G_c} \quad \text{--- (13)}$$

FIG. 1. 20

Subtangente.- Es la distancia entre el PI y el PC o PT. Del triángulo rectángulo PI-O-PT se tiene:

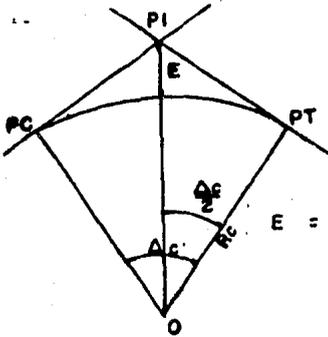


$$\text{TAN} \frac{\Delta_c}{2} = \frac{ST}{R_c}$$

$$ST = R_c \text{TAN} \frac{\Delta_c}{2} \quad \text{--- (14)}$$

FIG. 1. 21

Externa.- Es la distancia mínima entre el PI y la curva. Se representa con la letra E. del triángulo rectángulo PI-O-PT se tiene

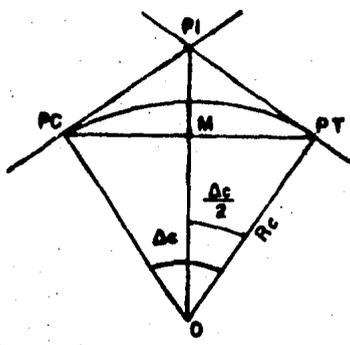


$$\cos \frac{\Delta c}{2} = \frac{Rc}{(Rc + E)}$$

$$E = Rc \left[ -1 + \frac{1}{\cos \frac{\Delta c}{2}} \right] \quad \text{--- (15)}$$

FIG. 1.22

Ordenada Media.- Es la longitud de la flecha en el punto medio de la curva. Se simboliza con la letra M. Del Triángulo rectángulo PI-O-PT se tiene:



$$\cos \frac{\Delta c}{2} = \frac{Rc - M}{Rc}$$

$$M = Rc (1 - \cos \frac{\Delta c}{2}) \quad \text{--- (16)}$$

FIG. 1.23

Deflexión a un punto cualquiera de la curva.- Es el ángulo entre la prolongación de la tangente en PC y la tangente en el punto considerado. Se representa como  $\theta$  y se puede establecer. Si tomamos una longitud de curva como

$$\frac{\theta}{l} = \frac{G_c}{20} \quad ; \quad \theta = \frac{G_c l}{20} \quad \text{--- (17)}$$

Cuerda.- Es la recta comprendida entre dos puntos de la curva. Se le denomina C. Si esos puntos son PC y PT, a la cuerda resultante se le denomina cuerda larga. En el triángulo PC - O - PSC

$$C = 2 R_c \text{ Sen } \frac{\theta}{2} \quad \text{--- (18)}$$

Para la cuerda larga:

$$CL = 2 R_c \text{ Sen } \frac{\Delta c}{2} \quad \text{--- (19)}$$

Deflexión a la cuerda.- Es el ángulo comprendido entre la prolongación de la tangente y la cuerda considerada, se representa como  $\phi$ . En el triángulo PC - O - PSC

$$\phi = \frac{\theta}{2}$$

Y teniendo en cuenta la expresión (17)

$$\phi = \frac{G_c l}{40} \quad \text{--- (20)}$$

Para la cuerda larga

$$\phi_c = \frac{G_c l_c}{40} \quad \text{--- (20')}$$

Deflexión por metro.- Es el ángulo que se obtiene dividiendo la deflexión a la cuerda, para trazar una longitud de circular, entre esa misma longitud de circular; se representa como Sm. Para la cuerda larga el ángulo de deflexión es la mitad del ángulo central o de deflexión de las tangentes.

De la expresión (20) se tiene

$$S_m = \frac{\frac{G_c l}{40}}{l}$$

simplificando

$$S_m = \frac{G_c}{40} \quad - - - \quad (21)$$

expresión que nos da la deflexión por metro en grados. Para tener la deflexión en minutos podemos multiplicar la expresión anterior por 60, y tendremos:

$$S_m = \frac{G_c}{40} \times 60 = 1.5 G_c$$

$$\therefore S_m = 1.5 G_c \quad - - - \quad (22)$$

expresión que es muy común utilizar

Con los datos que a continuación se dan procederemos a realizar un ejemplo del cálculo de una curva circular simple:

Cálculo de los elementos de la curva circular simple. Si se tienen los siguientes datos:

$$\Delta = 38^\circ 30'$$

$$G_c = 7.5^\circ$$

$$PI = 30 + 112.305$$

Solución :

$$\text{de (11)} \quad R_c = \frac{1145.92}{7.5} = 152.789 \text{ m.}$$

$$\text{de (13)} \quad L_c = 20 \times \frac{38.5^\circ}{7.5} = 102.666 \text{ m.}$$

$$\text{de (14)} \quad ST = 152.789 \tan \frac{38.5^\circ}{2} = 53.356 \text{ m.}$$

Para obtener los cadenamientos del PC y PT se realiza como sigue:

$$\begin{aligned} \text{Cad PC} &= PI - ST \\ &= 30 + 112.305 - 53.356 = 30 + 058.949 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cad PT} &= PC + L_c \\ &= 30 + 058.949 + 102.666 = 30 + 161.615 \end{aligned}$$

Para el trazo de la curva hay varios métodos, aquí solo mencionaremos el de deflexiones por cuerda.

El origen de las deflexiones será la subtangente, desde el PC o PT y tomando como visual al PI. Como estos ángulos de deflexión son la mitad de los ángulos centrales, para ir marcando cada cuerda de 20 m. que es abarcada por G, desde el centro, las deflexiones irán variando ( $g/2$ ), sumándolas sucesivamente.

Generalmente, como se van tomando estaciones cerradas a 20 m, al principio y al final de la curva habrá necesidad de calcular la deflexión para la longitud de curva que resulte. Esto se hace con la expresión 20.

ESTACION	REGISTRO P.V.	DEFLEXION
PC = 30+058.949		00° 00'
	+00°11'	
+ 060		00° 11'
	+03°45'	
+ 080		03° 56'
	+03°45'	
+ 100		07° 41'
	+03°45'	
+ 120		11° 26'
	+03°45'	
+ 140		15° 11'
	+03°45'	
+ 160		18° 56'
	+00°18'	
PT = 30+161.615		19° 15'

Ejemplo, El primer punto se obtuvo:

$$30 + 060 - (30 + 058.949) = 1.051 \text{ m}$$

de la expresión (20)

$$\begin{aligned} \text{Def} &= 1.051 \times \frac{7.5}{40} = 0.197^\circ \\ &= 0^\circ 11' \end{aligned}$$

Como los siguientes puntos son estaciones cerradas con cuerdas a - - 20 m., simplemente se irá sumando g/2, para obtener la deflexión.

Para el último punto se tiene como en el primero

$$30 + 161.615 - (30 + 160.000) = 1.615$$

$$\begin{aligned} \text{Def} &= 1.615 \times \frac{7.5}{40} = 0.3028^\circ \\ &= 0^\circ 18' \end{aligned}$$

Como verificación diremos que la última deflexión debe resultar siempre igual a  $\Delta / 2$ .

Gráficamente sería como se muestra en la figura I.24.

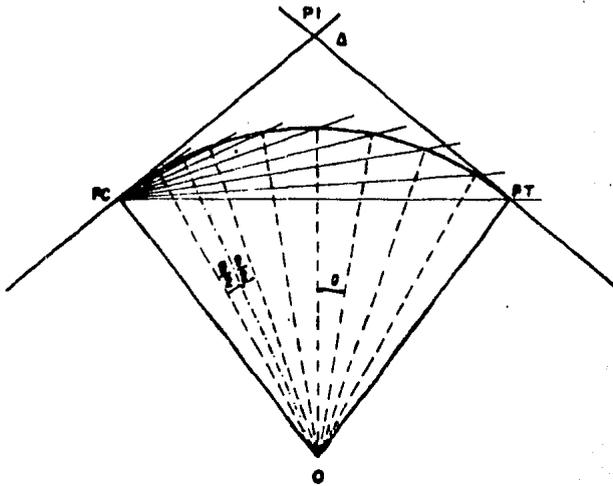


FIG. I.24

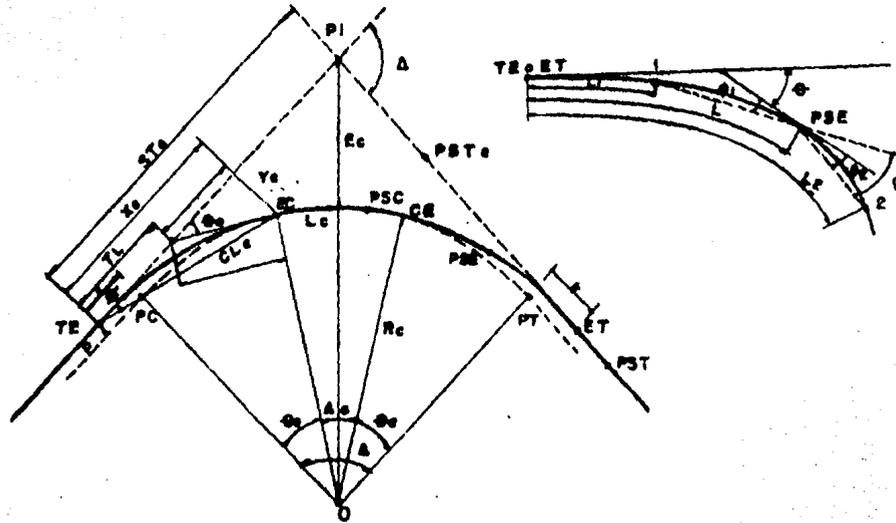


FIG. I.25 Curvo circular con espirales

PI Punto de intersección de las tangentes  
 TE Punto donde termina la tangente y empieza la espiral  
 EC Punto donde termina la curva circular y empieza la espiral  
 ET Punto donde termina la espiral y empieza la tangente  
 PSC Punto cualquiera sobre la curva circular  
 PSE Punto cualquiera sobre la espiral  
 PST Punto cualquiera sobre las tangentes  
 PSTe Punto cualquiera sobre las subtangentes  
 $\Delta$  Angulo de deflexión de las tangentes  
 $\Delta_c$  Angulo central de la curva circular  
 $\theta_e$  Deflexión de la espiral en el EC o CE  
 $\theta$  Deflexión de la espiral en un PSE  
 $\theta_c$  Angulo de la cuerda larga  
 $\theta_1$  Angulo entre la tang. a un PSE y una cuerda atrás  
 $\theta_2$  Angulo entre la tang. a un PSE y una cuerda adelante  
 $\theta$  Angulo entre dos cuerdas de la espiral  
 Xc Coordenadas del EC o del CE  
 Yc  
 K Coordenadas del PC o del PT (Desplazamiento)  
 P  
 STe Subtangente  
 TL Tangente larga  
 TC Tangente corta  
 CLe Cuerda larga de la espiral  
 Ec Externa  
 Rc Radio de la curva circular  
 L Longitud de la espiral a un PSE  
 Le Longitud de la espiral al EC o CE  
 Lc Longitud de la curva circular  
 LT Longitud de la curva circular con espirales

$$\Delta_c = \Delta - 2\theta_e \quad \dots (23)$$

$$\theta_e = G_c L_e / 40 \quad \dots (24)$$

$$\theta = (L/L_e)^2 \theta_e \quad \dots (25)$$

$$\theta_c^1 = \theta_e / 3 \quad \dots (26)$$

$$\theta_1 = (L - L_1)(2L + L_1)\theta_e / (3L_e^2) \quad \dots (27)$$

$$\theta_2 = (L_2 - L)(2L + L_2)\theta_e / (3L_e^2) \quad \dots (28)$$

$$\theta = (L_2 - L)(L + L_1 + L_2)\theta_e^2 / (3L_e) \quad \dots (29)$$

$$X_c = (L_e / 100)(100 - 0.00305 \theta_e^2) \quad \dots (30)$$

$$Y_c = (L_e / 100)(0.582 \theta_e - 0.0000126 \theta_e^3) \quad \dots (31)$$

$$K = X_c - R_c \sin \theta_e \quad \dots (32)$$

$$P = Y_c - (R_c - R_c \cos \theta_e) \quad \dots (33)$$

$$ST_e = K + (R_c + P) \tan(\Delta/2) \quad \dots (34)$$

$$TL = X_c - Y_c \cot \theta_e \quad \dots (35)$$

$$TC = Y_c \csc \theta_e \quad \dots (36)$$

$$CL_e = (X_c + Y_c)^{1/2} \quad \dots (37)$$

$$E_c = (R_c + P) \sec(\Delta/2) - R_c \quad \dots (38)$$

$$R_c = 1148.92 / G_c \quad \dots (39)$$

$$L_e = 8VS \text{ (minima)} \quad \dots (40)$$

$$L_c = 20 \Delta_c / G_c \quad \dots (41)$$

$$LT = 2L_e + 20 \Delta / G_c \quad \dots (41)$$

**CURVAS CIRCULARES COMPUESTAS.**-Son aquellas que están formadas por dos o más tramos de curvas simples de radios diferentes pero con un punto de tangencia común. Para el caso que nos ocupa solo haremos mención a las curvas espirales de transición.

**CURVA ESPIRAL DE TRANSICIÓN.**- Es una curva cuyo radio y curvatura van variando gradualmente punto por punto. Se usan para unir las tangentes con las curvas circulares. Dicha curva consta de una espiral de salida de longitud igual a la de entrada.

Este tipo de curvas es muy usual para evitar el paso brusco de las tangentes a las curvas, debido a que en ellas es preciso dar cierta sobreelevación al lado exterior para contrarrestar la fuerza centrífuga que afectan a los vehículos.

Los elementos que forman a esta curva son los mostrados en la figura 1.25.

Para efectuar las transiciones se empleará la Clotoide o Espiral de Euler, cuya expresión es:

$$RcLc = k^2 \quad - - - \quad (43)$$

En donde

$Rc$  = Radio de la curva circular, en metros.

$Lc$  = Longitud de la espiral de transición, en metros.

$k^2$  = Parámetro de la espiral, en metros cuadrados.

Es de primordial importancia hacer notar que el parámetro de la espiral ( $k^2$ ) se encuentra en función, de la velocidad de diseño, de la sobre elevación y del grado de curvatura.

A continuación procederemos a realizar el cálculo de una curva con espirales, ayudándonos para ello de las tablas que vienen publicadas en las normas de servicios técnicos de la S.C.T.

**Ejemplo:**

Calcular la curva con espiral teniendo como datos, para una carretera tipo B los siguientes:

Datos:  $v = 70$  km/hr.  
 $\Delta = 37^{\circ}07' 02''$   
 $PI = 14 + 627.753$   
 $G = 5^{\circ}$

### Solución

De la tabla ( D. ) que viene al final del capítulo.

con

$G_c = 5^{\circ}$   
 $v = 70$  km/hr.  
corresponde una:  
 $L_e = 50$  mts.  
De la fórmula (24) :  
 $\theta_e = G_c L_e / 40$   
 $\theta_e = 5 \times 50 / 40 = 6.25^{\circ}$   
De la fórmula (30) :  
 $X_c = (L_e / 100) (100 - 0.00305 \theta_e^2)$   
 $X_c = (50 / 100) (100 - 0.00305 \times 6.25^2)$   
 $X_c = 49.940$  mts.  
De la fórmula (6) :  
 $R_c = 1145.92 / G_c$   
 $R_c = 1145.92 / 5$   
 $R_c = 229.184$  mts.  
De la fórmula (32):  
 $k = X_c - R_c \text{Sen} \theta_e$   
 $k = 49.940 - 229.184 \text{ Sen } 6.25^{\circ}$   
 $k = 24.989$  mts.

De la fórmula (31):

$$Yc = (Le/100) (0.582\theta e - 0.0000126\theta^3 e)$$

$$Yc = (50/100) (0.582 \times 6.25 - 0.0000126 (6.25)^3)$$

$$Yc = 1.817 \text{ mts.}$$

De la fórmula (33):

$$P = Yc - (Rc - Rc \cos \theta e)$$

$$P = Yc - Rc (1 - \cos \theta e)$$

$$P = 1.817 - 229.184 (1 - \cos 6.25^\circ)$$

$$P = 0.455 \text{ mts.}$$

De la fórmula (34):

$$STe = k + (Rc + P) \tan (\Delta/2)$$

$$STe = 24.989 + (229.184 + 0.455) \tan (37.1172/2)$$

$$STe = 102.086 \text{ mts.}$$

De la fórmula (23) :

$$\Delta c = \Delta - 2\theta e$$

$$\Delta c = 37.1172^\circ - 2(6.25^\circ)$$

$$\Delta c = 24.6172^\circ = 24^\circ 37' 02''$$

De la fórmula (40) :

$$Lc = 20 \Delta c / Gc$$

$$Lc = 20 (24.6172^\circ) / 5^\circ$$

$$Lc = 98.369 \text{ mts.}$$

De la fórmula (41):

$$Lt = 2Le + Lc$$

$$Lt = 2(50) + 98.369$$

$$Lt = 198.369 \text{ mts.}$$

Con los datos así obtenidos se está en condiciones de dar los cadenamientos del inicio y final de la curva, como a continuación se indica.

Inicio de Curva

$$TE = PI - STe$$

$$TE = 14 + 627.753 - 102.086$$

$$TE = 14 + 525.667 \text{ mts.}$$

Fin de Curva

$$ET = TE + Lt$$

$$ET = 14 + 525.667 + 198.469$$

$$ET = 14 + 723.136 \text{ mts.}$$

Para el trazo de la curva en el terreno, existen dos métodos que son los más usuales; Método de coordenadas y el método por deflexiones.

Usaremos el método de las coordenadas para el trazo de la curva espiral del ejemplo a que nos estamos refiriendo.

Para localizar los puntos E.C. y C.E., se miden a partir, del T.E. o E.T. según sea la espiral de entrada o salida, las cuales para trazarlas haremos uso de la siguiente fórmula

$$\phi = \frac{L^2}{L_e^2} \phi_e \quad - - - (44)$$

donde:

$L_e$  : longitud de espiral, en metros

$\phi_e$  : deflexión de la espiral, en grados

$L$  : distancia a partir de T.E. o E.T., al punto para el cual se calculan las coordenadas, medida sobre la curva espiral, en metros.

Por lo tanto, para la curva que se ha calculado se tiene

$$\theta_e = 6.25^\circ$$

$$L_e = 50 \text{ mts.}$$

$$\theta = \frac{6.25}{50^2} L^2$$

$$\theta = 0.0025 L^2$$

Dando un valor a L, se obtiene un valor para  $\theta$  y sustituyendo en las expresiones (30) y (31), obtendremos las coordenadas que buscamos.

Calculando a cada diez metros

para  $L = 10.0 \text{ mts}$   $\theta = 0.25$

Coordenadas

$$X = 10.0$$

$$Y = 0.015$$

$L = 20.0 \text{ mts}$   $\theta = 1.0$

$$X = 20.0$$

$$Y = 0.116$$

$L = 30.0 \text{ mts}$   $\theta = 2.25$

$$X = 29.995$$

$$Y = 0.393$$

$L = 40.0 \text{ mts}$   $\theta = 4.0$

$$X = 39.980$$

$$Y = 0.931$$

$L = 50.0 \text{ mts}$   $\theta = 6.25$

$$X = 49.940$$

$$Y = 1.817$$

Todas las coordenadas tienen como eje X, la tangente (STe), y como origen el T.E. o E.T., en cada caso.

Por otro lado hacemos mención que para el cálculo de las coordenadas, existen tablas donde vienen tabulados datos unitarios de estas, las que se obtienen para valores diferentes de  $\theta$  y de L.

Con esto damos por terminado el análisis del cálculo de la curva en espiral y lo referente al trazo de las curvas horizontales.

## CURVAS VERTICALES

Antes de introducir el tema de las curvas verticales, veremos algunos conceptos del alineamiento vertical los cuales son necesarios considerar.

En el alineamiento vertical existen tangentes verticales las cuales están definidas por su pendiente y su longitud, la pendiente es la relación entre el desnivel y la distancia entre el fin de una curva anterior vertical y el principio de la siguiente curva medida horizontalmente.

Existe una pendiente llamada "pendiente gobernadora" que es la que teóricamente puede darse a la línea subrasante para dominar un desnivel determinado en función de las características del tránsito y la configuración del terreno, sirve de norma reguladora a la serie de pendientes que se deban proyectar para ajustarse en lo posible al terreno. La Secretaría de Comunicaciones y Transportes S.C.T. proporciona una tabla (I.5) en las que se indican los valores máximos de esta pendiente para los diferentes tipos de carretera y terreno.

La pendiente máxima se define como la mayor pendiente que se permite en el proyecto; queda determinada por el volumen y la composición del tránsito previsto, así como por la configuración del terreno. En la misma tabla anterior (I.5) de la S.C.T. Se indican los valores máximos de dicha pendiente para los diferentes tipos de caminos.

La pendiente mínima se fija para permitir el drenaje; en zonas con sección en corte y/o balcón no deberá ser menor de cero punto cinco por ciento (0.5%) para garantizar el buen funcionamiento de drenaje en la corona y las cunetas; en zonas con sección en terraplén la pendiente podrá ser nula.

CARRETERA TIPO	PENDIENTE GOBERNADORA (%)			PENDIENTE MAXIMA (%)		
	PLANO	TIPO DE TERRENO LOMERIO	MONTAÑOSO	PLANO	TIPO DE TERRENO LOMERIO	MONTAÑOSO
E	-	7	9	7	10	13
D	-	6	8	6	9	12
C	-	5	6	5	7	8
B	-	4	5	4	6	7
A	-	3	4	4	5	6

Tabla I.5 VALORES MAXIMOS DE LAS PENDIENTES GOBERNADORA Y DE LAS PENDIENTE MAXIMAS.

La longitud crítica, es la longitud máxima de una tangente vertical con pendiente mayor que la gobernadora, pero sin exceder la pendiente máxima; esta longitud queda determinada mediante un vehículo de proyecto, en este caso un camión cargado de tal forma que este pueda ascender sin reducir su velocidad más allá de un límite previamente establecido, considerando la configuración del terreno, el volumen y la composición del tránsito. En la siguiente figura (I.26) da las Normas de Servicios Técnicos de la S.C.T. se proporcionan los valores críticos de pendientes verticales mayores que la gobernadora.

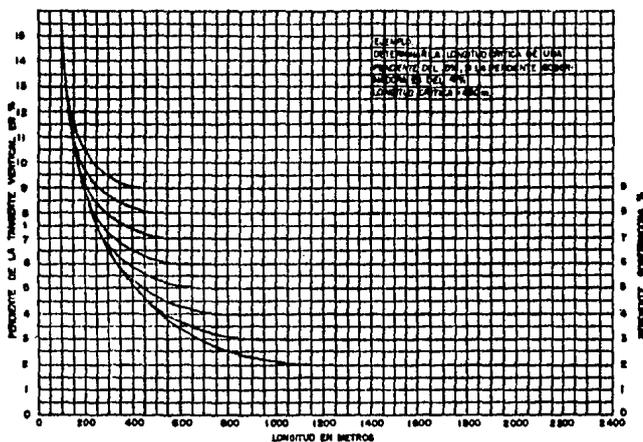


Figura I. 26 Longitud crítica de tangentes y verticales con pendiente mayor que la gobernadora

Curvas Verticales.- Son las que enlazan dos tangentes consecutivas del alineamiento vertical mediante arcos de parábola, tangentes a las mismas. La intersección de dos pendientes se denomina PIV (Punto de Intersección Vertical), el punto común de una tangente y una curva vertical en el inicio de éstas se representa como P C V (Principia Curva Vertical) y el punto común de la tangente y la curva al final de ésta como P T V (Principia Tangente Vertical).

Para analizar el tipo de una curva vertical se considera lo siguiente:

La condición óptima para un vehículo que toma una curva vertical, corresponde a un movimiento cuya componente horizontal de la velocidad sea constante, esto es:

$$V_x = \frac{dx}{dt} = C_1 \quad \text{--- (45)}$$

y para la componente horizontal de la aceleración será:

$$A_x = \frac{dV_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} \quad \text{--- (46)}$$

si llamamos  $U$  a la velocidad de vehículo al entrar a la curva, se tendrá que:

Para  $t = 0$   $V_x = U_x$

por lo que

$$U_x = \frac{dx}{dt} \quad \text{--- (47)}$$

despejando e integrando

$$\int dx = \int U_x dt$$

$$x = U_x t + C_2$$

cuando  $t = 0$  ,  $x = 0 \Rightarrow C_2 = 0$

$$t = \frac{x}{U_x} \quad \text{--- (48)}$$

Por otra parte

$$A_y = \frac{dV_y}{dt} = -g \quad \text{--- (49)}$$

Despejando

$$dV_y = -g dt$$

Integrando

$$\int dV_y = -\int g dt$$

$$V_y = -gt + C_3 \quad \text{--- (50)}$$

Para cuando  $t = 0$  se tiene

$$V_y = U_y \quad \Rightarrow \quad C_3 = U_y$$

sustituyendo en (50)

$$V_y = \frac{dy}{dt} = -gt + U_y$$

Despejando e Integrando

$$\int dy = -g \int t dt + \int U_y dt$$

$$y = \frac{-g t^2}{2} + U_y t \quad \text{--- (51)}$$

Además como

$$t = \frac{X}{U_x}$$
$$Y = -\frac{gX^2}{2U_x^2} + \frac{U_y X}{U_x}$$

Pero

$$\frac{U_y}{U_x} = P$$

Donde

P : Es la pendiente de la tangente de entrada y

$$-\frac{g}{2U_x^2} = K$$

En donde "K" es una constante que depende del criterio de diseño de la curva.

Por lo tanto reagrupando, se tiene:

$$Y = KX^2 + PX \quad \text{--- (52)}$$

La cual es la expresión de la parábola que se emplea en las curvas verticales.

Estas pueden tener concavidad hacia arriba o hacia abajo, recibiendo el nombre de curvas en columpio o en cresta respectivamente.

Los elementos que forman una curva vertical son los mostrados en la Figura I. 27



PIV	Punto de intersección de las tangentes verticales
PCV	Punto en donde comienza la curva vertical
PTV	Punto en donde termina la curva
PSV	Punto cualquiera sobre la curva vertical
P <sub>1</sub>	Pendiente de la tangente de entrada, en m/m
P <sub>2</sub>	Pendiente de la tangente de salida, en m/m
A	Diferencia algebraica de pendientes
L	Longitud de la curva vertical, en metros
K	Variación de longitud por unidad de pendiente (parámetro)
X	Distancia del PCV a un PSV, en metros
p	pendiente en un PSV, en metros/metros
P'	Pendiente de una cuerda, en m/m
E	Externa, en metros
F	Fecha, en metros
T	Desviación de un PSV a la tangente de entrada, en metros
Z <sub>0</sub>	Elevación del PCV, en metros
Z <sub>x</sub>	Elevación de un PSV, en metros

NOTA: Si X y L se expresan en estaciones de 20m la elevación de un PSV puede calcularse con cualquiera de las expresiones:

$$Z_x = Z_0 + (20P_1 - \frac{10AX}{L})X$$

$$Z_x = Z_{x-1} + 20P_1 - \frac{10A}{L}(2X-1)$$

Para calcular la longitud mínima de las curvas verticales la S.C.T. utiliza la siguiente expresión

$$L = K A \quad - - - (53)$$

En donde:

L : Longitud mínima de la curva vertical, en metros

K : Parámetro de la curva

A : Diferencia algebraica de las pendientes de las tangentes verticales, en por ciento

$$A = P_1 - P_2 \quad - - - (53')$$

El parámetro K está en función del criterio con que se diseñe la curva vertical. La S.C.T. utiliza el criterio de la visibilidad en la determinación de la longitud de la curva.

Para que las curvas verticales en cresta cumplan con la distancia de visibilidad necesaria, su longitud deberá calcularse a partir del parámetro K, que se obtiene con la expresión.

$$K = \frac{D^2}{2(\sqrt{H} + \sqrt{h})^2} \quad - - - (54)$$

Donde:

D : Distancia de visibilidad, en metros.

H : Altura del ojo del conductor (1.14 m)

h : Altura del objeto (0.15 m.)

En el caso de las curvas verticales en columpio esta distancia se calcula también con el parámetro  $k$  obtenido de la siguiente expresión

$$k = \frac{D^2}{2(TD + H)} \quad \text{--- (55)}$$

En donde

D : Distancia de visibilidad, en metros

T : Pendiente del haz luminoso de los faros. (0.0175 )

H : Altura de los faros (0.61 m)

Los valores mínimos del parámetro  $K$  así como la longitud de las curvas verticales tanto de parada como de encuentro pueden verse en la Tabla I.6 que proporciona la S.C.T. y en las figuras I.28 y I.29 que da la misma institución y que se muestran a continuación.

VELOCIDAD DE PROYECTO (km/h)	VALORES DEL PARAMETRO $K$ (m/g)				LONGITUD ACEPTABLE	MINIMA (m)
	CURVAS EN CRESTA		CURVAS EN COLUMPIO			
	CARRETERA E	TIPO D.C.B.A.	CARRETERA E.D.C.B.A.	T I P O		
30	4	3	4		20	
40	7	4	7		30	
50	12	8	10		30	
60	23	14	15		40	
70	36	20	20		40	
80	-	31	25		50	
90	-	43	31		50	
100	-	57	37		60	
110	-	72	43		60	

77

TABLA I.6 VALORES MINIMOS DEL PARAMETRO Y DE LA LONGITUD MINIMA ACEPTABLE DE LAS CURVAS VERTICALES.

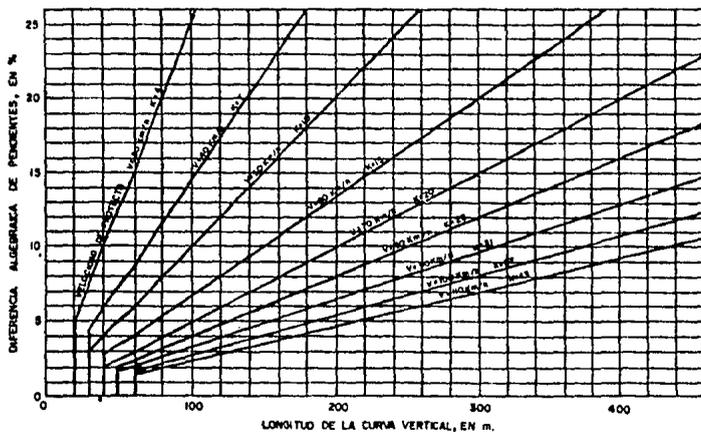


Figura I. 28 Longitud mínima de las curvas verticales en columpio

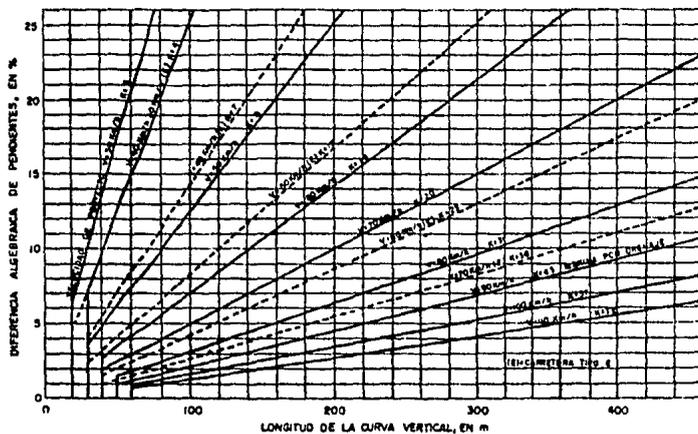


Figura I. 29 Longitud mínima de las curvas verticales en cresta

Para la distancia de visibilidad de rebase la S.C.T. proporciona en la Tabla I.7 los valores de K correspondientes a diversos valores de velocidad.

Velocidad de proyecto en km/h	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Parámetro K para rebase en M/%	18	32	50	73	99	130	164	203	245

Tabla I.7

Para curvas verticales en cresta con pendientes de entrada y salida de signos contrarios, se deberá revisar el drenaje cuando a la longitud de la curva proyectada corresponda un valor del parámetro K superior a 43.

A continuación analizaremos algunos aspectos geométricos de la curva vertical.

Pendiente en un Punto Cualquiera de la Curva (P).- Para determinarla se parte de la propiedad de la parábola de que la variación de la pendiente a lo largo de ella, respecto a su longitud, es uniforme.

De lo anterior y apoyándonos en la Figura I.27 puede establecerse la siguiente proporción:

$$\frac{P_1 - P_2}{L} = \frac{P_1 - P}{X}$$

Donde

$$P_1 - P_2 = A$$

Entonces

$$\frac{A}{L} = \frac{P_1 - P}{X}$$

Por lo tanto

$$P = P_1 - \frac{AX}{L} \quad \text{---(56)}$$

Pendiente de la cuerda a un Punto Cualquiera (P').- Partiendo de la propiedad de la parábola donde la pendiente de una cuerda es el promedio de las pendientes de las tangentes a la parábola en los puntos extremos de la cuerda, esto es:

$$P' = \frac{P_1 + P}{2} \quad \text{---(57)}$$

y teniendo en cuenta la expresión (56)

$$P' = \frac{P_1}{2} + \frac{1}{2} \left( P_1 - \frac{AX}{L} \right)$$

Por lo tanto

$$P' = P_1 - \frac{AX}{2L} \quad \text{---(58)}$$

Desviación Respecto a la Tangente.- Es la diferencia de ordenadas entre la prolongación de la tangente y la curva. Partiendo de la propiedad de la parábola que establece:

$$T = ax^2 \quad \text{---(59)}$$

En el P.T.V.

$$T = \sigma L^2 \quad \text{--- (60)}$$

De la figura I.27

$$\begin{aligned} T &= \frac{P_1 L}{2} + \frac{P_2 L}{2} \\ &= \frac{L}{2} (P_1 + P_2) \end{aligned}$$

6

$$T = \frac{A L}{2}$$

sustituyendo en 60,

$$\frac{A L}{2} = \sigma L^2$$

$$\sigma = \frac{A}{2L} \quad \text{--- (61)}$$

Finalmente

$$T = \frac{A}{2L} X^2 \quad \text{--- (62)}$$

Externa (E).- Es la distancia entre el P.I.V. y la curva, medida verticalmente. De la ecuación 62 tenemos que:

$$E = \frac{A}{2L} \left( \frac{L}{2} \right)^2$$

$$E = \frac{AL}{8} \quad \text{--- (63)}$$

Flecha (f) .- Es la distancia entre la curva y la cuerda P.C.V.- P.T.V. medida verticalmente. De la figura I.27 se tiene que

$$f = \frac{P_2 L}{2} - E - e$$

$$f = \frac{P_2 L}{2} - \frac{AL}{8} - e \quad \text{--- (64)}$$

Donde:

e : Distancia vertical de la pendiente de la cuerda PTV-PCV multiplicado por L/2

Aplicando la expresión 58 se tiene

$$P' = P_1 - \frac{AL}{2L}$$

multiplicando por L/2

$$e = - \left( P_1 - \frac{AL}{2L} \right) \frac{L}{2}$$

$$e = - \frac{P_1 L}{2} + \frac{AL}{4}$$

Sustituyendo en la ecuación 64 tenemos que

$$\begin{aligned}
 f &= \frac{P_1 L}{2} - \frac{AL}{8} + \frac{P_2 L}{2} - \frac{AL}{4} \\
 &= \left( \frac{P_1 + P_2}{2} \right) L - \frac{3AL}{8} \\
 &= \frac{AL}{2} - \frac{3AL}{8} \\
 f &= \frac{AL}{8} \qquad \qquad \qquad \text{--- (65)}
 \end{aligned}$$

Elevación de un punto cualquiera de la curva ( $Z_x$ ). De la figura I.27

$$Z_x = Z_0 + (P_1 X - T)$$

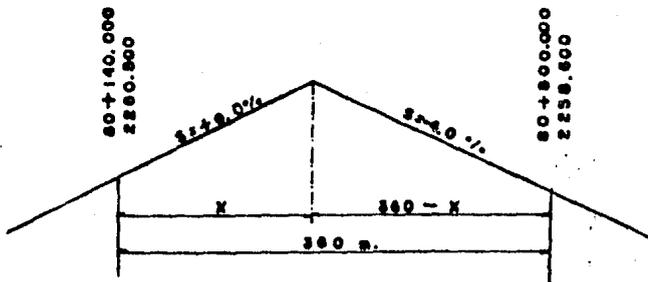
sustituyendo el valor de T y reagrupando

$$\begin{aligned}
 Z_x &= Z_0 + \left( P_1 X - \frac{A}{2L} X^2 \right) \\
 Z_x &= Z_0 + \left( P_1 - \frac{AX}{2L} \right) X \qquad \qquad \qquad \text{--- (66)}
 \end{aligned}$$

Con base a todo lo anterior procederemos a realizar un ejemplo de cálculo para una carretera tipo B.

### EJEMPLO

Calcular la curva vertical en cresta que tiene una velocidad de proyecto de 70 km/h., con una tangente de entrada con pendiente de +6% y una pendiente de salida de -4%. Un punto conocido de la tangente de entrada, es el cadenamamiento 80 + 140.00 y elevación de 2 270.500. Un punto conocido de la tangente de salida es 80 + 500.000 y elevación de 2 258,600



## Solución

Se obtendrá primero el cadenamiento y la elevación del P.I.V.. Igualando las ecuaciones de ambas tangentes tenemos

$$0.06X + 60.5 = 0.04(360 - X) + 58.6$$

$$60.5 - 14.4 - 58.6 = -0.04X - 0.06X$$

$$-12.5 = -0.10X$$

$$X = 125$$

Por lo tanto, el cadenamiento del P.I.V. es

$$\begin{array}{r} 80 + 140.000 \\ + 125.000 \\ \hline \text{P.I.V.} = 80 + 265.000 \end{array}$$

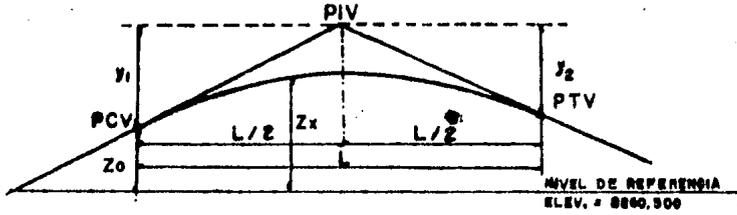
Se calculará ahora la cota del P.I.V.

$$125.000 \times 0.06 = 7.5$$

$$\begin{array}{r}
 2\ 260,500 \\
 + \quad 7,500 \\
 \hline
 \end{array}$$

Elev. del P.I.V. = 2 268,000

Ahora se calcula la curva vertical



De la expresión  $A = P_1 - P_2$  tenemos

$$A = P_1 - (-P_2)$$

$$A = 6 - (-4) = 10$$

de la expresión 53

$$K = \frac{L}{A}$$

y apoyandonos en la gráfica de la figura I.28.

Para una

$$V = 70 \text{ Km / hr.}$$

$$A = 10$$

Se tiene

$$K = 20$$

Por lo tanto

$$L = 20 \times 10 = 200 \text{ m}$$

$$L/2 = 100 \text{ m}$$

Para el cálculo de cadenamientos de los puntos principales se tiene.

Cadenamiento del P.C.V.

$$\begin{aligned}
 P. C.V. &= P.I.V. - L/2 \\
 &= 80 + 265.000 - 100.000
 \end{aligned}$$

$$P. C.V. = 80 + 165.000 \text{ m}$$

Cadenamiento del P.T.V.

$$\begin{aligned}
 PTV &= PIV + L/2 \\
 &= 80 + 265.000 + 100.000 \\
 PTV &= 80 + 365.000
 \end{aligned}$$

Para el cálculo de niveles de los puntos principales se tiene

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= 100 \times 0.06 \\
 &= 6.000
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ELEV. PCV} &= \text{ELEV. PIV} - Y_1 \\
 &= 2268.000 - 6.000
 \end{aligned}$$

$$\text{ELEV. PCV} = 2262.000 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 Y_2 &= 100 \times 0.04 \\
 &= 4.000
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ELEV. PTV} &= \text{ELEV. PIV} - Y_2 \\
 &= 2268.000 - 4.000
 \end{aligned}$$

$$\text{ELEV. PTV} = 2264.000$$

A partir de los niveles de los puntos principales, se deben dar los niveles de cada "X" metros en cadenamiento cerrado, para lo cual utilizamos la fórmula 66 vista anteriormente, y se dan cadenamientos a cada 20 m. como se puede observar en la siguiente tabla

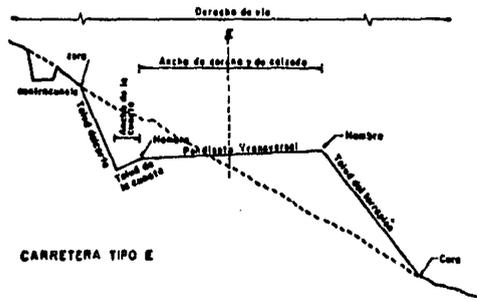
Cadenamiento	X	$2\ 262.000 + (0.06 - \frac{0.10X}{400}) X$
P.C.V. = 80 + 165.000	0	2 262.000
185.000	20.000	2 263.100
205.000	40.000	2 264.000
225.000	60.000	2 264.700
245.000	80.000	2 265.200
265.000	100.000	2 265.500
285.000	120.000	2 265.600
305.000	140.000	2 265.500
325.000	160.000	2 265.200
345.000	180.000	2 264.700
P.T.V. = 365.000	200.000	2 264.000

Se calculan todas las curvas y se anotan sus datos en el plano de perfil. Con lo cual terminamos el ejemplo de aplicación y el subtema correspondiente.

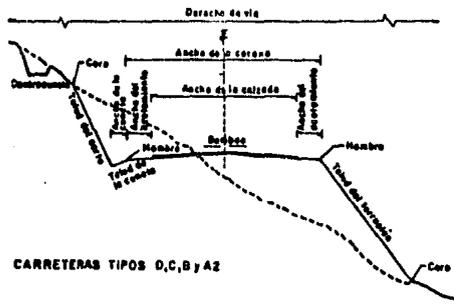
## 1.6 ESPECIFICACIONES GEOMETRICAS DE UN CAMINO

### Especificaciones Geométricas de la Sección Transversal

La sección transversal está definida por la corona, cunetas, taludes, contracunetas, partes complementarias y el terreno comprendido dentro del derecho de vía, como se puede observar en las figuras I.30 y I.31.



CARRETERA TIPO E



CARRETERAS TIPOS D, C, B y A2

FIG. I .30 SECCION TRANSVERSAL EN TANGENTE DEL  
ALINEAMIENTO HORIZONTAL PARA CARRETERAS  
TIPOS E, D, C, B y A2



La corona.- Es la superficie de camino, definida por la calzada y los acotamientos con su pendiente transversal y en su caso, la faja separadora central, los elementos que definen la corona son:

1.- La rasante

2.- La pendiente transversal

1.- La rasante es la línea obtenida al proyectar sobre un plano vertical el desarrollo del eje de la corona del camino; en la sección transversal, está representada por un punto.

2.- Pendiente transversal es la pendiente que se da a la corona normal a su eje y se representa en tres formas:

a) Como bombeo

b) Como sobreelevación

c) Como transición de bombeo o sobreelevación

El bombeo es la pendiente transversal descendente de la corona, a partir de su eje y hacia ambos lados en tangente, con el objeto de evitar la acumulación del agua en el camino, los valores de esta pendiente están en función del tipo de rodamiento.

Según la S.C.T. el bombeo en la corona debe ser:

De menos dos por ciento (-2%) en carreteras tipo A, B, C y D pavimentadas.

De menos tres por ciento (-3%) en carreteras tipo D y E revestidas.

Se entiende por sobreelevación, a la pendiente que se le da a la corona hacia el centro de la curva para contrarrestar parcialmente el efecto de la fuerza centrífuga de un vehículo en las curvas horizontales, la sobreelevación está en función

del grado de curvatura de la velocidad y del coeficiente de fricción del piso - como se vió en la expresión 10.

$$G_{\text{máx.}} = 146\ 000 \frac{(S_{\text{máx.}} + 4)}{V^2}$$

$$S_{\text{máx.}} = \frac{G_{\text{máx.}} \cdot V^2}{146\ 000} - 4 \quad \text{--- (67)}$$

O se puede expresar en función de la velocidad, el radio y el coeficiente de - fricción del piso.

De la expresión 6 y sustituyendo en 67

$$S_{\text{máx.}} = \frac{1\ 145.92 \cdot V^2}{146\ 000 \cdot R_c} - 4$$

Simplificando

$$S_{\text{máx.}} = \frac{0.0078488 \cdot V^2}{R_c} - 4 \quad \text{--- (68)}$$

Al final de este capítulo se anexan las tablas de la S.C.T. donde aparecen los valores de la sobreelevación máxima en función de lo dicho anteriormente y del tipo de camino.

Como transición del bombeo a la sobreelevación, se requiere cambiar la pendiente de la corona, el cual se hace gradualmente en toda la longitud de la espiral de transición o sobre las tangentes contiguas a la curva, para este último - caso se da una "Transición Mixta", es decir parte de la transición se da sobre las tangentes y parte sobre la curva.

En curvas espirales de transición y en transición mixta, la sobreelevación de la corona, en un punto Cualquiera de la curva, estará dada por la expresión.

$$S = \frac{L}{L_e} S_c \quad \text{--- (69)}$$

En donde

S : Sobreelevación de la corona en un punto cualquiera de la curva espiral - de transición o de la transición mixta en por ciento.

L : Distancia del origen de la transición al punto considerado en el que se desea determinar la sobreelevación de la corona en metros.

$L_e$ : Longitud de la curva espiral de transición o de la transición mixta, en metros

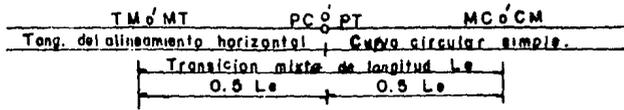
$S_c$ : Sobreelevación de la corona correspondiente al grado de curvatura en por ciento.

Para el desarrollo de la sobreelevación de la corona, se puede hacer en tres formas. El primero consiste en girar la sección sobre el eje de la corona. El segundo en girar la sección sobre la orilla interior de la corona y el tercero en girar la sección sobre la orilla exterior de la corona.

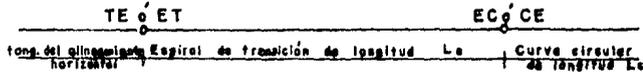
En la figura I.32 se muestra el primer caso en donde se hace girar la sección sobre el eje de la corona.

LOCALIZACION RELATIVA DE LAS TRANSICIONES

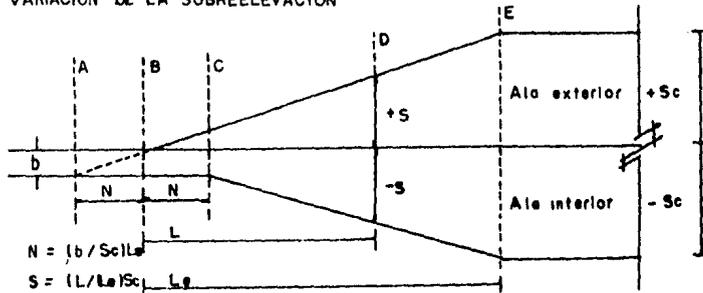
a) Transición mixta



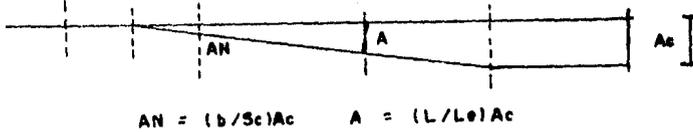
b) Espiral de transición



VARIACION DE LA SOBREELEVACION



VARIACION DE LA AMPLIACION



SECCIONES TRANSVERSALES

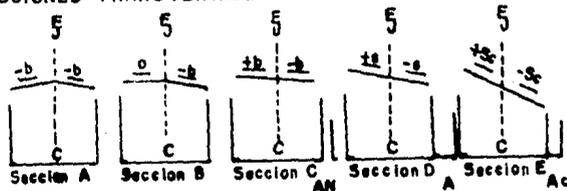


FIG.1.32 DESARROLLO DE LA SOBREELEVACION Y LA AMPLIACION

En los extremos de las curvas espirales de transición o de las transiciones mixtas, se hacen los ajustes indicados en la figura I.32 vista anteriormente para ligar la sobreelevación con el bombeo. La longitud mínima de las transiciones mixtas y de las espirales de transición será la indicada en las tablas anexas -- que vienen al final del capítulo. En todos los casos, la transición mixta deberá proyectarse considerando un medio de su longitud sobre la tangente del alineamiento horizontal y el medio restante dentro de la curva circular.

En tangente del alineamiento horizontal el acotamiento, faja separadora, ancho de la calzada y la corona para cada tipo de carretera y de terreno, la S.C.T. - proporciona la tabla I.8 donde especifica esta distancia.

TIPO DE CARRETERA	ANCHOS DE				
	CORONA (m)	CALZADA (m)	ACOTAMIENTOS (m)	FAJA SEPARADORA CENTRAL (m)	
E	4.00	4.00	-	-	
D	6.00	6.00	-	-	
C	7.00	6.00	0.50	-	
B	9.00	7.00	1.00	-	
(A2)	12.00	7.00	2.50	-	
A	(A4) 22.00 mínimo	2 x 7.00	EXT 3.00	INT. 0.50 *	1.00 mínimo
	(A4S) 2 x 11.00	2 x 7.00	3.00	1.00	8.00 Mínimo

\* Deberá prolongarse la carpeta hasta la guarnición

TABLA I.8 ANCHOS DE CORONA, DE CALZADA, DE ACOTAMIENTOS Y DE LA FAJA SEPARADORA CENTRAL

En curvas y transiciones del alineamiento horizontal el ancho de la corona deberá ser la suma de los anchos de la calzada, de los acotamientos y en su caso de la faja separadora central.

El ancho de la calzada en curvas circulares será, el ancho en tan gente más una ampliación en su lado interior de la curva circular cuyo valor se proporciona en las tablas anexas que vienen al fi - nal del capítulo.

En las curvas espirales de transición y en transiciones mixtas es te valor será el ancho en tangente más una ampliación variable en el lado interior de la curva espiral o en el de la transición mix ta, cuyo valor está dado por la expresión 70.

$$A = \frac{L}{L_e} A_c \quad - - - (70)$$

En donde

A : Ampliación del ancho de la calzada en un punto de la cur - va espiral a la transición mixta, en metros.

L : Distancia del origen de la transición al punto cuya apli - cación se desea determinar, en metros.

Le: Longitud de la curva espiral o de la transición mixta, en metros.

Ac: Ampliación total del ancho de la calzada correspondiente a la curva circular, en metros.

Sólo las carreteras tipo "E" no requieren de ampliación por curva tura horizontal.

Por requisitos operacionales será necesario ampliar el ancho de la calzada, formando libraderos, para permitir el paso simultáneo a dos vehículos.

El ancho de la Calzada en la zona del libramiento será el correspondiente al de la carretera tipo "D", su longitud será de 20 metros -- más dos transiciones de 5 metros cada una y se espaciaron a una distancia de 250 metros, o menos, si así lo requiere la visibilidad entre ellas.

Las faja separadora central deberá proyectarse únicamente en carreteras tipo "A" de 4 carriles las cuales se presentan dos casos:

- a) Cuando la sección transversal esté formada por un solo cuerpo, - el ancho mínimo de la faja separadora central deberá ser un metro.
- b) Cuando la sección transversal esté formada por dos cuerpos separados, el ancho mínimo, de la faja separadora central debería -- ser de ocho metros.

Con esto damos por terminado con las especificaciones geométricas - que se deben cumplir en la construcción de un camino para su correcto funcionamiento. Asimismo, con el capítulo.

CONCEPTO	UNIDAD	TIPO DE CARRETERA					
		E	D	C	B	A	
TDPA EN EL HORIZONTE DE PROYECTO	VOM	HASTA 100	100 a 500	500 a 1500	1800 a 3000	MAS DE 5000	
TERRENO							
VELOCIDAD DE PROYECTO	km/h	30 40 50 60 70	30 40 50 60 70 40	50 60 70 80 90 100	80 90 100 110 120	80 90 100 110	
DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA	m	30 40 58 75 95	30 40 55 75 95 40	55 75 95 115 135 155	85 95 115 135 155 175	95 115 135 155 175	
DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE REBASE	m	-- -- -- --	155 100 225 70 315	180 225 270 315 360 405 450	225 270 315 360 405 450 495	270 315 360 405 450 495	
GRADO MAXIMO DE CURVATURA	°	9 30 17 11 75	60 30 17 11 75 50 17	11 75 55 425 325 17	11 75 55 425 325 17 11 75 55 425 325 17	11 75 55 425 325 17 11 75 55 425 325 17	
CURVAS	K	CRESTA	m%	4 7 12 23 36	3 4 8 14 20 4 8 14 20 31 43 57	8 14 20 31 43 57 72	14 20 31 43 57 72
		COLUMPIO	m%	4 7 10 18 20	4 7 10 18 20 7 10 15 20 25 31 37 43	15 20 25 31 37 43 45	20 25 31 37 45
VERTICALES		LONGITUD MINIMA	m	20 30 30 40 40	20 30 30 40 40 30 30 40 40 50 50 60 60	30 40 40 50 50 60 60 60 60 60 60 60 60	40 40 50 50 60 60
PENDIENTE GOBERNADORA	m	9 7	8 6	6 5	5 4	4 3	
PENDIENTE MAXIMA	m	13 10 7	12 9 6	8 7 5	7 6 4	6 5 4	
LONGITUD CRITICA	m	VER FIG. No	VER FIG. No	VER FIG. No	VER FIG. No	VER FIG. No	
ANCHO DE CALZADA	m	4.0	6.0	6.0	7.0	8.0	
ANCHO DE CORONA	m	4.0	6.0	7.0	9.0	12.0	
ANCHO DE ACOTAMIENTOS	m	--	--	0.5	1.0	2.5	
ANCHO DE LA FAJA SEPARADORA CENTRAL	m	--	--	--	--	3.0 3.0	
BOMBEO	%	3	3	2	2	2	
SOBREELEVACION MAXIMA	%	10	10	10	10	10	
SOBREELEVACIONES PARA GRADOS MENORES AL MAXIMO	%						
AMPLIACIONES Y LONGITUDES MINIMAS DE TRANSICIONES	m	VER TABLA No	VER TABLA No	VER TABLA No	VER TABLA No	VER TABLA No	

100

TABLA A.

VELOCIDAD	30				40				50				60				70				
	Ge	Re	At	Se	Lo	Ge	Re	At	Se	Lo	Ge	Re	At	Se	Lo	Ge	Re	At	Se	Lo	
10	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
15	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
20	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
25	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
30	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
35	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
40	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
45	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
50	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
55	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
65	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
70	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
75	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
80	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
85	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
90	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
95	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
100	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

**Ge** Ampliación de la celsada y la corona, en cm.  
**Re** En carreteras tipo E no se dará la ampliación por curvatura a menos que se proyecten libraderos en curva bajo señal.  
**At** Sobreelevación, en porcentaje.  
**Lo** Longitud de la transición mixta, en metros.

Nota.- Para grados intermedios no previstos en la tabla, At, Ge y Lo se utilizan por interpolación. Usar.

**TABLA B: AMPLIACIONES, SOBREELEVACIONES Y TRANSICIONES PARA CARRETERAS TIPO E y D**



VELOCIDAD		80				90				100				110						
st	st	As	Be	La	st	st	As	Be	La	st	st	As	Be	La	st	st	As	Be	La	
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105
110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130
135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135
140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145
150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155
160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160
165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165
170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175
180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185
190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190
195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195
200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200

As Ampliación de la calzada y la corona, en cm.

Be Sobreelevación, en porcentajes.

La Longitud de la transición, en metros

(Abajo de la línea gruesa se emplearán espirales de transición y arriba de esas transiciones simples)

Nota: Para grados de curvatura de peralte en la tabla, As, Be, La se utilizan por interpolación lineal

TABLA D: ANCHURAS, SOBREELEVACIONES Y TRANSICIONES PARA CARRETERAS TIPO B y A(As)

VELOCIDAD		70				80				90				100				110									
Gc	Rc	Ae		Sc	Le		Ac		Sc	Le		Ac		Sc	Le		Ac		Sc	Le							
		A4S	A4		A4S	A4	A4S	A4		A4S	A4	A4S	A4		A4S	A4	A4S	A4		A4S	A4	A4S	A4				
0 15	2443.64	0	20	20	18	67	0	20	20	46	76	0	30	20	60	88	0	30	20	36	98	0	30	20	62	108	
0 30	2221.84	20	30	20	39	67	20	30	20	46	76	20	40	20	50	88	20	40	20	36	98	20	40	20	57	82	108
0 45	1827.88	20	40	20	39	67	20	40	20	46	76	30	50	20	50	88	30	40	34	56	95	30	40	20	40	62	108
1 00	1149.82	20	40	20	39	67	30	50	30	46	76	50	60	40	40	88	50	70	48	58	90	50	70	40	40	62	108
1 15	916.14	30	50	30	39	67	30	60	37	46	76	40	50	40	40	88	40	70	48	58	90	40	40	40	40	62	108
1 30	743.94	30	60	34	39	67	30	60	44	46	76	40	70	40	50	88	40	80	44	58	90	40	60	40	40	62	108
1 45	602.61	30	60	41	39	67	40	70	50	46	76	40	80	50	50	88	40	90	73	58	98	30	100	60	40	71	121
2 00	572.96	30	70	48	39	67	40	80	67	46	76	40	90	60	50	88	40	100	67	63	100	60	100	60	50	71	121
2 15	509.30	40	80	51	39	67	40	90	81	46	76	50	100	70	50	88	40	100	67	70	110	60	110	60	50	83	121
2 30	484.37	40	80	55	39	67	50	90	58	46	76	50	100	70	50	88	40	110	62	74	120	60	120	60	50	86	121
2 45	416.70	40	80	60	39	67	50	90	73	47	76	50	110	80	60	103	60	110	66	77	131	60	120	100	60	89	130
3 00	381.97	30	80	64	39	67	60	100	77	49	84	60	110	80	63	108	40	120	69	78	135						
3 15	352.59	30	80	67	39	67	60	110	81	52	84	60	120	80	68	113	60	130	60	80	139						
3 30	327.40	30	100	71	40	68	60	110	89	54	88	60	120	80	69	118											
3 45	306.50	60	110	75	42	71	60	120	88	56	96	60	130	90	71	120											
4 00	286.46	60	110	78	46	74	60	120	91	58	99	70	130	99	71	121											
4 15	268.45	60	110	81	49	77	60	130	96	60	102	70	140	100	72	122											
4 30	254.58	60	120	84	47	80	70	130	98	61	104																
4 45	241.39	60	120	87	49	83	70	140	97	62	106																
5 00	229.19	60	130	89	50	85	70	140	99	63	108																
5 15	218.97	60	130	91	51	87	80	140	100	63	108																
5 30	208.60	70	140	93	52	89	80	150	100	64	109																
5 45	198.29	70	140	94	53	90																					
6 00	190.09	70	150	94	54	91																					
6 15	182.89	70	150	97	54	92																					
6 30	176.29	80	160	94	55	93																					
6 45	169.71	80	160	95	55	94																					
7 00	163.79	80	160	98	55	94																					
7 15	158.09	80	160	100	55	95																					
7 30	152.78	80	170	100	56	95																					

Ac Ampliación de la calzada y la corona,  
en cm.

Sc Sobreelevación, en porcentaje.

Le Longitud de la transición, en metros.

(Abajo de la línea gruesa se emplearán espirales  
de transición y arriba se usaran transiciones  
mixtas)

Nota: Para grados de curvatura no previstos en la tabla, Ac, Sc y Le se obtienen por interpolación lineal.  
A4S - Dos carriles en cada cuerpo (cuerpos separados) con el eje de proyección en el centro de cada calzada.  
A4 - Cuatro carriles en un solo cuerpo, con el eje de proyección calculado con el eje geométrico.

TABLA E : AMPLIACIONES, SOBRE ELEVACIONES Y TRANSICIONES  
PARA CARRETERAS TIPO A (A4S Y A4)

C A P I T U L O    I I

TERRACERIAS

## II.1 ELEMENTOS DE LAS TERRACERIAS

Para una mejor fijación de ideas con respecto a los trabajos que - deben ejecutarse con la denominación de terracerías las podemos vi sualizar basándonos en las definiciones que se presentan para este tipo de trabajo.

Se entiende por terracerías al conjunto de cortes y terraplenes de una obra vial.

Cortes.- Son las excavaciones y remociones de los materiales pro-- ducto de los mismos realizadas en el terreno natural con el objeto de formar la subrasante, los taludes, las cunetas y los desplantes de los terraplenes.

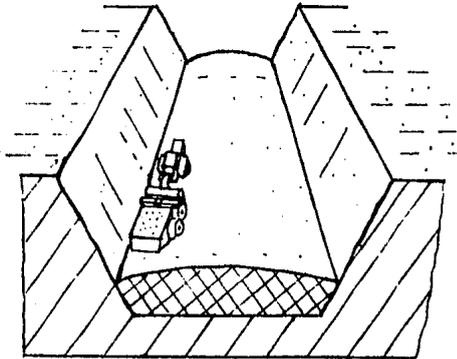


FIG. II.1

Terraplenes.- Son estructuras construídas sobre el terreno con material adecuado producto de un corte o de un préstamo; hasta la su brasante, con alineamiento, perfil, y sección de acuerdo con el proyecto.

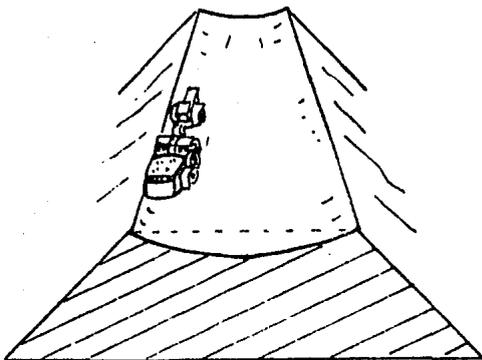


FIG. II. 2

Préstamos.- Son las excavaciones que se ejecutan fuera del trazo con el fin de obtener los materiales que sirvan para formar los terraplenes no compensados.

Desperdicios de un corte.- Es el material que se extrae de los cortes y que no se utiliza en la formación de terraplenes por no satisfacer las especificaciones, como por ejemplo, fragmentos de roca demasiado grandes, materiales con muy alta plasticidad o con

ningún valor de cementación; igualmente aquellos que tienen peso volumétrico inferior a  $1\ 400\ \text{kg/m}^3$  (turbas y materiales vegetables).

**Acarreo para terracerías.**- Es el transporte para el acarreo del material producto de las excavaciones de los cortes o de los préstamos para construir un terraplén o efectuar un desperdicio. Según la distancia de transporte los acarreos pueden definirse en:

**Acarreo libre**  
**sobreacarreo**

**Acarreo Libre**

Es el efectuado en una distancia fijada en el proyecto la que generalmente es de 20 metros y por el cual no se hace ningún pago directo quedando entendido que está incluido en el precio unitario del material excavado.

**Sobreacarreo**

Es el transporte que se efectúa en una distancia en exceso de la del acarreo libre. El sobreacarreo se cobrará, conforme al análisis de costos que se apruebe.

**Clasificación de materiales**

Es común y corriente clasificar los materiales de que está formado

el suelo para así emplear el procedimiento de construcción más apropiado.

Los materiales de cortes, de acuerdo con la dificultad que presenten para su extracción y carga, se clasifican tomando como base los tres tipos siguientes:

Material Tipo A

Material Tipo B

Material Tipo C

Y dependiendo del tratamiento que van a tener en la formación de los terraplenes, se clasifican en:

Materiales Compactables

Materiales no Compactables

Material Tipo A.- Es de naturaleza blanda o suelta que puede ser atacado con pico, pala de mano, escrepa o pala mecánica de 90 a 110 H.P. sin auxilio de arados o tractores empujadores, aunque estos puedan ser utilizados para obtener mayores rendimientos. Además se consideran como material A, los suelos poco o nada cementados con partículas menores de 3" (7.6 cm).

Material Tipo B.- Es el que, por dificultad de extracción y carga sólo puede ser excavado eficientemente por tractor de oruga de 140 a 160 H.P. de potencia en la barra, o con pala mecánica de capaci-

dad mínima de  $1 \text{ m}^3$  sin el uso de explosivos, aunque por conveniencia se utilice para aumentar el rendimiento; o bien que pueda ser aflojado con arado de 6 toneladas jalado por tractor de oruga de igual potencia (de 140 a 160 H.P.). Dentro de este material se consideran las piedras sueltas menores de 75 cms. y mayores de 3" (7.6 cms.).

Los materiales más comunmente clasificables dentro de este grupo, son las rocas muy alteradas, conglomerados medianamente cementados, areniscas blandas y tepetates.

Material Tipo C.- Es el que, por su dificultad de extracción, sólo puede ser excavado mediante explosivos; además, también se considera dentro de este tipo las piedras sueltas con una dimensión mayor a 75 cms. y requiere para su remoción el uso de pala mecánica de gran capacidad.

Entre los materiales clasificables como material C, se encuentran las rocas basálticas, las areniscas y los conglomerados fuertemente cementados, calizas, riolitas, granitos y andresitas sanas.

A los materiales que presentan características intermedias a las descritas anteriormente, se les fijará una clasificación acorde con la dificultad que hayan presentado para su extracción y carga, asignándole porcentajes de material A y B o B y C respectivamente, en proporción de las características medias del material de que se trate, como por ejemplo; un suelo poco o nada cementado con partículas menores de 7.5 cms., se clasificará 100 - 0 - 0, correspondien

do la primera cifra al material A y los ceros a los materiales B y C. Para un material que presente mayor dificultad de extracción - que el material A, pero menor que el material B, deberá apreciarse la clasificación intermedia que le corresponda, en el caso de que un material sea precisamente intermedio se clasificará 50 - 50 - 0, etc., otro tipo de clasificación del porcentaje puede observarse en la tabla I.1.

#### Materiales Compactables

Un material se considera compactable cuando es posible controlar su compactación por alguna de las pruebas del laboratorio, como la - PACTOR, PORTER, etc.

#### Materiales no Compactables

Son aquellos donde no es posible controlar su compactación por alguna de las pruebas del laboratorio; siendo unos ejemplos de este material los siguientes: fragmentos de roca provenientes de mantos sanos, tales como basaltos, conglomerados fuertemente cementados, calizas, riolitas, granitos, andresitas y otras:

De lo anteriormente descrito procederemos al procedimiento constructivo de las etapas de las terracerías.

#### 11.2 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LAS TERRACERIAS

Una vez realizado el correcto proporcionamiento de materiales para-

muestras de terracerías y la determinación de los acarrees por medio de un cuidadoso estudio de la curva masa, el siguiente paso - consistirá en construir las terracerías procurando hacerlo apeándose a las condiciones que el proyecto nos ha limitado.

El inicio de la construcción de las terracerías comienza desde el desmonte y despalme de terreno las cuales se describen a continuación:

Desmonte.- Consiste en limpiar la vegetación existente en el derecho de vía y en las áreas destinadas a los bancos del material con objeto de evitar material vegetal en la obra, impedir daños a la misma y permitir buena visibilidad. Este trabajo consiste en la ejecución de cualquiera de las operaciones siguientes:

- a.- Tala.- Es el proceso de cortar los árboles y arbustos.
- b.- Roza.- Actividad mediante la cual se elimina la maleza, hierba, zacate o residuo de las siembras.
- c.- Descenraíce.- Es el paso en la cual se sacan los troncos o tocones con raíces o cortando éstas.
- d.- Limpiar y quemar.- Es el retiro del producto del desmonte, estibarlo y quemar lo no utilizable.

Despalme.- Consiste en la remoción de la capa superficial del terreno natural en los sitios destinados a bancos, cortes y terraple

nes, ésta remoción se hace en el caso de desplante de terraplenes a una profundidad fijada y dentro de los 500 metros contiguos adelante de cada frente de ataque de las terracerías.

Para dar inicio a las actividades anteriores y llevar a cabo los trabajos de construcción de las terracerías, primeramente se traza la vía del camino mediante estacas en los puntos característicos, como el eje de trazado, los datos de corte y terraplén, el extremo de las pendientes y rampas, los vértices de las curvas y los puntos que definen las secciones transversales y movimiento de tierras.

Las primeras estacas se ponen en la línea central, en las que marcan la profundidad de corte o la altura del terraplén, y las estacas de talud que marcan los límites exteriores del área que debe desmontarse, limpiarse y conformarse; además sirven de guía para los trabajos de cortes de gran espesor o terraplenes altos.

Cuando el nivel de terracerías se vaya aproximando a la subrasante serán necesarias más estacas, que se colocarán ya sea arriba o abajo de los taludes, en la línea central y en los hombros de la corona para así poder llegar al afinamiento de la subrasante.

La información anotada en las estacas servirá de guía a los operadores del equipo quienes al mismo tiempo tendrán siempre a mano las cotas y alineamientos del camino durante la construcción. Los constructores no tendrán más que estas estacas para guiarse durante el lapso de la operación de remover la tierra. Con los datos -

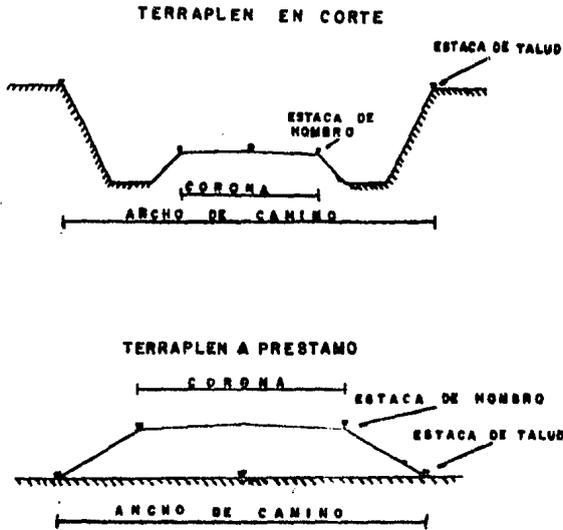
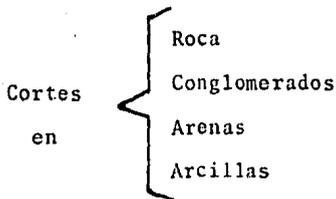


FIG. 11.3

anteriores y terminada la limpieza del terreno se procederá a la ejecución y remoción de las terracerfias las cuales dividiremos para mayor claridad en cortes y terraplenes.

### CORTES

Los cortes se pueden presentar en cuatro tipos de materiales que son:



En cualquiera de estos cuatro materiales que se haga el corte debe llenar una indicación de la cual parte de las observaciones particulares de cada uno, esto es lo que dice que toda construcción debe estar en todas sus etapas en las condiciones de estabilidad o de trabajo que sea proyectada, esto es, que nunca se debe tener la construcción en condiciones de desequilibrio mecánico o elástico.

A continuación se verán las descripciones generales que debe llenar la construcción para cada tipo.

#### Cortes de Roca

En caso de que los cortes se efectúen en mantos sanos de roca fija no se tendrán problemas en cuanto al talud, sin embargo el hecho de emplearse explosivos en su construcción amerita que se haga un estudio sobre el tipo de roca con el fin de determinar el explosivo a usarse y la colocación de los barrenos.

Se acostumbra dejar taludes de un cuarto por uno ( $1/4 \times 1$ ) y cuando tienen poca altura se pueden dejar verticales, siempre y cuando la explosión no haya dejado agrietado los taludes. Los lugares o cámaras para colocar los explosivos, son perforaciones hechas en el te-

rreno, que pueden ser en todas direcciones, desde la horizontal a la vertical, de distintos diámetros y profundidades comúnmente llamados "Barrenos", éstas se pueden hacer a mano o mecánicamente. Las dimensiones de los barrenos (diámetro y longitud) dependen de la naturaleza de la roca y la forma de llevar el trabajo, variando el diámetro normalmente de 30 a 90 mm.

La distribución de los barrenos puede ser muy variable pero en general debe de ser alternada como se muestra en la figura II.4.

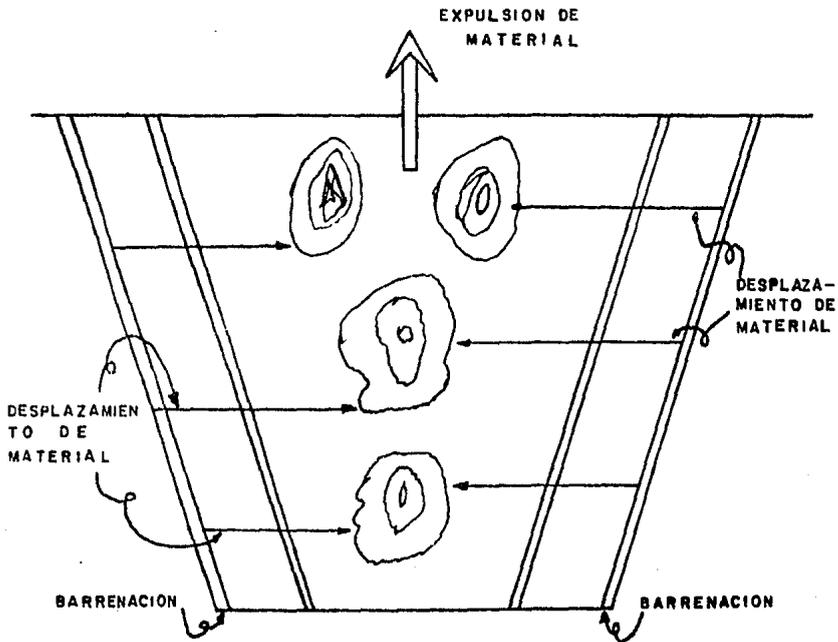


FIG. II.4 Perfil de barrenación

Para que el material una vez que ha sido desintegrado se pueda mover, se tendrá en cuenta que las partes en que se fracciona sean menores que la capacidad de los elementos que le van a transportar.

Explosivos.- Son sustancias o mezclas de estas, que al quemarse producen en tiempo brevísimo, una gran cantidad de gases cuyo volumen alcanza un valor de 5 000 veces el original del explosivo.

Entre los explosivos más usados que podemos mencionar se encuentran; la nitroglicerina, la dinamita gelatino y gelatina dinamita.

Cuando se trate de una masa compacta, más o menos homogénea y que no haga grietas, como en el terreno arcilloso, puede usarse pólvora.

En el caso de roca basáltica que comunmente tiene grietas ó fallas, se requerirá el empleo de dinamita, para evitar las fugas por estas fallas, ya que la explosión de ésta es instantánea.

#### Cortes en Conglomerados

Aunque los cortes en ciertos conglomerados suelen hacerse con ayuda de explosivos, se recomienda el uso moderado de ellos pues las vibraciones producto de las explosiones, tienden a disminuir las fuerzas de cohesión en el interior de un conglomerado. Cuando estos se utilicen debe usar pólvora de preferencia a la dinamita, ya que ésta última, teniendo una velocidad de expansión notablemente mayor, produce una zona de mayor conmoción.

El uso de explosivos en conglomerados debe tener por finalidad más que lanzar grandes masas, producir su disgregación de manera que pueda intervenir favorablemente el equipo mecánico de excavación.

Cuando el trabajo de excavación sea realizado por equipo mecánico, debe cuidarse que las condiciones de equilibrio de los macizos no afecten la sección definitiva, es decir, que la excavación de un corte debe efectuarse igual o menor que el del proyecto. Generalmente se acostumbra dar un talud para estos materiales el que varía desde un cuarto por uno ( $1/4 \times 1$ ), hasta tres cuartos por uno ( $3/4 \times 1$ ). Y es muy común emplear grandes escarificadores montados sobre enormes tractores y empujados por uno o más tractores adicionales para aflojar o romper más completamente la roca. Después la roca suelta es atacada por tractores con escrapas por el método común de excavación. Véase la figura II.5.

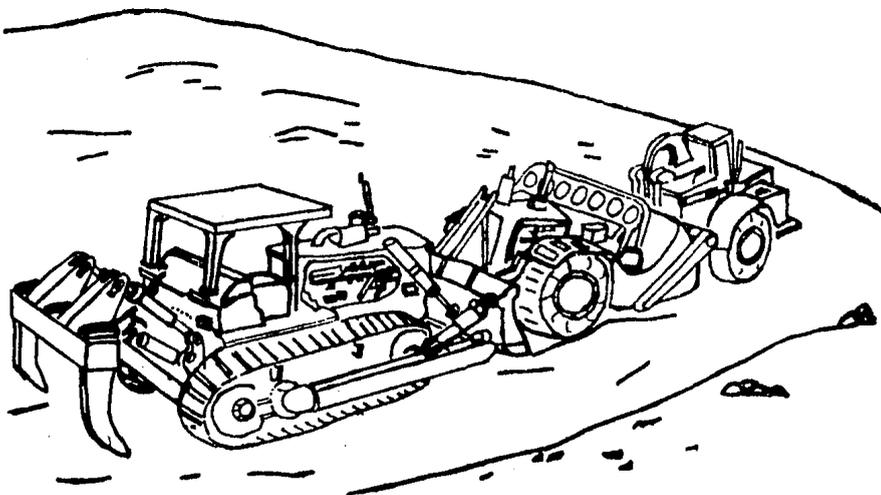


FIG. II. 5

## Corte en Materiales Arcillosos o Arenosos

Los cortes en esta clase de materiales se deben de hacer exclusivamente por procedimientos mecánicos, ya que el uso de los explosivos no tiene siquiera justificación económica.

Todos los pasos de la excavación deben realizarse como en el caso anterior procurando no rebasar los taludes máximos previamente proyectados y no buscando la caída del material o base de desequilibrio de grandes masas.

Hay que considerar que las fallas o disgregaciones de estos materiales originan filtraciones y aumentos en el contenido de agua en los huecos, lo que trae una disminución considerable tanto en las fuerzas de cohesión (arcillas) como en las de fricción (arenas), es decir disminuimos notablemente la resistencia que puede darnos y en consecuencia el talud proyectado se aleja de las condiciones reales.

Esto trae como consecuencia, sobre todo para la arcilla que sigan las fallas continuamente y no sea remoto que con el tiempo y descuidando el problema no haya talud de equilibrio para el material, por haber perdido absolutamente sus fuerzas activas.

El equipo utilizado para la construcción de cortes en terreno blando consta de:

Bulldozer

Pala Mecánica

Camiones

Escrepas, etc.

La manera correcta de hacer el corte es como se ve en la figura II.6

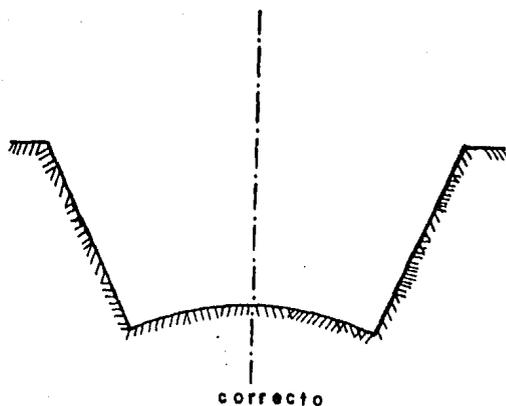


FIG. II.6

Es muy común construir en laderas, y para ello cuando el proyecto -- así lo indique se utiliza ya sea la sección en balcón (figura II.7a) o bien buscando la compensación lateral como se observa en la figura II.7b.

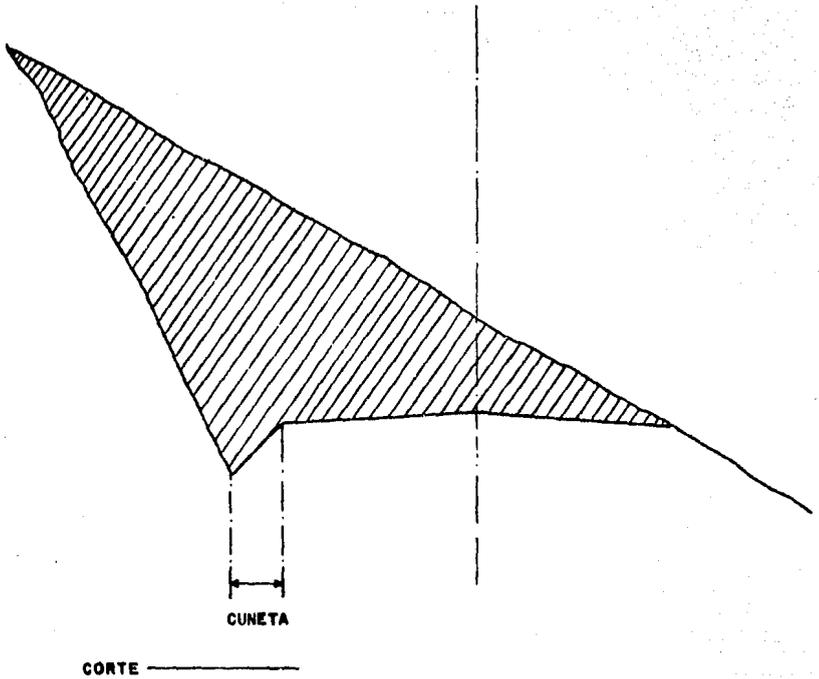


FIG. II.7 a

Es más fácil tirar el material del corte como se ven en la figura - II. 7a, pero es más económico el caso de la figura II. 7b, ya que só lo hay que pagar la mitad del corte que en el caso II. 7a porque que damos dentro del acarreo libre.

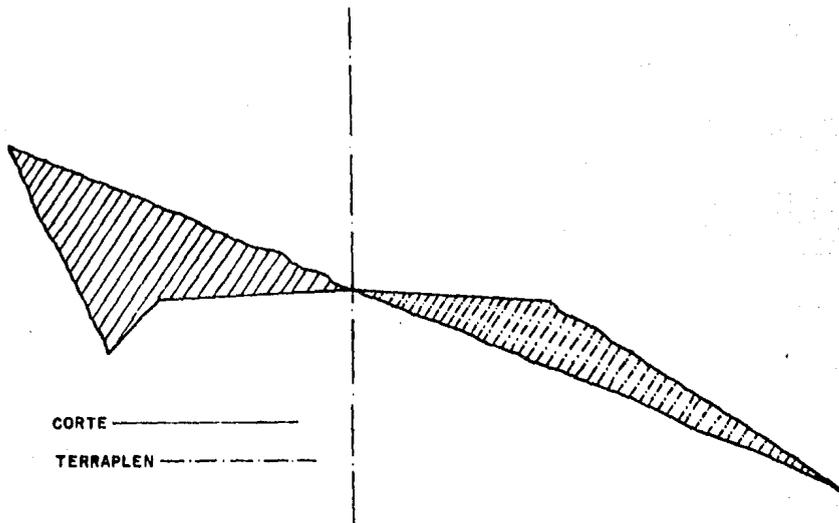


FIG. II.7 b

Otro caso que encontramos, es cuando la pendiente transversal del terreno es muy grande y no es posible que los terraplenes se detengan por ser mayor el ángulo natural del terreno que el de reposo del material con el que se construye el terraplén; entonces habrá necesidad de construir muros que contengan el material que forme el terraplén, observese la figura II. 8.

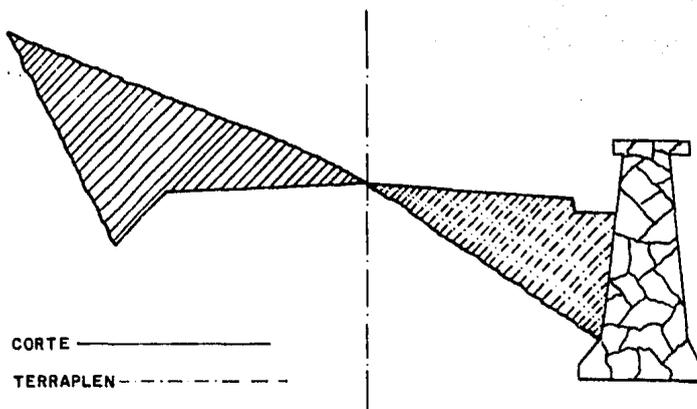


FIG. 11.8

Uno de los métodos empleados cuando se construyen en ladera y en terreno que no es duro, consiste en utilizar el bulldozer de hoja oblicua, que trabajando a media ladera, y con el extremo retrasado de la cuchilla hacia la parte del terraplén, consigue que los materiales se acumulen hacia él.

En otras ocasiones, también tratándose de terreno blando, los cortes los hace el bulldozer empujando la tierra hacia el nivel inferior, donde está colocada la pala, para que ésta cargue el material en camiones y éstos a su vez lo depositen en montones a orillas del terraplén que se está formando o bien en montones que otros bulldozer o motoniveladoras se encargarán de repartir convenientemente.

## TERRAPLENES

Un terraplén es una estructura formada por suelos y que como tal debe satisfactoriamente reunir ciertos requisitos que son:

- a.- Resistir las cargas que le transmiten
- b.- Resistir los efectos del intemperismo

Las cargas se traducen principalmente en compresiones y esfuerzos cortantes y el intemperismo origina contracciones, dilataciones y erosiones. Para que un terraplén cumpla con los requisitos citados, debemos seguir dos pasos fundamentales, basándonos en un estudio previo de suelos y de acarreo como ya se dijo anteriormente, dichos pasos son:

- 1.- Usar el equipo adecuado para la construcción del terraplén.
- 2.- Asegurar una perfecta compactación de las terracerfias.

Una vez preparado convenientemente el terreno se puede empezar a depositar el material para la formación del terraplén.

La construcción del terraplén se puede hacer por:

- a.- Sobreacarreo
- b.- Préstamo Lateral
- c.- Sobreacarreo y Préstamo Lateral (mixto)

## Terraplén Formado con Material Sobreacarreado

Cuando el material del lugar donde se va a contruir un terraplén no ofrezca la suficiente garantía de seguridad o cuando los movimientos de terracerías así lo indique, éste se hará con material sobreacarreado de un banco de préstamo. Entendiéndose por sobreacarreo - como se explicó anteriormente, el transporte de cualquier material excavado en exceso, de las distancias sobre el límite de acarreo libre (una estación de 20 metros); y por banco de préstamo el sitio - donde se toma el material para formar el terraplén.

Cuando se va a contruir un terraplén formado por materiales sobreacarreados de un banco de préstamo, por lo general, dicho material se extrae del banco haciendo uso de palas mecánicas que a su vez cargan los camiones los cuales deben estar organizados de tal manera que formen un circuito para eliminar el mayor número de tiempos perdidos y evitar que la máquina esté parada.

Es conveniente que la capacidad de los camiones sea múltiplo de la capacidad del cucharón, para que sea un número de paladas completas las que le vacie.

Si el terreno es roca, la pala se utiliza para cargar únicamente el material que antes ha sido removido por medio de explosivos procurando que el tamaño de las piedras producto de la explosión sean menores que el de la cuchara de la pala que se utiliza.

El material transportado por los camiones es depositado en montones -

a lo largo del eje del camino y repartiendo por dozer o conformado, ras, en capas que se van compactando hasta alcanzar el nivel que se tenga en el proyecto.

El sobrecarreo también puede hacerse con material carreado con es creepas aunque en estos casos la distancia económica es menor.

Hay ocasiones en que los terraplenes se forman con material sobre carreado con bulldozer de hoja oblicua desde el banco de préstamo.

Los rendimientos de bulldozer, en excavaciones con transporte a pequeña distancia están dadas en la tabla II.1.

Distancia de Transporte								
Tractor	15 Mts.		30 Mts.		45 Mts.		60 Mts.	
	Cuchilla N.Oblicua							
M <sup>3</sup> . por hora medidos en terreno sin excavar. Velocidad media de regreso 4 Km. por hora.								
D-8	127	157	76	96	54	67	42	52
D-7	117	138	71	83	50	59	39	46
D-6	76	107	46	64	32	46	25	35
D-4	62	98	40	58	28	41	21	32
M <sup>3</sup> por hora medidos en terreno sin excavar. Velocidad media de regreso 8 Km. por hora .								
D-8	143	178	89	109	63	77	50	62
D-7	132	154	81	96	59	69	46	54
D-6	86	121	53	74	38	54	30	42
D-4	75	109	46	67	33	48	26	38

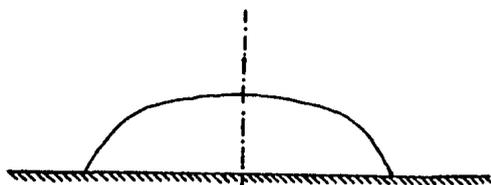
Tabla II.1

Es recomendable usar escrepas para la construcción de terraplenes cuando se trabaje en terrenos planos o lomeríos y cuando se tengan sobrecarreos y acarreos largos, dependiendo de la distancia si las escrepas son tiradas por tractores (de 100 a 500 metros) o por tornapulis (de 300 a 1 500 metros).

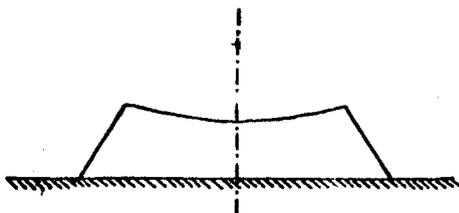
Se acostumbra cargar siempre la escrepa en el sentido, en el que se ha de transportar el material, ya que si se efectúa en sentido contrario es preciso a la vuelta recorrer el trayecto con la escrepa llena.

Si el terreno no es lo suficientemente suelto, se empieza por pasar la escarificadora y luego se va cargando la escrepa empesando por la zona más próxima al terraplén, llenando las dos terceras partes del volumen de la escrepa con terreno completamente suelto y la otra tercera parte con terreno que se haya cargado la vez anterior, ya que la tierra suelta se carga muy bien al principio pero después necesita cohesión para que el material llene la caja.

La manera correcta de construir un terraplén utilizando escrepa es como se indica en la figura II.9.



INCORRECTO



CORRECTO

FIG. II. 9

De no hacerse así la escrepa tiende a deslizarse hacia los bordes de terraplén lo cual puede ser peligroso.

Es necesario tener en cuenta que el número de vueltas se traduce en tiempo perdido por lo cual es necesario eliminar éstas lo más que se pueda.

En la figura II.10 se ve la forma de reducir el número de vueltas.

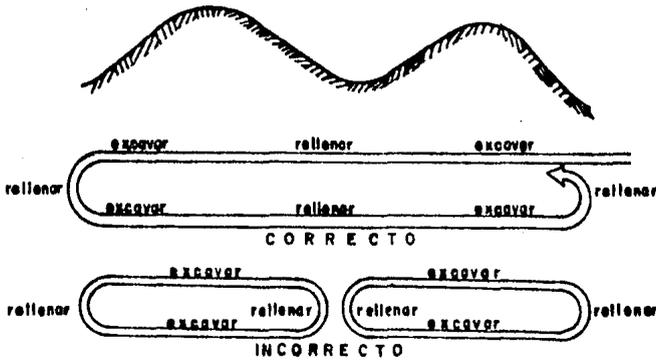


FIG. 11.10

Es recomendable usar escrepas para la construcción de terraplenes - cuando se tengan sobrecarreos y siempre y cuando las escrepas vayan tiradas por tornapulls que permiten un acarreo económico mayor (de 300 a 500 metros).

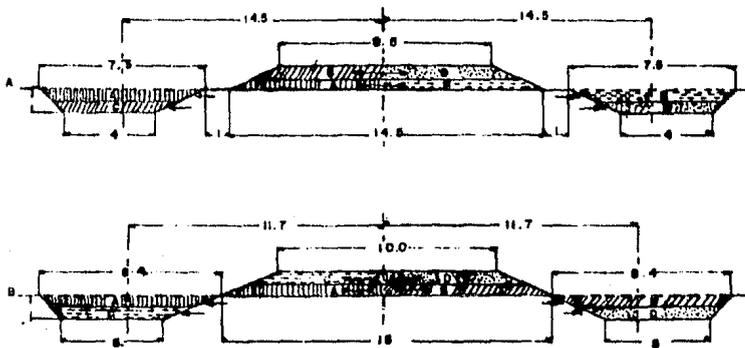
#### Construcción de Terraplenes con Préstamo Lateral

Para construir terraplenes con zanjas de préstamo lateral, se limpia primero el terreno con el fin de eliminar la materia orgánica la - cual se puede hacer con bulldozer. Trabajando éstos normalmente al - eje del camino y en los dos lados del mismo, se colocan a la distan-

cia necesaria y avanzan al eje del camino amontonando el material con su cuchilla, hasta donde se crea conveniente y repitiendo la operación cuantas veces se necesite hasta obtener el nivel que se haya fijado.

A veces este material puede ser distribuido con una motoniveladora y de esta manera los bulldozer colocados de un lado del camino construyen la mitad del terraplén y los colocados del otro lado construyen la otra mitad, o bien pueden construirse con una sola zanja de préstamo, para lo cual los bulldozer se colocan de un sólo lado del eje del camino.

En la figura II.11 se ve una sección transversal de terraplén formado con dos zanjas de préstamo lateral.



**FIG. II.11** Ejemplos de trabajos de terrapienados ejecutados con niveladora-carreadora seguida de una niveladora normal para el refinado de taludes, (Las flechas horizontales indican el sentido del avance de la niveladora en sus pases sucesivos).

En la construcción del terraplén se siguen las fases mostradas - en los préstamos laterales de las zanjas. La parte A del terraplén se contruirá con el material de la zanja A' y la parte B con el material de la zanja B' buscando la compensación necesaria.

En la figura II.12 se observa el caso de construir el terraplén con una sola zanja lateral.

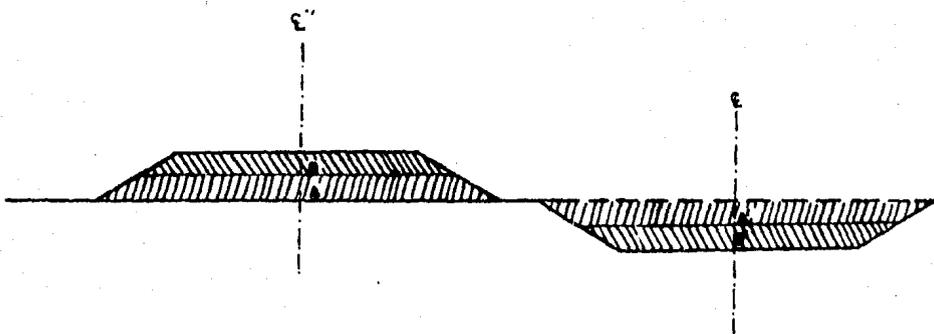


FIG. II.12

O bien se puede construir el terraplén con préstamo lateral y sobrea-carreo (mixto), como se puede ver en la figura II. 13

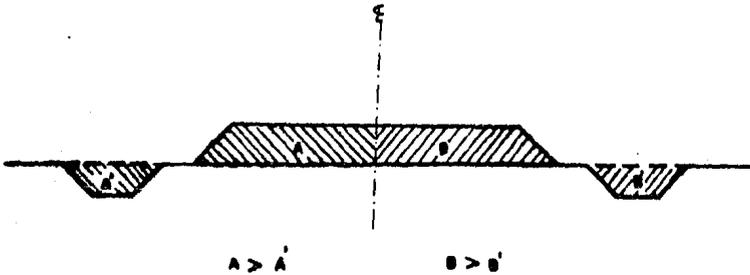


FIG. II.13

Cuando el préstamo hecho en las dos zanjas no es suficiente por ser el volumen de A y B mayor que el de A' y B' respectivamente, se sobrea-carrea material hasta lograr la sección deseada.

### II.3 COMPACTACION DE LAS TERRACERIAS

Dado que las terracerías en su mayoría son rellenos artificiales se entiende que es necesario darles algún tratamiento para que ayude a proporcionar las características que se desee de ellas; tal es el objetivo que se busca en el proceso de compactación de los suelos

llamamos compactación de los suelos al proceso mecánico necesario por el cual se busca mejorar las características de resistencia, compresibilidad, esfuerzo y deformación de los mismos.

Su importancia radica en el aumento de resistencia y disminución de la capacidad de deformación que se obtienen al sujetar el suelo a técnicas convenientes que aumenten su peso específico seco, mediante una reducción más o menos rápida de los vacíos.

Como consecuencia en el suelo ocurren cambios de importancia fundamentalmente ligados a pérdida de volumen de aire más que nada, ya que por lo común no se expulsa agua de los huecos durante el proceso de compactación.

Algunas otras características que se pueden conseguir con la compactación de los suelos son referentes a una permeabilidad adecuada, a su flexibilidad y a su permanencia ante la acción de agentes erosivos.

La eficiencia de cualquier equipo de compactación depende de varios factores y para poder analizar la influencia particular de cada uno, se requiere disponer de algún procedimiento estandarizado que produzca en el laboratorio la compactación que se puede lograr en el campo con el equipo disponible.

Dentro de todos los factores que influyen en una compactación, se puede decir que dos son los procesos más importantes.

- 1.- El contenido de agua ( w ) antes de iniciarse el proceso de compactación.
- 2.- La energía específica empleada en dicho proceso.

Se entiende por energía específica de compactación la que se entrega al suelo por unidad de volumen durante el proceso mecánico de compactación de que se trate.

Ciertas experiencias realizadas en los primeros años de la aplicación de las técnicas modernas de compactación por R.R. PROCTOR indicaron que hay una correlación entre las propiedades fundamentales y el peso volumétrico seco a que llega el material compactado, de manera que puede decirse que a mayor peso volumétrico seco se alcanza una situación más favorable en el suelo compactado.

PROCTOR estableció la costumbre de juzgar los resultados de un proceso de compactación con base en la variación del peso volumétrico seco que se logre. Así mismo, comprendió el papel fundamental que desempeña el contenido de agua del suelo en la compactación del mismo.

Juntando estos dos aspectos, estableció la costumbre de representar la marcha de un proceso de compactación por medio de una gráfica en la que se haga ver el cambio de peso volumétrico seco al compactar al suelo con diversos contenidos de agua, utilizando varias muestras del mismo suelo, cada una de las cuales proporciona un punto de la curva. Tomando en cuenta que diferentes procesos de compacta-

ción producen compactaciones distintas, un mismo suelo podrá tener diversas curvas de compactación dependiendo de los diferentes modos de compactación que puedan usarse, ya sea en el campo o en el laboratorio. Una representación tal como la anterior ( $\gamma_d - w$ ) - recibe el nombre de "Curva de Compactación".

Sea cual fuere el proceso de compactación que se siga la forma de la curva de compactación será parecida a la que se muestra en la figura II.14.

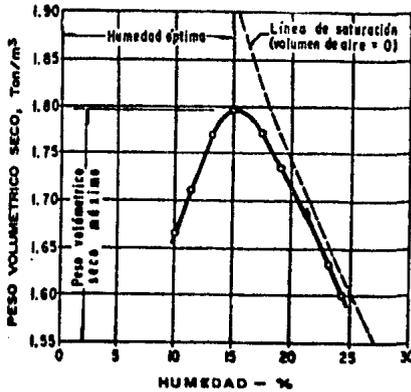


FIG. II.14 Curva de compactación típica

La curva muestra un máximo absoluto, alguna vez acompañado de otro secundario de menor valor. El peso volumétrico seco ( $\gamma_d$ ) correspondiente al máximo absoluto recibe el nombre de Peso Volumétrico-Seco Máximo, la humedad con la que tal máximo se consigue se denomina Humedad Optima y representa el contenido de agua con el cual el procedimiento de compactación que se está usando produce la máxima eficiencia, por lo menos si ésta se juzga por el peso volumétrico seco que se logre.

La figura II.14 puede construirse ya sea en el laboratorio o en el campo, a partir de pareja de valores ( $\gamma_m - w$ ) los cuales se pueden obtener como ya se dijo si se aplica el procedimiento de compactación de que se trate a diversos especímenes del mismo suelo - con diferentes contenidos de agua.

La curva ( $\gamma_d - w$ ) puede entonces dibujarse a partir de los valores anteriores aplicando la fórmula ( 1 )

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{1 + W} \quad \dots ( 1 )$$

Cuya obtención es inmediata al aplicar las definiciones de  $\gamma_m$  y  $W$  teniendo en cuenta que:

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m} \quad ( 1a' )$$

$\gamma_m$  : Peso volumétrico de la masa

$W_m$  : Peso de la Masa

$V_m$  : Volumen de la masa

$$W (\%) = 100 \cdot \frac{W_w}{W_s} \quad (1b)$$

donde

$W (\%)$  : Contenido de agua

$W_w$  : Peso del agua

$W_s$  : Peso de los sólidos

También aparece en la figura II.14 la curva correspondiente al 100% de saturación del suelo en cada caso. Como ya se expuso, la condición de un suelo compactado en circunstancias normales es la de un suelo no saturado razón por la cual la curva de compactación se desarrolla por abajo de la curva de saturación.

La curva de saturación se puede obtener si se calculan los pesos volumétricos secos que corresponderían al mismo suelo supuesto, saturado con el contenido de agua, correspondiente a una cierta abscisa de la curva aplicando la fórmula siguiente:

$$\gamma_d = \frac{S_s}{1 + WS_s} \gamma_w \quad \dots (2)$$

donde

Ss : Peso específico relativo de los sólidos;  
y se define como:

$$Ss = \frac{Ws}{Wo}$$

donde

Ws : Peso específico de los sólidos

Wo : Peso específico del agua

$\gamma_w$  : Peso volúmetrico del agua

La representación anterior no constituye el único medio gráfico de representar los resultados de un proceso de compactación; simplemente es el modo más usual de representación de las que hoy se utilizan.

#### PROCESOS DE COMPACTACION DE CAMPO

Los métodos usados para la compactación de los suelos dependen del tipo de los materiales con los que se trabaje en cada caso; puesto que se ha observado que en materiales puramente friccionantes como la arena, estos se compactan eficientemente por métodos vibratorios, en tanto que en los suelos plásticos el procedimiento por carga es tática es el que da mayores ventajas.

En la actualidad existe equipo disponible que puede emplearse para trabajar en diferentes tipo de suelo, tales como: Plataformas Vibratorias, rodillos lisos, rodillos neumáticos, rodillos patas de cabra y/o combinados en una gran variedad de sistemas o pesos, de manera que se puede elegir entre muchos los implementos adecuados a cada caso particular.

De lo anterior se desprende que la energía que se requiere para compactar los suelos en el campo se puede aplicar mediante cualquiera de las siguientes cuatro formas, las cuales se diferencian por la naturaleza de los esfuerzos aplicados y por la duración de los mismos. Estas formas son:

- a.- Por amasado.
- b.- Por presión.
- c.- Por Impacto.
- d.- Por Vibración.
- e.- Por Métodos Mixtos.

Compactación por Amasado.- Se emplean básicamente los rodillos llamados "Pata de Cabra" los que a diferencia de otros rodillos tienen como característica fundamental compactar el suelo de abajo hacia arriba ejerciendo un efecto de amasado por medio de un conjunto de puntas en forma variada de unos 20 a 25 cms. de longitud fijas a un tambor metálico y espaciadas entre sí de 15 a 25 cms. de cualquier dirección. El rodillo produce dos resultados muy deseables en los terraplenes de suelos finos compactados, que son: Una distribución uniforme de la energía de compactación en cada capa y una buena li-

ga entre capas sucesivas.

Con objeto de que la consolidación sea efectiva los espesores de la capa del terraplén no deben ser mucho mayor que la longitud del vástago por lo que estas deben ser de alrededor de 30 cms. de material suelto.

Estos rodillos rinden sus mejores resultados en suelos finos puesto que sus vástagos son muy útiles para la rotura y disgregación de los grumos que se forman en las arcillas homogéneas por acción de fuerzas de naturaleza capilar entre sus partículas.

Compactación por Presión.- Este tipo de compactación se logra mediante el uso de rodillos lisos y rodillos neumáticos.

Los rodillos lisos tienen su campo de aplicación circunscrito a los materiales que no requieren concentraciones elevadas de presión, por no formar grumos o por no necesitar disgregado; por lo general son arenas y gravas relativamente limpias.

El efecto de los rodillos lisos se reduce considerablemente a medida que se profundiza en la capa que se compacta y el efecto de la compactación se produce de arriba hacia abajo. Las características principales de estos rodillos son su disposición, diámetro (con el que aumenta mucho su eficiencia), ancho y peso total. El espesor suelto de la capa del material que es posible compactar con rodillos lisos varía de 10 a 20 cms.

Los rodillos neumáticos realizan su función fundamentalmente por la presión que transmite a la capa de suelo tendido, aunque estos rodillos también producen un cierto efecto de amasado en escala menor que en los rodillos pata de cabra, pero tienen cierta importancia, sobre todo en la porción más superficial de la capa que se compacta. El rodillo aplica a la superficie de la capa prácticamente la misma presión desde la primera pasada, la que es casi igual a la presión de inflado de la llanta.

El acabado superficial de las capas compactadas con rodillos neumáticos suele tener la rugosidad suficiente para garantizar una buena liga en la capa superior.

Los rodillos se usan principalmente en los suelos arenosos con finos poco plásticos, en los que no existen grumos cuya disgregación requiera grandes concentraciones de presión, como la que producen los rodillos pata de cabra; en estos suelos resulta eficiente la aplicación de presiones uniformes en áreas mayores, lo que incluso evita que se produzca zonas sobrefatigadas en el material compactado. En limos poco plásticos también son eficientes los rodillos neumáticos y su espesor suelto de la capa del material que es posible compactar con estos rodillos varía entre 10 y 30 cms.

Compactación por Impacto.- En este tipo de compactación la duración de la transmisión del esfuerzo es muy corta. Los equipos que pueden clasificarse dentro de este grupo son los diferentes tipos de pisones cuyo empleo está reservado a áreas pequeñas, y ciertas clases de rodillos apisonadores llamados tamper, semejantes en mu-

chos aspectos a los rodillos pata de cabra, pero capaces de operar a velocidades mucho mayores que estos últimos, lo que produce un efecto de impacto sobre la capa de suelo que se compacta. Estos rodillos operan a velocidades de 20 a 25 km/hr., logrando su mejor rendimiento en suelos finos con abundante contenido de grava y guijarros o en suelos finos residuales que contengan fragmentos de roca parcialmente intemperizados.

Compactación de Vibración.- Para la compactación por vibración se emplea un mecanismo, bien sea del tipo de masas desbalanceadas o del tipo hidráulico pulsativo, que proporciona un efecto vibratorio al elemento compactador propiamente dicho.

Los procedimientos de compactación de campo combinan siempre la vibración con la presión; la vibración utilizada sola, resulta poco eficiente. La presión es necesaria para vencer los nexos interparticulares que se produce tanto en los suelos gruesos como en los suelos finos.

Una de las ventajas principales de la aplicación de la vibración a las técnicas de compactación estriba en la posibilidad de trabajar en capas de mayor espesor (60 cm. ) que la que es común usar con otros compactadores.

Entre las combinaciones del equipo vibratorio con los elementos de compactación pueden citarse: El compactador neumático vibratorio, el rodillo pata de cabra con aditamento vibratorio y el rodillo liso con placas o plataformas vibratorias.

La combinación de dos o más sistemas de compactación vistos anteriormente es lo que denominamos métodos mixtos.

#### II.4 PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD

Por ser demasiado costosas las obras de terracerías siempre será necesario llevar a cabo un método de laboratorio que reproduzca - teóricamente las condiciones bajo las cuales se planeo y que durante su ejecución se controlen los métodos de compactación que se esté usando.

El establecimiento de una prueba de compactación en el laboratorio cubre, principalmente, dos finalidades.

Por un lado disponer de muestras de suelo compactadas teóricamente con las condiciones de campo, a fin de investigar sus propiedades mecánicas para conseguir datos firmes de proyecto; por otro lado, es necesario controlar el trabajo de campo, con vistas a tener la seguridad de que el equipo usado está trabajando efectivamente en las condiciones previstas en el proyecto.

La secuela práctica que se sigue cuando se va a realizar una compactación de terracerías es como sigue: Se recaban muestras de los suelos que se usarán; en el laboratorio se sujetan esos suelos a distintas condiciones de compactación, hasta encontrar alguna que garantice un proyecto seguro y que pueda lograrse económicamente con el equipo de campo existente; con el equipo de campo que vaya a usarse se reproducen las condiciones de laboratorio adopta

das para el proyecto (esto suele hacerse construyendo y compactando en el campo un terraplén de prueba con el suelo a usar, en el que se ve el número de veces que deba pasar el equipo, el espesor de las capas de los suelos depositados para compactar, etc.). Finalmente, una vez iniciada la construcción, verificando la compactación lograda en el campo con muestras al azar tomadas del material compactado en la obra, se puede comprobar que en está se están satisfaciendo los requerimientos del proyecto.

Actualmente existen muchos métodos para reproducir, al menos teóricamente en el laboratorio unas condiciones dadas de compactación de campo. Todos ellos pensados para estudiar, además, los distintos factores que gobiernan la compactación de los suelos.

A partir de 1933 en que R.R. PROCTOR desarrollo su prueba, la primera históricamente han ido apareciendo otras muchas; todas ellas pueden agruparse en:

Pruebas Dinámicas

Pruebas Estáticas

Pruebas por Amasado

Pruebas por Vibración

Pruebas Especiales

Pruebas Dinámicas.- Básicamente se deben a R.R. PROCTOR y es conocida hoy en día como prueba proctor estándar y proctor modificada. La prueba consiste en compactar el suelo en cuestión de tres capas, dentro de un molde de dimensiones y forma especificada por medio de golpes de un pisón, también especificado que se deja caer libremente desde una altura prefijada, lo que se llama Energía Específica. Esta se puede calcular con bastante aproximación con la expresión 3.

$$E_e = \frac{NnWh}{v} \quad . . . (3)$$

En donde

$E_e$ : Energía Específica.

$N$  : Número de golpes por capa.

$n$  : Número de capas de suelo.

$W$  : Peso del pisón.

$h$  : Altura de caída libre del pisón.

$v$  : Volumen del suelo compactado.

Expondremos a continuación la prueba proctor estándar la cual utiliza una energía específica de compactación de 6 kg cm/cm<sup>3</sup>.

Se toma una muestra representativa del suelo a compactar, de humedad conocida. En un cilindro de 10.2 cms. de diámetro y 11.7 cms. de altura, se llena en 3 capas aproximadamente iguales con material de prueba. Cada capa, se compacta con 25 golpes de un martillo de 2.5 kg. con una área de contacto de 20 cms<sup>2</sup>, el que se deja caer desde una altura de 30.5 cms., todo esto, con el objeto -

de dar siempre al material, la misma energía de compactación. Se pesa el material y como el volumen es conocido, se calcula el peso volumétrico húmedo dividiendo el peso del material entre el volumen; como la humedad es conocida se resta el peso del agua y se obtiene el peso volumétrico seco para esa humedad.

Se repite la prueba varias veces, variando cada vez el contenido de agua, con lo que se obtiene pares de valores contenido de agua - peso volumétrico seco y con los cuales se dibuja la gráfica vista anteriormente. En la gráfica (figura II.14) se observa que hay un cierto contenido de agua (humedad óptima) para la cual corresponde un peso volumétrico seco máximo.

Por ejemplo: si en la gráfica nos da un peso volumétrico seco de  $1820 \text{ kg/m}^3$ , habiendo el proyectista especificado como mínimo un 95% de P.V.S.M. entonces tenemos que:

$$\text{P.V.S.M.} = 1820 \text{ kg/m}^3.$$

$$95\% \text{ de P.V.S.M.} = 0.95 \times 1820 = 1729 \text{ kg/m}^3$$

es decir, el constructor deberá obtener un peso volumétrico seco mínimo de  $1729 \text{ kg/m}^3$  en ese material.

Prueba Estática.- La más común es la que introdujo O.J. PORTER. En ella se compacta al suelo colocándolo dentro de un molde cilíndrico de 15.24 cms. de diámetro; el suelo se dispone en 3 capas, acomodándolo con 25 golpes de una varilla con punta de bala, 10

que no significa una compactación intensa, pues la varilla es ligera y la altura de caída, que no está especificada, es la mínima utilizable para el operador para una manipulación cómoda. La compactación propiamente dicha se logra al aplicar al conjunto de las 5 capas una presión de  $140.6 \text{ kg/cm}^2$  la cual se mantiene durante un minuto.

El procedimiento de la prueba es como se muestra a continuación.

De una muestra de campo preparado con el cuidado de secar el material únicamente lo necesario para facilitar su disgregación y se criba una cantidad de material en la malla de 25.4 mm., se toman aproximadamente 4 kg. del material que pase ésta malla, y se le incorpora una cantidad de agua necesaria para homogenizarla. Con este material se llena en 3 capas, un molde metálico de 15.24 cms. de diámetro por 22.86 cms. de altura. Cada capa se pica con la punta de una varilla en forma de bala de 1.9 cms. de diámetro y 30 cms. de longitud, al terminar la colocación de la última capa se coloca el molde con la muestra en una máquina de compresión y se le aplica la carga gradualmente de tal manera que en 5 minutos se alcance una presión de  $140.6 \text{ kg/cm}^2$ , la cual debe mantenerse durante 1 minuto y descargarse inmediatamente en forma gradual durante 1 minuto, si al llegar a la carga máxima no se humedece la base del molde la humedad ensayada es inferior a la óptima; se deberá tomar otra fracción representativa del material y se le agregará una cantidad de agua igual a la del espécimen anterior más  $80 \text{ cm}^3$  y se repetirá el proceso. Se harán tantos tanteos hasta lograr que en uno de ellos se inicie el humedecimiento de -

la base del molde con la carga máxima.

La humedad de ésta prueba es la humedad óptima. Se determina entonces el peso volumétrico seco de la muestra dentro del cilindro. A este peso se le conoce como "Peso Volumétrico Seco Máximo Porter" y será el peso comparativo para el trabajo de campo.

Por ejemplo: Si en la prueba porter obtuvimos un peso volumétrico seco máximo de  $2000 \text{ kg/m}^3$ , y el proyectista ha pedido el 95% porter, en la obra tendremos que alcanzar un peso volumétrico seco de  $0.95 \times 2000 = 1900 \text{ kg/m}^3$ .

Pruebas por Amasado.- La más antigua de estas pruebas la constituye la prueba denominada "Miniatura" que desarrolló S.D. Wilson en la Universidad de Harvard.

En esta prueba se busca reproducir en el laboratorio el efecto tipo que tiene lugar en muchos rodillos de campo (pata de cabra y en menor escala de neumáticos), con el objeto de lograr en el espécimen la misma estructuración interna que adquiere el suelo del campo.

Para la prueba se requiere una muestra de suelos debidamente cuarteada, con peso comprendido entre 1 y 1.5 kg. secada al horno lo necesario para facilitar su disgregación; posteriormente la muestra se disgrega manualmente y se criba por la malla No.10. Se coloca la muestra en 5 capas, dentro de un molde cilíndrico metálico de compactación con extensión y placa de base también metálica, cu

yas dimensiones son de 3.3 cms. de diámetro interior y 7.2 cms. de altura.

Las capas se nivelan presionándolas ligeramente con un pisón de hule; después con un pisón metálico con un émbolo en su extremo inferior se le aplica presión por la acción de un resorte hasta que el mismo empieza a comprimirse. Se retira la presión cambiando ligeramente de posición el émbolo y se repite la operación, repartiéndose ligeramente de posición el émbolo y se repite la operación, repartiendo así la presión aplicada de manera uniforme en la superficie de cada capa, hasta completar el número de aplicaciones que se desee.

Se realiza este procedimiento para cada capa, procurando que la capa superior sobresalga del molde por lo menos 1 cm.

El émbolo aplicador de presión es una barra metálica de 1.3 cms. - de diámetro, con mango de madera, dentro de éste actúa el resorte-comprimido a que se hace referencia.

Finalmente, se extrae la muestra del molde utilizando un mecanismo extractor y se coloca en un recipiente apropiado para introducirlo al horno y poder determinar su contenido de agua; se compactan otros espécimenes con contenidos de agua crecientes, hasta que el peso - húmedo de la muestra vaya decreciendo, hecho que indica que se ha-sobrepasado el contenido de agua óptimo.

Se calculará el peso volumétrico seco correspondiente a cada contenido de agua, mediante la fórmula 4.

$$\gamma_d = 100 \frac{\gamma_m}{100 + w} \quad - - - (4)$$

y se dibuja la curva de compactación para obtener el peso volumétrico seco máximo y el contenido óptimo de agua.

Pruebas por Vibración.-Muchas de las pruebas de compactación con vibración utilizan un molde proctor montado en una mesa vibratoria: se estudia el efecto de la frecuencia, la amplitud y la aceleración de la mesa vibratoria, así como la sobrecarga, de la granulometría del suelo y del contenido de agua.

Por su importancia al especificar el rango de frecuencia en que se deben usar los compactadores en el campo o aplicarse las vibraciones en el laboratorio, se presentan a continuación, en la tabla II.2 las frecuencias naturales de algunos suelos y rocas considerados en conjunto con un vibrador determinado.

Frecuencias naturales del conjunto suelo-vibrador  
para varios suelos y rocas

Tipo de suelo o roca	Frecuencia natural r.p.m.
2 m de turba sobre arena	750
2 m de relleno con arenas y suelos finos	1145
Arena y grava con lentes de arcilla	1165
Terracería compactada por el peso del tránsito	1280
Arcilla húmeda	1430
Arena media muy uniforme	1445
Arena gruesa uniforme	1570
Arcilla casi seca	1650
Caliza	1800
Arenisca	2040

Tabla II.2  
150

Un aumento en la amplitud incrementa la eficiencia de la vibración y su efecto en profundidad a todas las frecuencias, al aumentar la deformación de las partículas del suelo. Una amplitud grande es especialmente favorable en las arcillas, así como en los materiales-friccionantes más gruesos. Cuando se utilizan amplitudes muy grandes pueden reducirse las frecuencias de los equipos, lo que suele conducir a procesos de compactación más económicos.

La investigación de laboratorio, ha hecho ver también que la utilización de frecuencias de resonancia para el sistema suelo-vibrador es más útil cuando mayor sea la presión que se ejerce sobre el suelo compactado. En la práctica esto ha conducido a la utilización de frecuencias más altas en los equipos de compactación más ligeros.

Pruebas Especiales.- De entre éstas merece especial mención la máquina giratoria de compactación, que ha sido ideada con el propósito de reproducir en el espécimen del laboratorio la estructura y demás condiciones que adquiere el suelo cuando se le compacta en el campo con los equipo de rolado usuales. En rigor, se puede considerar a éste equipo como un compactador de amasado, el cual transmite al espécimen una presión combinada con un efecto de balanceo.

## CAPITULO III

### ESTRUCTURAS Y PARTES INTEGRANTES DE LOS PAVIMENTOS

Una vez que la construcción de las terracerías haya cumplido - las condiciones y especificaciones para las que fué proyectada, se hace necesario que esta debe ofrecer condiciones de rodamiento apropiadas y confortables, al volumen creciente de vehículos cada vez más rápidos y pesados. Por razones económicas, en la construcción de los caminos, desde un principio se empezaron a revestir las terracerías con materiales naturales pétreos, pero en la actualidad y para el caso que no avoca dado el gran aumento de tránsito, se hace imperativo recubrir la superficie de éstas con una capa que cumpla los siguientes requisitos:

- 1.- Ser estable ante los agentes del intemperismo.
- 2.- Ser resistente a las cargas impuestas por el tránsito.
- 3.- Tener textura apropiada al rodamiento.
- 4.- Ser durable.
- 5.- Tener condiciones adecuadas en lo referente a permeabilidad.
- 6.- Ser económica.

Los requisitos anteriores definen una capa o conjunto de capas de materiales apropiados, comprendidas entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento , lo que comunmente se denomina PAVIMENTOS los cuales analizaremos en los siguientes subcapítulos.

### III.1 TIPOS Y ESTRUCTURAS DE LOS PAVIMENTOS

La superficie de rodamiento de los pavimentos, según el tipo de

transmisión de carga se clasifican en:

Pavimentos Flexibles.

Pavimentos Rígidos.

Pavimentos Flexibles.- Se caracterizan porque su superficie de rodamiento se logra mediante una carpeta bituminosa relativamente delgada, de alto costo y alta calidad, pero entre ella y las terracerías se interpone un sistema de varias capas de materiales seleccionados cuya calidad, por lo común, va disminuyendo con la profundidad, congruentemente con los niveles de esfuerzos producidos por el tránsito, que siguen una ley en ese mismo sentido decreciente; a dichas capas se les llama Base y Sub-Base.

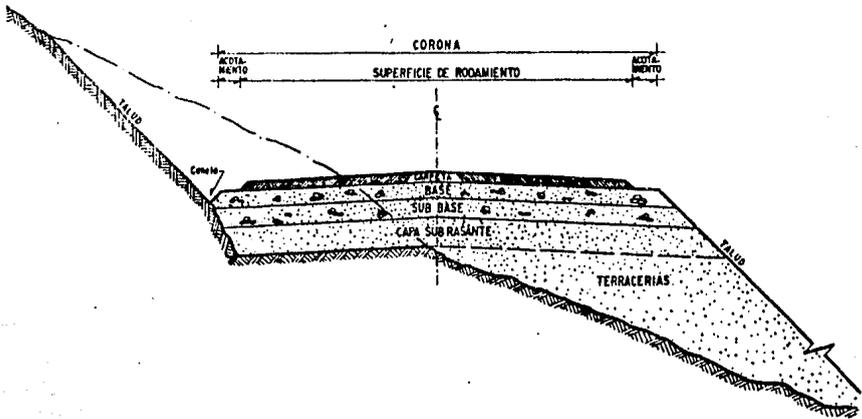


FIGURA III.1 Sección transversal típica de un pavimento flexible en una sección en balcón.



c.- Base

d.- Carpeta

#### FUNCIONES

Subrasante.- Esta capa se utiliza cuando el material de la terracería sea de mala calidad, ya que su función desempeña un papel mecánico y económico fundamental. Una subrasante del suficiente espesor y calidad permite ahorros importantes en los espesores de los pavimentos suprayacentes, sin perjuicio de la función estructural conjunta, pues es capaz de absorber niveles de esfuerzos relativamente altos provenientes de la superficie y transmitirlos suficientemente distribuidos en las terracerías.

Desde el punto de vista económico resultan igualmente importantes la calidad y el espesor; los materiales que se emplean en la capa subrasante nunca pueden ser demasiados buenos, de manera que la contribución de la capa usualmente descansa más en el espesor que en la calidad, pero si se obtiene importantes ahorros en los espesores de las demás capas del pavimento.

Sub-Base.- Es una capa de material compuesto preferentemente de suelo granular pero con un gran porcentaje de finos que se coloca, extiende y compacta sobre la subrasante que a su vez ha sido preparada y compactada.

Una de sus funciones es de carácter económico ya que se trata de formar el espesor requerido del pavimento con el material - más barato posible, y por otra parte, otra de sus funciones consiste en servir de transición entre el material de la base, generalmente granular grueso y el de la subrasante que tiende a - ser mucho más fino. La Sub-Base actúa como filtro de la base e impide su incrustación en la subrasante.

La Sub-Base también se coloca para absorber deformaciones perjudiciales en la subrasante; por ejemplo, cambios volumétricos - asociados a cambios de humedad, que podrían llegar a reflejarse en la superficie del pavimento.

Otra función de la Sub-Base es actuar como dren para desalojar el agua que se filtra desde arriba y para impedir la ascensión-capilar hacia la base de agua procedente de la terracería. Los espesores de la Sub-Base son muy variables y dependen de cada - proyecto específico, pero suele considerarse 12 ó 15 cms. como la dimensión mínima constructiva.

Base.- La función de la base, además, de permitir reducir el espesor de la carpeta, es básicamente estructural y consiste en - proporcionar un elemento resistente a la acción de las cargas - del tránsito y capaz de transmitir los esfuerzos resultantes - con intensidades adecuadas. La base tiene también una importante función drenante, la que debe ser capaz de eliminar fácil y ra-

pidamente el agua que llega a infiltrarse a través de la carpeta, así como impedir radicalmente la ascensión capilar del agua que provenga de niveles inferiores. El material que constituya la base de un pavimento flexible debe ser, entonces, friccionante y suficientemente provisto de vacíos, preferentemente obtenido -- por algún proceso de trituración y cribado. Los espesores de las bases son muy variables de acuerdo con el proyecto de que se trate, pero suele considerarse que 12 o 15 cms. es el espesor mínimo que conviene construir.

Carpeta.- La carpeta debe proporcionar en el pavimento flexible una superficie de rodamiento estable, capaz de resistir la ampliación directa de las cargas, la fricción de las llantas, los esfuerzos de frenaje, los producidos por las fuerzas centrifugas, los impactos, etc., debe tener la textura necesaria para permitir un rodamiento seguro, cómodo y un drenaje apropiado.

La exposición directa a las cargas de tránsito y la indeformabilidad necesaria para el buen servicio implican que la carpeta -- esté formada con material que ofrezca suficiente resistencia bajo condiciones de presión normal exterior, es decir material que posea cohesión y es precisamente el producto asfáltico que liga los agregados pétreos el que la proporciona, en el caso de las carpetas bituminosas.

## Estructuración de los Pavimentos Rígidos.

Como ya se dijo, un pavimento rígido tiene como elemento estructural una losa de concreto. Esta se apoya sobre una capa de material seleccionado, a la que se da el nombre de Sub-Base; cuando la subrasante del pavimento tenga una calidad suficientemente buena, la losa de concreto puede colocarse directamente sobre ella, prescindiéndose así de una Sub-Base especial. Pero en general un pavimento rígido está formado por:

- 1.- Sub-Base
- 2.- Losa de Concreto

## FUNCIONES

Sub-Base.- Sus funciones son análogas a las de una Sub-Base en un pavimento flexible y sirve también para proporcionar una superficie uniforme que sirva de apoyo a la base y facilite su colado; protege también a la losa de cambios volumétricos en la subrasante, que de otra manera inducirían esfuerzos adicionales a aquella. Por otro lado incrementa la capacidad portante de los suelos de apoyo, respecto a lo que es común en las terracerías y capa subrasante, reduce a un mínimo las consecuencias de la congelación de los suelos de las terracerías o de la subrasante, así como evitar el bombeo.

Losa de Concreto.- La función de la losa en el pavimento rígido son las mismas de la carpeta en el flexible, más la función estructural de soportar y transmitir en nivel adecuado los esfuerzos que se apliquen.

Los concretos que se utilizan en la losa suelen ser de resistencia relativamente alta, generalmente comprendida entre 200- y 400 kg/cm<sup>2</sup>. Las losas pueden ser de concreto simple o reforzado, el tamaño de las losas es similar, tendiendo generalmente a ser cuadradas con 3 a 5 m. de lado. El concreto presforzado permite la utilización de superficies continuas de área muy superior.

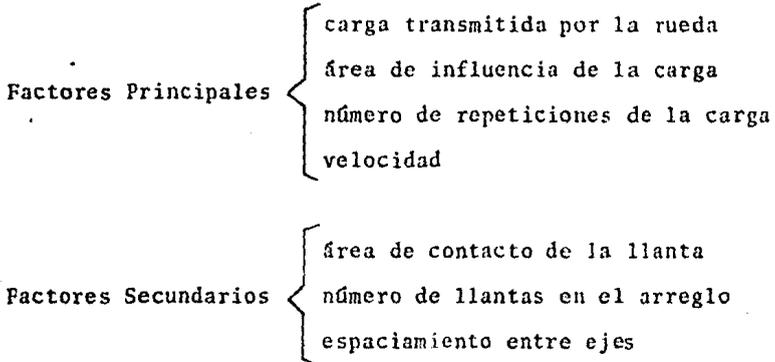
Los factores que afectan al espesor de las losas son principalmente el nivel de carga que han de soportar, las presiones de inflado de las llantas de los vehículos, el módulo de reacción del suelo de apoyo y las propiedades mecánicas del concreto que en ella se utilice.

### III.2 FACTORES PREVIOS AL DISEÑO DE PAVIMENTOS

#### Sistema de Representación para las Cargas de Tránsito

Dado que los pavimentos flexibles son los más comunmente usados y por las características de las diversas capas que lo forman, es muy usual tratar de representar una carga equivalente, deno-

minada carga de tránsito; la cual estará determinada según Hveem por los siguientes factores:



Para los pavimentos rígidos, estos se diseñan con base en las ecuaciones de Westergaard que usan el valor del módulo de reacción de la subrasante,  $k$ , obtenido en una prueba de placa, realizada sobre dicha subrasante.

Para el cálculo de los esfuerzos debido a cargas externas aplicadas en pavimentos rígidos Westergaard se basó en las siguientes hipótesis:

- 1.- La losa está formada por un material elástico, isótropo y homogéneo.
- 2.- Que los esfuerzos de interacción entre la losa y el suelo soporte son verticales y proporcionales a las deflexiones de la propia losa.
- 3.- Que existe continuidad entre la losa y el apoyo.

En los pavimentos flexibles para llegar a la carga equivalente se ha seguido dos criterios. O se busca la rueda simple que produzca a una cierta profundidad los mismos esfuerzos verticales que el sistema de llantas del vehículo o la que produzca las mismas deformaciones.

En el primer caso, por ejemplo si se tiene un sistema dual como se muestra en la figura III.3

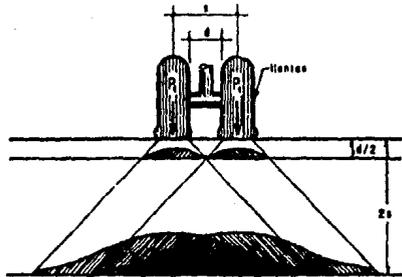


FIGURA III.3 Influencia de un sistema dual en lo que se refiere a esfuerzos.

Tanto la teoría como las mediciones experimentales muestran que el efecto de las dos llantas empieza a superponerse apreciablemente a la profundidad de  $d/2$ , bajo la superficie de rodaje; también muestran que la superposición de los esfuerzos de las dos llantas es prácticamente total a la profundidad  $2s$ , es decir, que en un punto colocado bajo ese nivel actuaría un-

esfuerzo igual al que se tendría si en la superficie y en el centro del espacio de carga actuaría una fuerza única  $2P_1$ . Puede considerarse que la variación de carga que produce un esfuerzo dado entre los puntos  $d/2$  y  $2S$  es lineal y esto se puede representar como se muestra en la figura III.4.

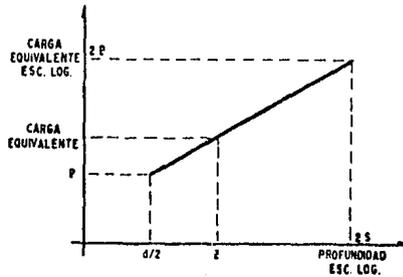


FIGURA III.4 Método gráfico para encontrar la carga de la rueda de diseño equivalente a un sistema dual.

Para el segundo caso, en el cual se usa el criterio de una deformación, también presenta una expresión para llegar al criterio de una carga equivalente con base en la teoría de Burmister, que considera al suelo formado por dos capas linealmente elásticas, homogéneas e isotrópicas que goza en el campo de los pavimentos de bastante popularidad; y la teoría de Bussinesq, fundamentada en la consideración de un solo continuo semi-infinito. Ambos criterios por ser un estudio profundo y amplio sólo se mencionan en éste trabajo, ya que, estos mismos merecerían una atención muy especial.

Las aplicaciones de las cargas del tránsito suelen referirse al concepto de repetición de carga. Se dice que en un sitio ha tenido lugar una repetición cuando ocurren dos pasadas sucesivas de una misma llanta por el mismo punto, pero en caminos es frecuente considerar que han de pasar dos vehículos de un cierto tipo para que se produzca una repetición de carga en el pavimento. Durante su vida útil, un camino está sujeto a millones de repeticiones de carga; siendo este un factor importante a considerar en el diseño del pavimento.

Actualmente existen varios procedimientos en boga para homogenizar el tránsito tan altamente variable que circula por las carreteras, pero sólo mencionaremos el que emplea la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y el realizado por el Departamento de Carreteras de California.

El método que utiliza la S.C.T., se contabiliza el número de vehículos con carga igual o superior a 3 ton., circulando en un solo sentido y distingue cuatro (4) casos los cuales son:

- a.- Si son menos de 500.
- b.- Si son de 500 a 1 000.
- c.- Si son de 1 000 a 2 000.
- d.- Más de 2 000.

En el método del Departamento de Carreteras de California, a pesar de estar fundado en datos estadísticos locales, puede

utilizarse previa adaptación en otras zonas. El tránsito se expresa por medio del concepto "Índice de Tránsito" descrito por la fórmula 1

$$I.T. = 6.7 \left[ \frac{CE}{10^6} \right]^{0.119} \quad \text{--- ( 1 )}$$

En donde

CE: Es el número de ruedas de 2 270 kg que equivalen al tránsito real del camino dentro del período de diseño, que se calcula con los factores de equivalencia de vehículos de varios ejes, que se muestran en la tabla III.1

Número de Ejes del vehículo	Valor de la carga equivalente (CE) para un año de servicio del Pavimento	
	Carreteras principales	Carreteras secundarias
2	280	200
3	930	690
4	1 320	1 070
5	3 190	1 700
6	1 950	1 050

Tabla III.1 Factores de equivalencia para llantas en arreglo dual de vehículos de varios ejes con la rueda estándar de 2 270 kg. (5 000 lb.).

**NOTA**

$K_v$  = Coeficiente de equivalencia para el vehículo vacío.  
 $K_c$  = Coeficiente de equivalencia para el vehículo cargado.

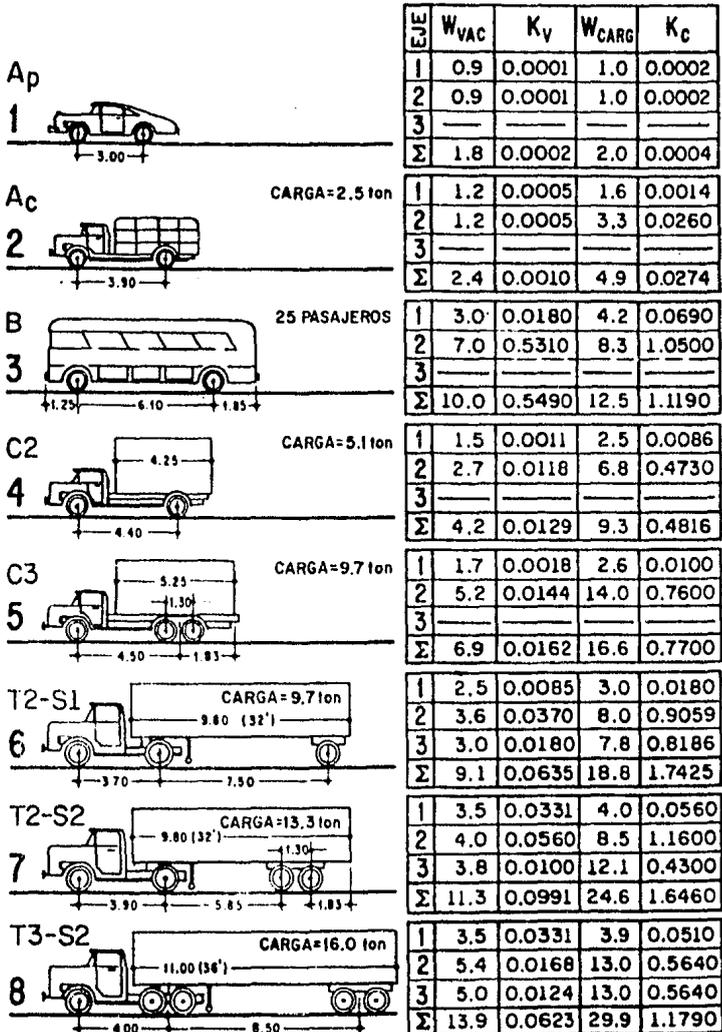
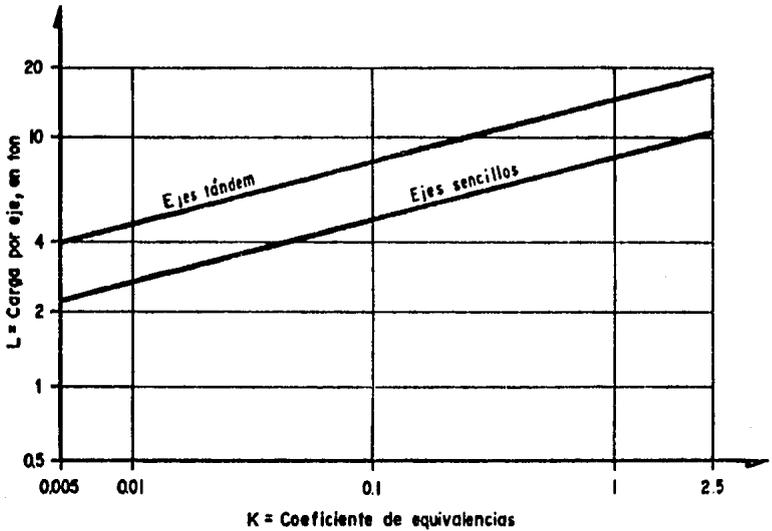


FIG. III5 Conversión de vehículos a ejes equivalentes

Se considera que la rueda equivalente tiene una presión de inflado de  $4.9 \text{ kg/cm}^2$ . Se requiere, en primer lugar, hacer una estimación del número diario de vehículos, agrupados según su número de ejes. La reducción a la carga estándar se hace usando los factores de la tabla III.1, que multiplicados por el número de vehículos diarios de cada tipo, proporciona el número anual de vehículos con carga estándar, que producirán los mismos efectos sobre el pavimento que el que causarían los vehículos reales circulando durante todo un año. Cabe hacer notar que los factores que figuran en la tabla, se refieren al promedio de vehículos circulantes cada día en un solo sentido. Aplicando la regla de los diferentes tipos de vehículos reales y sumando los resultados finales, se llega al número de repeticiones de la carga estándar en un año en estudio.

Por otro lado en la figura III.5 se muestran los tipos de vehículos que es usual considerar en el tránsito carretero, el tipo 1 es de ruedas sencillas, los tipos 2,3 y 4 tienen arreglos duales en el eje trasero y los tipos 5,6,7 y 8 poseen dispositivos en tandem. El tipo 6 es una muestra de un modelo relativamente menos usual, de tractor y remolque con sistema dual en el eje trasero. En la figura se muestra también los coeficientes de equivalencia de carga de los diferentes vehículos en uso, obtenidos de pruebas realizadas por la AASHO. De hecho, esos coeficientes, que se presentan para vehículo vacío y cargado, se obtienen directamente de las gráficas

cas de la figura III.6, y entrando con la carga por eje y leyendo directamente el coeficiente.



$$K \text{ tándem} = \left(\frac{L_T}{15}\right)^4$$

$$K \text{ sencillo} = \left(\frac{L_S}{8.2}\right)^4$$

$L_S$  Carga por eje sencillo, en ton

$L_T$  Carga por eje tándem, en ton

Para igualdad de  $K$  se  $L_T = 1.8 L_S$

FIGURA III.6 Coeficientes de equivalencia de carga.

Otro factor importante es el de la velocidad de las cargas ya que estas ejercen influencia en el pavimento. En general las cargas estáticas o lentas producen mayor deterioro que las más rápidas, por esto, en un camino es frecuente ver más destruidos los carriles de subida que los de bajada.

El arreglo de las llantas influye en la superposición de los esfuerzos inducidos y el área de contacto de las llantas depende de la presión de inflado y de la intensidad de las cargas. El área de contacto determina la profundidad a la que se transmiten los esfuerzos de la carga, la cual aumenta con el área; a la vez, los arreglos de las llantas con gran área de contacto suelen producir estado de esfuerzos más uniformes que los que tienen cargas más concentradas. En la práctica esto conduce a que cuando sean de esperar aplicaciones de carga con grandes áreas de contacto pueden y deban utilizarse materiales de calidad relativamente uniforme en el perfil de pavimento, en tanto, que cuando las cargas vayan a actuar a través de áreas de contacto pequeñas, se requerirá mucha mayor calidad en las capas superiores que en las inferiores.

### III.3 PRUEBAS PRINCIPALES EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS

Previo al diseño de pavimentos será importante mencionar aquellas pruebas de laboratorio que se han desarrollado y que sirven de base para los métodos de trabajo más difundidos en el

diseño de pavimentos. Dentro de éstas las más utilizadas son:

- a.- Prueba de la Placa.
- b.- Prueba del Valor Relativo de Soporte (VRS)
- c.- Prueba Triaxial de Kansas
- d.- Prueba Triaxial del Estabilómetro de Hveem.
- e.- Otro tipo de Pruebas.

Prueba de la Placa.

Se hace para valuar la capacidad soportante de las subrasantes, las bases y, en ocasiones, los pavimentos completos. Se utiliza tanto en el diseño de pavimentos rígidos como flexibles.

La prueba consiste en cargar una placa circular, en contacto estrecho con el suelo por probar, midiendo las deformaciones finales correspondientes a los distintos incrementos de carga utilizados. Es frecuente emplearse placas menores de 30.5 cms. de - diámetro cuya área se parece a la de apoyo de una llanta. Para impedir la flexión de la placa se le colocan encima otras, de - diámetros decrecientes, que den al conjunto la rigidez deseada. La carga se transmite a las placas con gatos hidráulicos, con - reacción dada generalmente con camiones cargados. Las deforma- ciones producidas se miden usualmente en cuatro puntos de la - placa, dos a dos opuestos y dispuestos en cruz, por medio de extensómetros ligados a un puente, cuyo apoyo se coloca lo sufi- cientemente lejos de la placa como para poder considerarlo fijo.

Como puede observarse en la figura III.7

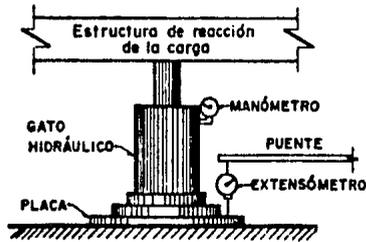


FIGURA III.7 Esquema del dispositivo para la prueba de placas.

Por medio de ésta prueba puede calcularse el módulo de reacción (k) de una subrasante dada. Este concepto se define como la presión que ha de transmitirse a la placa para producir al suelo una deformación prefijada.

$$K = \frac{P}{\Delta} ; \left[ \frac{\text{Fuerza}}{\text{Long}^3} \right] \text{ --- ( 2 )}$$

El módulo de reacción, como cualquier otro parámetro de comportamiento de la subrasante, depende de la humedad del suelo. En el laboratorio o en una prueba de campo deberá trabajarse con la humedad que llega a tener el suelo en el pavimento, que es la llamada humedad de equilibrio.

Durante la prueba, la carga se aplica en incrementos; un nuevo -

incremento se coloca sobre la placa, cuando la velocidad de deformación bajo el incremento anterior sea del orden de 0.001 cm/min.

#### Prueba del Valor Relativo de Soporte (VRS)

Originalmente fué desarrollada por el Departamento de Carreteras del Estado de California, y es actualmente una de las más extendidas en muchos otros lugares; el método de diseño en ella fundado sirve para proporcionar más de la mitad de todos los pavimentos que se construyen actualmente en el mundo.

El Valor Relativo de Soporte (VRS) se obtiene de una prueba de penetración, en la que un vástago de  $19.4 \text{ cm}^2$  de área se hace penetrar en un espécimen de suelo a razón de 0.127 cm/min; se mide la carga aplicada para penetración que varíen en 0.25 cm. El Valor Relativo del Soporte del suelo se define como la relación, expresada como porcentaje, entre la presión necesaria para penetrar los primeros 0.25 cm. y la presión requerida para tener la misma penetración en un material arbitrario, adoptado como patrón, que es una piedra triturada en la que se producen las presiones en el vástago, que se anotan en la tabla III.2.

Penetración		Presión del Vástago	
cm	pulg.	kg/cm <sup>2</sup>	lb/pulg. <sup>2</sup>
0.25	0.1	70	1 000
0.50	0.2	105	1 500
0.75	0.3	133	1 900
1.00	0.4	161	2 300
1.25	0.5	182	2 600

Tabla III.2 Presiones para distintas penetraciones del vástago en el material patrón V.R.S.

El espécimen de suelo con el que se hace la prueba está confinado en un molde de 15.2 cm. de diámetro y 20.3 cm. de altura. En el método de prueba original utilizado en California, el espécimen se preparaba con tres capas variadas que llenasen el molde; después el material se presionaba con 140 kg/cm<sup>2</sup>, aplicados uniformemente en su superficie superior. En estas condiciones eran preparados especímenes con humedades diferentes, hasta encontrar una en la que los 140 kg/cm<sup>2</sup> provocaran la exudación del agua en la parte inferior del molde; este espécimen, tras un período de saturación de 4 días, se suponía representativo de las condiciones más desfavorables que pudieran llegar a prevalecer en el futuro pavimento.

En épocas más recientes el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los E.U.A. ha desarrollado un método de prueba que difiere del tradicional en los procedimientos de preparación del espécimen.

cimen. Se emplea un método dinámico de compactación de los especímenes, para lo que se usan las pruebas AASHO estándar, AASHO-modificada y otra con energía de compactación intermedia. Se trata de reproducir razonablemente las condiciones de compactación logradas con el equipo de campo.

Los factores que más afectan a los valores obtenidos en la prueba son; la textura del suelo, su contenido de agua y su condición de compactación.

#### Prueba Triaxial de Kansas.

Las pruebas triaxiales son pruebas en las que están basados diferentes métodos de diseño de pavimentos. Las pruebas se han aplicado para determinar las propiedades de la subrasante y de las capas del pavimento propiamente dichas, incluyendo en algunos casos a las carpetas.

La prueba triaxial de Kansas se realiza en una cámara triaxial desarrollada por el Estado de Kansas (E.U.A.). La prueba mide el módulo de deformación de los suelos, definido como la pendiente de la curva esfuerzo-deformación obtenida. El módulo de deformación se determina en la prueba, haciendo uso de una gráfica esfuerzo desviador-deformación, señalando en ella el esfuerzo desviador que se supone actuará en el pavimento real. El espécimen que se utiliza es de unos 10 cm. de diámetro, el cual se satura para reproducir las condiciones de humedad más desfavorables para la vida del pavimento.

## Prueba Triaxial del Estabilómetro de Hveem

El estabilómetro de Hveem es otro dispositivo triaxial que sirve de fundamento a un método específico de diseño de pavimentos flexibles. El aparato permite realizar una prueba que mide el comportamiento mecánico de los materiales bajo combinaciones de esfuerzos en niveles inferiores a los de falla.

Para la preparación y compactación de los especímenes por probar en el estabilómetro, Hveem desarrolló el compactador mecánico por amasado y un método de compactación.

El estabilómetro es básicamente una cámara triaxial formada por un cilindro metálico dentro del cual hay una membrana de hule, entre el cilindro y la membrana queda un espacio anular que se llena de aceite, para transmitir la presión lateral sobre el espécimen.

Al aplicar carga vertical al espécimen, se transmite una presión horizontal al aceite, que puede leerse en el manómetro. Las presiones verticales que se aplican son de 5.6 y 11.2 kg/cm<sup>2</sup>.

Los resultados de la prueba se interpretan a través de un valor, llamado de estabilidad, también propuesto por Hveem según la fórmula 3.

$$R = 100 - \frac{100}{\frac{2.5}{D} \left( \frac{P_v - 1}{P_H} \right) + 1} \quad - - (3)$$

Donde

R: Número de estabilidad, (sin dimensiones)  
P<sub>v</sub>: Presión vertical aplicada  
P<sub>h</sub>: Presión horizontal medida en el manómetro  
D: Desplazamiento horizontal de espécimen, correspondiente a una presión horizontal de 7.0 kg/cm<sup>2</sup>.

#### Otro Tipo de Pruebas

Existen otro tipo de pruebas especiales desarrolladas por el Departamento de Carreteras de California de los E.U.A., que sirven para aplicar el método de Hveem, de proyecto de espesores de pavimentos flexibles que son:

- a.- Presión de Exudación
- b.- Presión de Expansión
- c.- Valor del cohesímetro

Presión de Exudación.- Tras compactar a los especímenes utilizando el método del Departamento de California deberá efectuarse la prueba para determinar la presión de exudación, que consiste en medir el esfuerzo de compresión necesario para que el espécimen compactado con una cierta humedad expulse el agua de moldeo. Para tal fin existe un dispositivo que consta de una base con siete celdas fotoeléctricas y un registrador. El espécimen dentro del molde se coloca sobre la base y se aplica una

carga continuamente incrementada, registrándose como presión de exudación la que hace que el agua expulsada cierre el circuito de por lo menos cinco de las celdas perimetrales. La celda central indica el contacto entre el espécimen y la base del aparato, por lo que deberá registrar continuamente. Se especifica que el valor de estabilidad obtenido en el estabilómetro de Hveem que se utilice para el cálculo del espesor necesario del pavimento, corresponda a un contenido de agua tal del espécimen que dé a éste una presión de exudación de  $21 \text{ kg/cm}^2$ ; por este motivo es común medir la presión de exudación en especímenes preparados con contenidos de agua tales que hagan variar este concepto entre 7 y  $56 \text{ kg/cm}^2$ .

Presión de Expansión.- Esta prueba mide la presión que desarrolla bajo ciertas condiciones, un espécimen de suelo al que se permite absorber agua libre; la prueba se efectúa de tal manera que no se permiten cambios importantes durante ella en el peso específico en el suelo. El dispositivo consiste en un puente metálico calibrado de tal manera que es conocida para cada flecha del puente, la presión que se ejerce desde una placa circular de 10.1 cm. de diámetro, apoyada sobre el espécimen la cual transmite la presión al puente por medio de un vástago.

La presión de expansión se mide saturando al espécimen y en el procedimiento de diseño se toma como condición que el peso del pavimento ha de ser suficiente para neutralizar la presión de expansión medida.

Valor del Cohesímetro.- El cohesímetro mide la resistencia a la tensión por flexión de un espécimen de suelo; se supone que dicho valor esta relacionado con la resistencia al esfuerzo - cortante que desarrolle el espécimen bajo un confinamiento representativo del que tendrá en el pavimento. La prueba se aplica sobre todo a los materiales que formarán las capas superiores de la estructura.

El espécimen se coloca dentro de dos mordazas articuladas, una móvil y otra fija; la primera está ligada a una barra (palanca de carga), en cuyo extremo se va ejerciendo una fuerza creciente, hasta la falla de la muestra.

El valor del cohesímetro está dado por la formula 4

$$C = \frac{W}{D (0.20H + 0.044H^2)} \quad \text{-- (4)}$$

Donde

- C: Valor del cohesímetro, en gr/pulg<sup>2</sup>
- W: Peso de los perdigones en el depósito extremo, en gr.
- D: Diámetro o ancho del espécimen, en pulg.
- H: Altura del espécimen, en pulg.

### III,4 MÉTODOS DE DISEÑO

Dada la gran cantidad de métodos de diseño que existen o se utilizan en diferentes partes del mundo, en éste capítulo solo haremos referencia a aquellos que son los más conocidos y que en algunas de sus modalidades se derivan los que se usan en México.

La mayor parte de los métodos de diseño de espesores tienen como base una prueba de laboratorio o un conjunto de pruebas, que se suponen sirven como índice para representar el comportamiento real de los pavimentos por medio de alguna correlación o conjunto de correlaciones más o menos razonables y seguras, que deben de existir entre el comportamiento de los materiales en el laboratorio y en la estructura. En base a esto, mencionaremos a continuación algunos de los métodos de diseño más conocidos empleando algunas de las pruebas vistas anteriormente. De los cuales, para pavimentos flexibles serán los siguientes:

- 1.- Método del Valor Relativo de Soporte (VRS).
  - a.- Modalidad propuesta por el Cuerpo de Ingenieros de los EUA
  - b.- Modalidad utilizada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
  - c.- Modalidad según el Instituto de la UNAM.

## 2.- Método de Ilveem.

Y para los pavimentos rígidos sólo mencionaremos de la Portland Cement Association (PCA)

### Método del VRS

a.- El método esta basado en la realización y resultados de la prueba del mismo nombre; una de cuyas modalidades propuesta por el Cuerpo de Ingenieros de la E.U.A. es la que a continuación se presenta.

En principio, el espesor del pavimento puede obtenerse de la gráfica de la figura III.8, proporcionadas por la propia institución que propone el método.

La gráfica proporciona los espesores para diferentes valores del Valor Relativo de Soporte y distintas cargas de rueda de los vehículos, seleccionadas con el criterio de la carga equivalente, ya descrito. También proporciona el espesor necesario para que el pavimento aguante precisamente  $10^6$  de repeticiones de la carga que se lea.

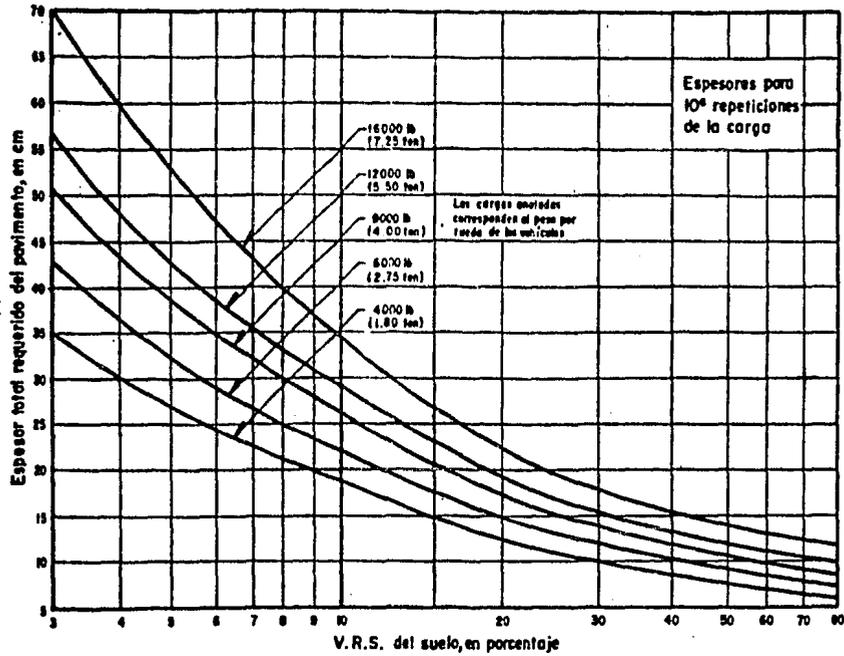


Figura III.8.- Espesores del pavimento en carreteras en función del V.R.S. de los suelos, según el cuerpo de Ingenieros-DE LOS E.U.A.

La manera de utilizar la gráfica de diseño en un caso concreto será la siguiente:

Determinado el VRS de la capa superior de la terracería, la utilización de la gráfica dará el espesor necesario de material que ha de cubrir a la terracería para lograr un comportamiento-satisfactorio. Una vez determinado dicho espesor que debe de ser de mejor calidad que la propia terracería, lo que se hace es proporcionar una subrasante sobre la terracería, cuyo espesor se decide un tanto al gusto, con la única condición de que ese espesor seleccionado más el espesor de lo que se coloque encima de la subrasante dé el cubrimiento total que la terracería haya-requerido.

Es frecuente seleccionar subrasantes del orden de 30 cm. en carreteras, de manera que el resto deberá darse con capas de Sub-Base y Base. Por los mismos procedimientos ya indicados podrá conocerse ahora el VRS de la subrasante y con la misma gráfica que se esté utilizando, podrá conocerse el espesor de cubrimiento total que ese material requiera; siempre con material de mejor calidad que el anterior.

Con el VRS de la Sub-Base se procederá análogamente, volviendo a utilizar la gráfica de diseño que corresponda, obteniéndose ahora el necesario espesor de la Base.

Se ve claramente que se trata de un método en cadena, que tiene algo de aproximaciones sucesivas y que admite multitud de variantes de diseño.

Es costumbre no considerar en estos análisis el espesor de la Carpeta que finalmente se coloque, de manera que éste resulte un suplemento que proporciona automáticamente un remanente de seguridad.

b.- En México se utiliza también predominantemente el VRS como método de diseño de los pavimentos carreteros. La figura III.9 muestra las gráficas de diseño de pavimentos en función del VRS que tiene actualmente en uso la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

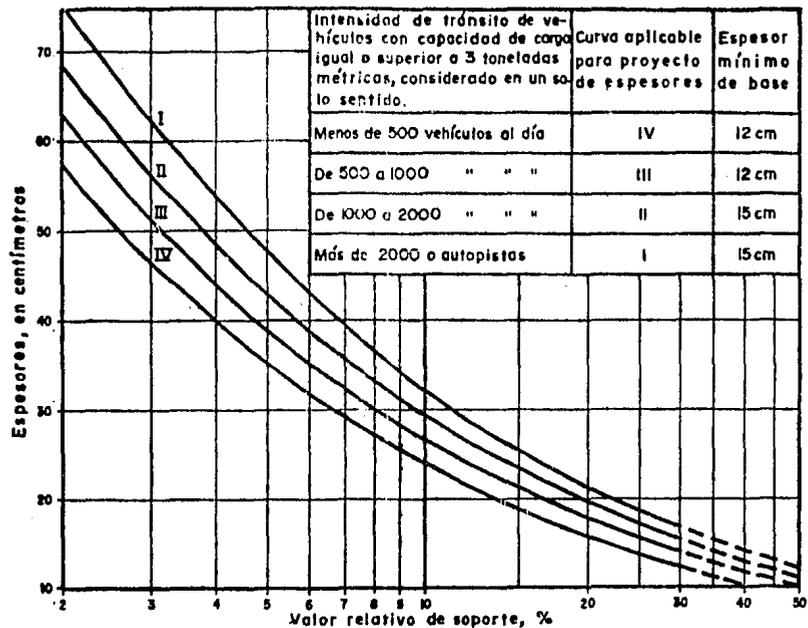


Figura III.9 Curvas para calcular el espesor mínimo de Sub-Ba se más base, en pavimentos flexibles para cami- nos en función del V.R.S. de la subrasante, se- gún la práctica S.C.T.

Este método está basado en la determinación del VRS que forma la subrasante y en la intensidad de tránsito de los vehículos con capacidad de carga igual o superior a 3 ton. métricas, considerado en un solo sentido.

En la S.C.T. la prueba que se usa normalmente para determinar el VRS de la subrasante, es la prueba modificada del Valor Relativo de Soporte para diferentes valores de compactación.

La intensidad de tránsito puede determinarse mediante alguno de los métodos usuales de aforo o bien suponerlo de acuerdo con la región donde está localizado el camino.

Una vez obtenidos los valores del VRS e intensidad de tránsito, se procede a determinar el espesor mínimo de Sub-Base y Base, considerándose el espesor mínimo de la carpeta como un factor de seguridad. El espesor mínimo de la Sub-Base y Base se determina por medio de la gráfica de la figura anterior (III.9). Las curvas que aparecen en esa gráfica, están diseñadas para incrementar paulatinamente el VRS de la Sub-Base en relación con el VRS de la subrasante, y el VRS de la Base en relación con el de la Sub-Base. El espesor está gobernado por el VRS de la subrasante, pues no decrece el espesor del pavimento si la Sub-Base se construye con un material de alto VRS.

Los espesores mínimos de Sub-Base que se proyectan en la S.C.T.

son de 12 cm. para las curvas I y II, y de 10 cm. para las curvas III y IV, siendo por lo tanto de 27 y 22 cm. respectivamente, los mínimos espesores de Sub-Base más Base. Generalmente el criterio que se sigue es el de poner el espesor mínimo, de Base, y la diferencia del espesor obtenido de la gráfica, como capa de Sub-Base, siempre y cuando resulte igual ó mayor al mínimo indicado, ajustándose a dicho valor en caso de resultar menor.

C.- Una variante del Valor Relativo de Soporte cuyas características involucran muchas ideas nuevas, con respecto al panorama que es tradicional en estos casos, es el que ha sido desarrollado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM. En éste criterio el VRS está enfocado con una búsqueda que se antoja racional, pues, se acepta que el VRS debe distribuirse en el espesor resistente del pavimento en forma análoga a como se distribuyen los esfuerzos normales según la teoría de Bussinesq. De esta forma habrá una curva de distribución del VRS similar a la curva típica de Bussinesq, esta distribución no podrá ser continua y los requerimientos constructivos del trabajo por capas harán que el VRS vaya disminuyendo en escalones, pero el criterio de correspondencia entre los esfuerzos transmitidos y el VRS necesario para soportarlos sigue siendo el señalado.

Admitiendo entonces que la relación entre espesor y VRS es

una típica curva de Bussinesq, se dibujan varias de estas relaciones para diferentes repeticiones de carga esperada ó vidas útiles de proyecto, expresada esta vida útil deseada como un número de repeticiones de carga que han de ser aguantadas sin falla; el espaciamento de estas curvas de vida útil en el plano Espesor - VRS es experimental. Una gráfica como la explicada anteriormente la podemos observar en la figura III.10.

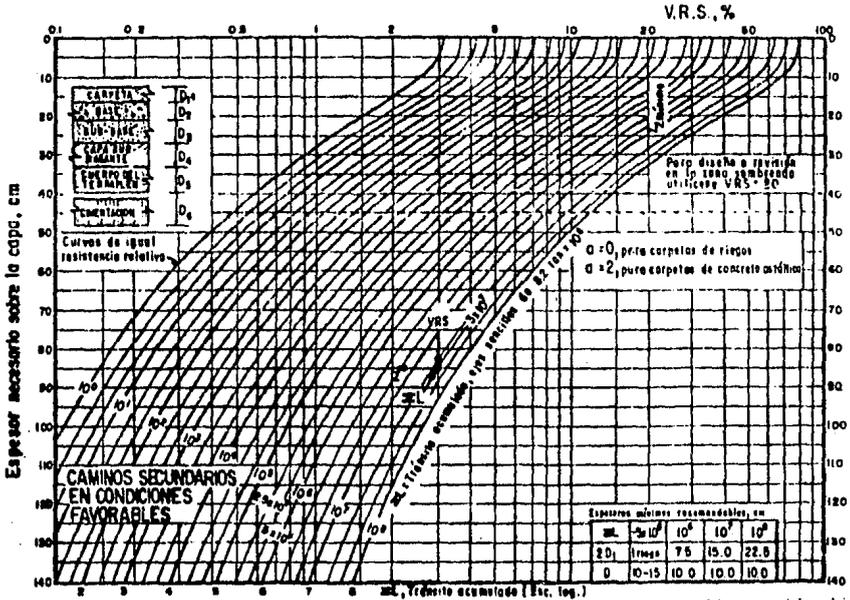


Figura III.10 Gráfica de diseño de espesores de pavimentos en carreteras, según el Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M.

La gráfica anterior puede manejarse en proyecto o en revisión. En proyecto, se fijará al pavimento una vida útil - deseada ( $\Sigma L$ ) y con el VRS de una capa se podrá estimar - el espesor protector requerido sobre ella. En revisión, - conocido el espesor y el VRS de una capa podrá estimarse - la vida útil que es de esperar antes de que se llegue a - una condición de falla.

#### Método de Hveem

Este método ha sido desarrollado por el Departamento de California y se fundamenta en un conjunto de pruebas de laboratorio.

El método de diseño es de requerimiento múltiple, en el - sentido de que se exige que el pavimento finalmente aceptado cumpla condiciones en relación a presión de expansión, - presión de exudación, valor de estabilidad, obtenido en el estabilómetro y a resistencia a la tensión por flexión, medida en las capas superiores del pavimento, por medio de - un conesiómetro.

El espesor del pavimento que neutraliza la presión de expansión de la subrasante obtenida en el laboratorio,  $P_e$ , - será:

$$e_e = \frac{P_e}{f_m} \quad \text{--- (5)}$$

Donde

$E_c$ : espesor requerido para neutralizar la presión de expansión en la subrasante por el peso de las capas superiores del pavimento, en cm.

$P_e$ : presión de expansión, determinada en el laboratorio, en  $\text{kg/cm}^2$

$\gamma_m$ : peso volumétrico medio de la estructura del pavimento, en  $\text{kg/cm}^3$

El espesor de pavimento, utilizando el valor de estabilidad obtenido en el estabilómetro de Hveem, resulta de la fórmula siguiente:

$$E_n = 0.098 \times I.T (100 - R) \quad - - - (6)$$

Donde

$E_n$ : espesor de pavimento necesario de acuerdo con la resistencia del suelo, según la prueba del estabilómetro, en cm.

I.T: índice de tránsito, calculado en la fórmula 1 de éste capítulo.

R: es el número de estabilidad de Hveem, calculado con la expresión 3 del capítulo. Se exige que este valor no sea mayor que el que corres

ponda a una presión de exudación de  $21 \text{ kg/cm}^2$

El procedimiento consiste primero, tener tres especímenes preparados en el laboratorio, amasados con tres contenidos de agua diferentes, que hagan que dos de ellos tengan una presión de exudación por debajo de  $21 \text{ kg/cm}^2$ , en tanto que el tercero la tenga mayor; la presión de exudación de los tres especímenes deberá estar comprendida entre  $7$  y  $56 \text{ kg/cm}^2$ , excepto en aquellos casos que se esperen presiones de expansión muy altas.

A continuación deberán determinarse los valores de exudación de cada uno de los especímenes; después éstos deberán saturarse con absorción de agua libre al ser sometidos a la prueba de presión de expansión.

Los mismos especímenes deberán ser colocados en el estabilómetro de Hveem, para obtener su valor de R.

De lo anterior se tiene, que para cada humedad de moldeo se obtiene un espécimen del que se conoce la presión de exudación, la presión de expansión y el valor de estabilidad.

Aplicando la expresión 5 puede calcularse el espesor del pavimento por expansión para las condiciones representadas por cada uno de los especímenes.

Aplicando la fórmula 6, previamente calculado el índice de tránsito, es posible conocer el espesor de cubrimientos necesario en cada caso atendiendo la condición de estabilidad. Para evitar el uso reiterado de ésta fórmula, la figura III.11 proporciona una nomograma de trabajo que es con el mismo fin.

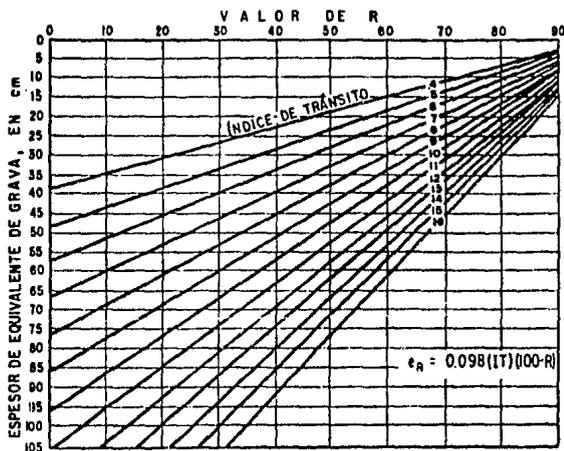


Figura III.11 Abaco para cálculo de la fórmula 6.

Con los datos anteriores pueden dibujarse gráficas como las que a continuación se muestran.

### DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DE EQUILIBRIO

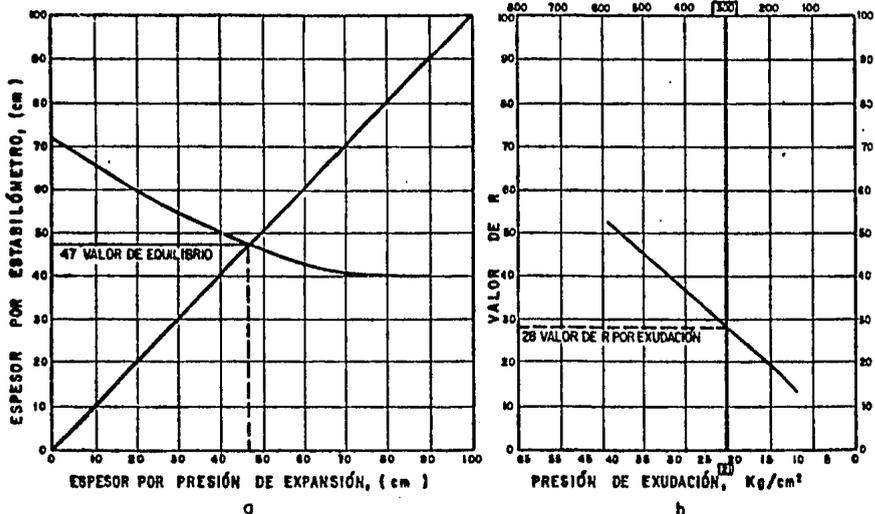


Figura III.12 Determinación del espesor de un pavimento según el método de Hveem.

La figura III.12a permite plantear una gráfica que compara los espesores de cubrimiento requeridos por expansión y por estabilidad; la intersección de esta gráfica con la recta a 45° marca el espesor que satisface a la vez con ambas condiciones.

En la figura III.12b se ha dibujado una gráfica en la que se anotan los valores de R contra las correspondientes presiones de exudación. Teniendo en cuenta que la presión de exudación máxima permisible es de 21 kg/cm<sup>2</sup>, será posible obtener en esa gráfica un valor de R límite, por ese concepto. Con tal valor de R y el nomograma de la figura III.11, conocido el índice de tránsito, se tendrá otro espesor necesario de cubrimiento, atendiendo la presión de exudación.

Se comparan ahora el espesor de equilibrio, obtenido en la parte a de la figura III.12 con el espesor por presión de exudación obtenido de la parte b de la misma figura. El mayor será el espesor de recubrimiento que requiera el material que se esté estudiando.

Este método funciona en forma similar al del VRS. Comenzará aplicándose en la terracería, manejando especímenes de ésta y permitirá obtener el espesor con que tal material ha de cubrirse para tener un comportamiento satisfactorio. Hveem llama a ese material de cubrimiento "Grava Equivalente". Si el método se reitera para la subrasante, fabricando especímenes de este material, podrá encontrarse el espesor de grava necesario para protegerlo. De esta manera podrá irse procediendo en dirección ascendente hasta completar la estructuración deseada en el pavimento.

Con base en la experiencia local del Estado de California, Hveem proporciona equivalencias de espesores de diferentes capas de las usualmente empleadas en la construcción de pavimentos y la "Grava" por el definida como material de cubrimiento protector. La tabla III.3 proporciona los factores de conversión para los casos que se ilustran, que son números tales que, multiplicados por el espesor de la capa de pavimento que se propone dan el espesor de grava equivalente correspondiente.

Tipo de material	Indice de Tránsito	Factor de grava equivalente
	5	2.5
	6	2.3
	7	2.2
	8	2.0
Carpeta de concreto	9	1.9
Asfáltico	10	1.8
	11	1.7
	12	1.6
	13	1.6
	14	1.5
Bases estabilizadas con asfalto		1.2
Bases tratadas con cemento	A	1.7
	B	1.5
	C	1.2
Bases granulares con material triturado		1.1
Sub-Base y bases granulares Naturales		1.0

Tabla III.3 Factores de grava equivalente para diversas estructuras de pavimentos flexibles.

#### Método de la Portland Cement Association (PCA)

Este método como la inmensa mayoría de los pavimentos de concreto se diseña con base en las ecuaciones de Westergaard, que usan el valor del módulo de reacción de la subrasante K, obtenido en una prueba de placa revisada sobre dicha subrasante vista anteriormente.

Es costumbre impuesta a veces por las circunstancias, tomar en cuenta el efecto de la Sub-Base que se colocará posteriormente - -

sobre la subrasante, por medio de una corrección del valor de k.

La asociación de cementos portland de los E.U.A. (PCA) en base a fundamentos teóricos de fórmulas ha desarrollado unas gráficas y abacos de diseño en forma muy completa. En estas gráficas, las características del concreto intervienen a través del concepto - "Módulo de Resistencia a la Tensión en Flexión", MR, que se expresa como un esfuerzo y que se valúa frecuentemente a partir de correlaciones con el valor de  $f_c'$ , resistencia del concreto a la compresión simple tras 28 días de fraguado.

En general:

$$0.10f_c' \leq MR \leq 0.17f_c' \quad - - - - - (7)$$

En México parece conveniente utilizar el Valor

$$MR = 0.12f_c' \quad - - - - - (8)$$

Este valor de MR corresponde a la condición de ruptura; el valor correspondiente que aparece en las gráficas de diseño es el de trabajo, con un factor de seguridad comprendido entre 1.72 y 2, respecto al de ruptura.

En general las gráficas de diseño están obtenidas considerando un módulo de elasticidad del concreto de 280 000 kg/cm<sup>2</sup> y una relación de poisson igual a 0.15.

La PCA recomienda para la valuación de K cuando se tengan materiales con alto módulo de reacción utilizar la figura III.13 para corregir el valor de k por flexión en la placa.

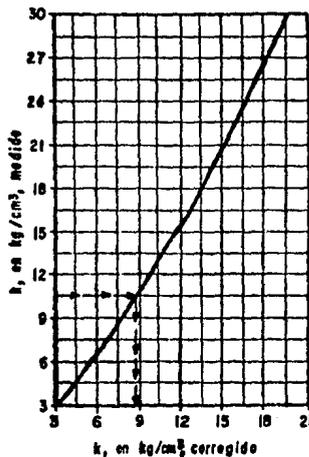


Figura III.13

Gráfica para corregir el valor de k por flexión en la placa.

También como ya se dijo, los pavimentos rígidos poseen generalmente una Sub-Base sobre la subrasante. El efecto de la Sub-Base debe tomarse en cuenta haciendo pruebas de placas sobre ellas o pueden utilizarse las gráficas de las figuras III.14 y III.14<sup>d</sup> que corrigen el valor de k correspondiente a la subrasante, para obtener el valor final con que debe de entrarse en las gráficas de diseño.

Figura III.14 Gráfica para obtener el valor de  $k$  sobre la Sub-Base, conocido el mismo sobre la subrasante. Sub-Bases no estabilizadas.

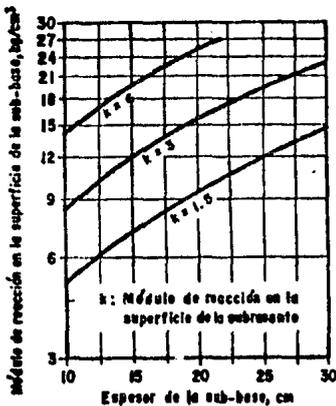
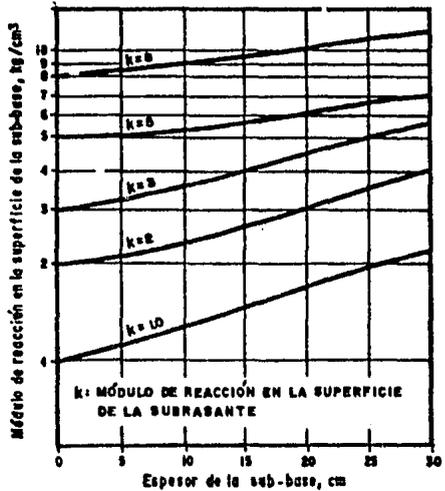


Figura III.14<sup>1</sup> Gráfica para obtener el valor de  $k$  sobre la Sub-Base, conocido el mismo sobre la subrasante. Sub-Bases estabilizadas con cemento.

El espesor de la Sub-Base de los pavimentos rígidos no es objeto de cálculo, sino de receta establecida por la costumbre. Nunca se construye de menos de 10 cm y probablemente 15 cm es una buena dimensión mínima.

El PCA comienza por valuar la denominada relación de resistencias:

$$Rr = \frac{MR \text{ (Actuante)}}{MR \text{ (disponible)}} \quad - - - - \quad (9)$$

Para ello, deberá conocerse el valor de la resistencia a la tensión en flexión que se aplicará a las losas, así como el valor de dicho concepto que sirva de base al proyecto.

A continuación deberá establecerse el nivel de repeticiones de carga actuante que corresponde al valor de la Relación de Resistencias que se haya obtenido; la correlación entre ambos valores es empírica y es proporcionada en la tabla III.4.

<i>Relación de Resistencias</i>	<i>Número permisible de repeticiones</i>	<i>Relación de Resistencias</i>	<i>Número permisible de repeticiones</i>
0.51	400,000	0.69	2,500
0.52	300,000	0.70	2,000
0.53	240,000	0.71	1,500
0.54	180,000	0.72	1,100
0.55	130,000	0.73	850
0.56	100,000	0.74	650
0.57	75,000	0.75	450
0.58	57,000	0.76	360
0.59	42,000	0.77	270
0.60	32,000	0.78	210
0.61	24,000	0.79	160
0.62	18,000	0.80	120
0.63	14,000	0.81	90
0.64	11,000	0.82	70
0.65	8,800	0.83	50
0.66	6,000	0.84	40
0.67	4,500	0.85	30
0.68	3,500		

TABLA III.4 CORRELACION ENTRE LA RELACION DE RESISTENCIAS DE UN PAVIMENTO RIGIDO CARRETERO Y EL NUMERO DE REPETICIONES DE LA CARGA CORRES PONDIENTE QUE SE PUEDE SOPORTAR SIN FALLA.

En la tabla anterior se supone que una carga que aplique a las losas un valor de MR tal que la Relación de Resistencias sea menor que 0.5, puede aplicarse cualquier número de veces sin falla. Si la Relación de Resistencias es 0.51, la carga correspondiente puede actuar 400 000 veces antes de producir la falla de la losa, pero una carga actuante que conduzca a una Relación de Resistencias de 0.85 solamente podría aplicarse 30 veces antes de causar la ruptura de la losa.

Existe la recomendación adicional de que la carga del tránsito se afecta por un factor de seguridad para tener el valor de carga a partir del cual se estima el MR actuante. Dicho factor de seguridad es 1.2 para carreteras importantes con tránsito muy abundante de vehículos pesados; 1.1 para carreteras sujetas a volúmenes medios de tránsito de vehículos pesados y 1.0 para carreteras con volumen pequeño o nulo de dicho tipo de tránsito.

La aplicación del método exige conocer la distribución de las cargas del tránsito, sabiendo tanto para el caso de ejes sencillos como para el caso de sistemas tándem, las diferentes cargas que circularán sobre el pavimento.

Con todos los datos que se tienen podrá procederse al diseño siguiendo la secuela que se aplica con apoyo en los datos hipotéticos contenidos en la tabla III.5.

Carga <sup>1</sup>	Carga x F <sub>s</sub>	MR (actuante)	R <sub>r</sub>	Repeticiones permisibles	Repeticiones esperadas	Porcentaje utilizado de la capacidad total
ton	ton	kg/cm <sup>2</sup>	—	—	—	—
<b>Ejes Sencillos</b>						
13.6	16.3	26.0	0.52	300,000	3,100	1
12.7	15.2	25.0	0.51	400,000	3,100	1
			Menor que			
11.8	14.2	23.3	0.50	Sin límite	—	0
10.9	13.1	—	—	" "	—	0
10.0	12.0	—	—	" "	—	0
<b>Ejes Tandem</b>						
24.5	29.4	29.3	0.59	42,000	3,100	7
23.6	28.3	28.2	0.57	75,000	3,100	4
22.6	27.2	27.4	0.55	150,000	30,360	23
21.8	26.1	26.6	0.54	180,000	30,360	17
20.8	25.0	25.6	0.52	300,000	48,140	16
			Menor que			
20.0	24.0	24.5	0.50	Sin límite	—	0
19.0	22.8	—	—	" "	—	0
18.1	21.8	—	—	" "	—	0

Σ : 69%

Tabla III.5 Tabla de diseño de espesores de pavimentos rígidos de carreteras según la P.C.A.

En la primera columna aparecen los tipos de cargas esperados - tanto en ejes sencillos como tandem, de acuerdo con el análisis de tránsito que se haya hecho. En la segunda columna aparecen - estos mismos valores multiplicados por el factor de seguridad - de carga, que se supuso de 1.2. Se procederá a hacer uso ahora - de las figuras III.15 y III.16 que son las verdaderas gráficas - de diseño en este procedimiento.

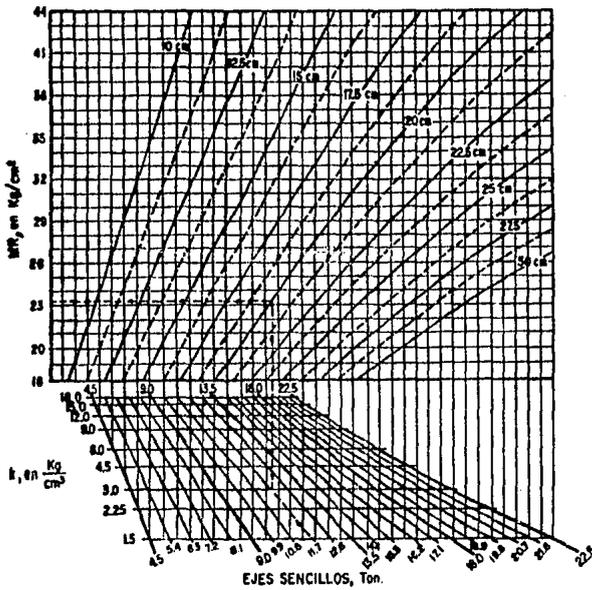


Figura III.15 Gráfica de diseño para cargas en ejes sencillos. Pavimentos rígidos de carreteras.

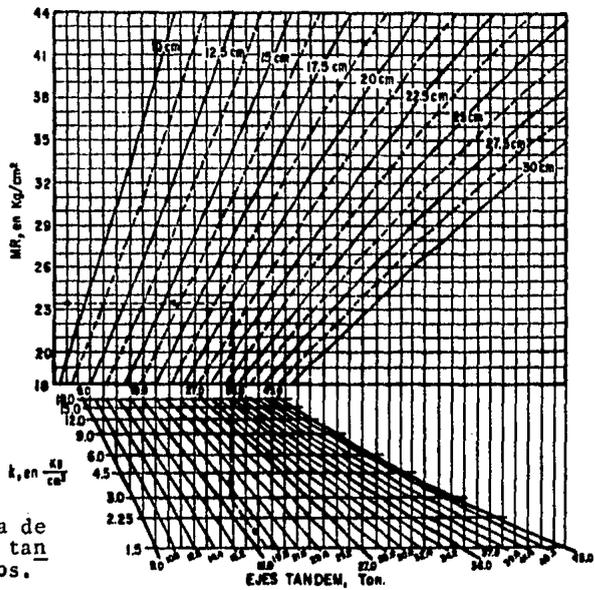


Figura III.16 Gráfica de diseño, para carga en tandem. Pavimentos rígidos.

Primeramente se manejará la figura III.15 que se refiere a cargas sobre ejes sencillos. Entrando con las diferentes cargas - por ejes que se tienen en la tabla III.5, es posible, manejando las gráficas como muestran las trayectorias de flechas punteadas, calcular el valor de MR actuante y bajo una hipótesis de espesor de losa que ha de hacerse (en este caso 21.5 cm) y conociendo el valor de k corregido, módulo de reacción de la - subrasante y Sub-Base (supuesto en la tabla III.5 de  $3.9 \text{ kg/cm}^3$ ) Los valores de MR que el tránsito aplica a la losa, se anotan en la tercera columna de la tabla.

Se acepta también en el ejemplo ilustrativo, que el MR de proyecto del concreto a usar en las losas será de  $49.6 \text{ kg/cm}^2$ . Con este valor podrán anotarse los de  $R_r$  en la cuarta columna de la tabla III.5.

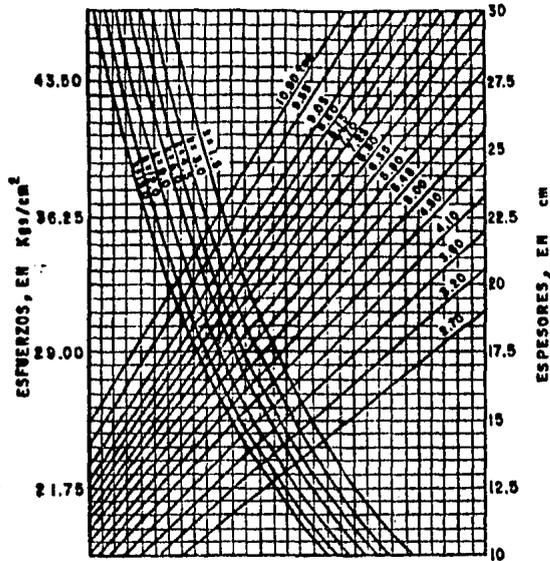
Con los valores de  $R_r$  podrán calcularse las repeticiones permisibles de la carga en cuestión antes de provocar la falla, con base en la tabla III.4 y los valores correspondientes se han anotado en la quinta columna de la tabla III.5. En la sexta columna - de la misma tabla deberán anotarse los valores de las repeticiones que se esperan realmente para cada una de las cargas anotadas, dentro de la vida útil del pavimento. Este dato depende de la estimación del tránsito que se haya efectuado y de la correspondiente predicción de su desarrollo futuro, de las cuales se - habló anteriormente.

Si se dividen los números de la columna seis entre los correspondientes de la columna cinco, expresando el cociente como un porcentaje, se obtendrá lo que la PCA denomina "Porcentaje Utilizado de la Capacidad Total del Pavimento". Las sumas de todos esos porcentajes anotados en la columna siete se acepta como un índice de la capacidad total del pavimento. En el caso de los números anotados en la tabla III.5 dicha suma resultó 69% que debe ser considerada como baja; el valor idealmente correcto para la suma en cuestión será 100%, pero la PCA permite en su método aceptar inclusive cifras mayores, con tal de no exceder el 125%.

En el caso de los números expresados en la tabla III.5, habría de ser repetida la secuela de cálculo, efectuando un nuevo tanteo en todo análogo al expresado, en el que se utilice un espesor de losa menor que el de 21.5 cm., que se consideró en el caso anotado. Así habría que proceder a tantear diferentes espesores de losa, hasta encontrar uno que produce un adecuado porcentaje total de utilización de la capacidad estructural de las losas.

La figura III.17 proporciona una gráfica para el cálculo del espesor de pavimentos rígidos carreteros, unicamente en función de la carga más pesada transmitida por un vehículo de eje sencillo y rueda doble. La gráfica utiliza los mismos valores de los elementos mecánicos del concreto que han sido mencionados y está basada en fórmulas desarrolladas por Pickett.

Figura III.17 Gráfica de la P.C.A. para el cálculo de espesor de pavimentos rígidos en caminos, carga de rueda doble.



Para utilizar la gráfica deberá de multiplicarse por 1.2 la carga correspondiente al eje dual más pesado que se espere, y de dividir el módulo de resistencia a la tensión en flexión del concreto a la ruptura, entre dos, para obtener un valor de trabajo ( $f_s = 2$  en la resistencia del concreto).

Los pavimentos de concreto se aplicarán siempre a carreteras importantes, de alto volumen de tránsito, en la que este obviamente estará bien estudiado.

Y para dar por terminado los métodos de diseño de pavimentos, a continuación mostraremos un ejemplo resuelto por el método del Instituto de Ingeniería de la UNAM para el cálculo de los espesores de un pavimento flexible.

Problema Resuelto.

Se requiere diseñar la sección estructural de un camino de cuatro carriles con la composición del tránsito de vehículos en - ambas direcciones que se muestra a continuación.

Ap	=	8 460
Ac	=	2 116
B	=	684
C <sub>2</sub>	=	734
C <sub>3</sub>	=	116
T2S2=		28
T3S2=		102
SUMA		12 240

Solución.

En primer término, del volumen de tránsito real mezclado denominado, TDPA, que se dió anteriormente, se obtendrá el número de vehículos en el carril de diseño, lo cual se logra multiplicando el TDPA, por un coeficiente de distribución el que es seleccionado en función del número de carriles de la carretera, de acuerdo con las recomendaciones que se presentan a continuación sugeridas por el Instituto de Ingeniería.

Número de carriles en ambas direcciones	Coefficiente de distribución para el carril de proyecto %
2	30
4	40-30
6 o más	30-40

Tabla III.6

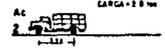
NOTA  
 KV: COEFICIENTE DE EQUIVALENCIA PARA EL VEHICULO VACIO.  
 KC: COEFICIENTE DE EQUIVALENCIA PARA EL VEHICULO CARGADO.



Nº	CARACTERISTICAS			COEFICIENTES DE DAÑO			
	Peso, ton	P, Mg/m	W, Mg/m	CARGADO, F			
	1º	2º	3º	1º	2º	3º	4º
1	1.0	0.8	2.0	0.0023	0.000	0.000	0.000
2	1.0	0.8	2.0	0.0023	0.000	0.000	0.000
3							
4	2.0	1.6	-	0.0046	0.000	0.000	0.000

COEFICIENTES DE DAÑO			
CARGADO, F			
1º	2º	3º	4º
0.0023	0.000	0.000	0.000
0.0023	0.000	0.000	0.000
0.0046	0.000	0.000	0.000

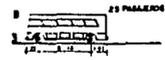
COEFICIENTES DE DAÑO			
VACIO, F¹			
1º	2º	3º	4º
0.0023	0.000	0.000	0.000
0.0023	0.000	0.000	0.000
0.0046	0.000	0.000	0.000



Nº	CARACTERISTICAS			COEFICIENTES DE DAÑO			
	Peso, ton	P, Mg/m	W, Mg/m	CARGADO, F			
	1º	2º	3º	1º	2º	3º	4º
1	1.6	1.2	4.2	0.17	0.002	0.001	0.000
2	5.3	1.2	6.7	0.17	0.040	0.010	0.010
3							
4	4.9	2.4	-	0.34	0.062	0.011	0.010

COEFICIENTES DE DAÑO			
CARGADO, F			
1º	2º	3º	4º
0.17	0.002	0.001	0.000
0.17	0.040	0.010	0.010
0.34	0.062	0.011	0.010

COEFICIENTES DE DAÑO			
VACIO, F¹			
1º	2º	3º	4º
0.17	0.001	0.000	0.000
0.17	0.000	0.000	0.000
0.34	0.001	0.000	0.000



Nº	CARACTERISTICAS			COEFICIENTES DE DAÑO			
	Peso, ton	P, Mg/m	W, Mg/m	CARGADO, F			
	1º	2º	3º	1º	2º	3º	4º
1	4.2	3.0	9.0	1.0	0.150	0.080	0.050
2	8.3	7.0	8.8	2.0	1.000	1.020	1.080
3							
4	12.5	9.0	-	2.0	1.150	1.100	1.100

COEFICIENTES DE DAÑO			
CARGADO, F			
1º	2º	3º	4º
1.0	0.150	0.080	0.050
2.0	1.000	1.020	1.080
2.0	1.150	1.100	1.100

COEFICIENTES DE DAÑO			
VACIO, F¹			
1º	2º	3º	4º
1.0	0.040	0.016	0.007
1.0	0.400	0.300	0.100
2.0	0.640	0.516	0.507



Nº	CARACTERISTICAS			COEFICIENTES DE DAÑO			
	Peso, ton	P, Mg/m	W, Mg/m	CARGADO, F			
	1º	2º	3º	1º	2º	3º	4º
1	2.8	1.8	5.0	0.44	0.028	0.008	0.002
2	6.8	2.7	5.0	0.44	0.440	0.440	0.440
3							
4	9.3	4.2	-	0.88	0.465	0.448	0.442

COEFICIENTES DE DAÑO			
CARGADO, F			
1º	2º	3º	4º
0.44	0.028	0.008	0.002
0.44	0.440	0.440	0.440
0.88	0.465	0.448	0.442

COEFICIENTES DE DAÑO			
VACIO, F¹			
1º	2º	3º	4º
0.44	0.002	0.000	0.000
0.44	0.028	0.008	0.002
0.88	0.027	0.008	0.002



Nº	CARACTERISTICAS			COEFICIENTES DE DAÑO			
	Peso, ton	P, Mg/m	W, Mg/m	CARGADO, F			
	1º	2º	3º	1º	2º	3º	4º
1	2.6	1.7	5.0	0.44	0.025	0.008	0.002
2	14.0	9.2	5.0	0.44	0.630	0.630	0.630
3							
4	16.6	6.0	-	0.88	0.875	0.858	0.653

COEFICIENTES DE DAÑO			
CARGADO, F			
1º	2º	3º	4º
0.44	0.025	0.008	0.002
0.44	0.630	0.630	0.630
0.88	0.875	0.858	0.653

COEFICIENTES DE DAÑO			
VACIO, F¹			
1º	2º	3º	4º
0.44	0.004	0.001	0.000
0.44	0.040	0.010	0.006
0.88	0.044	0.011	0.006



Nº	CARACTERISTICAS			COEFICIENTES DE DAÑO			
	Peso, ton	P, Mg/m	W, Mg/m	CARGADO, F			
	1º	2º	3º	1º	2º	3º	4º
1	3.0	2.5	5.8	1.0	0.040	0.015	0.007
2	8.0	3.6	5.8	1.0	0.900	0.900	0.900
3	7.8	3.0	5.8	1.0	0.800	0.800	0.800
4	18.8	9.1	-	3.0	1.740	1.715	1.707

COEFICIENTES DE DAÑO			
CARGADO, F			
1º	2º	3º	4º
1.0	0.040	0.015	0.007
1.0	0.900	0.900	0.900
1.0	0.800	0.800	0.800
3.0	1.740	1.715	1.707

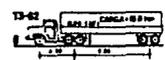
COEFICIENTES DE DAÑO			
VACIO, F¹			
1º	2º	3º	4º
1.0	0.020	0.006	0.002
1.0	0.080	0.030	0.020
1.0	0.040	0.015	0.007
3.0	0.140	0.051	0.029



Nº	CARACTERISTICAS			COEFICIENTES DE DAÑO			
	Peso, ton	P, Mg/m	W, Mg/m	CARGADO, F			
	1º	2º	3º	1º	2º	3º	4º
1	4.0	3.3	5.8	1.0	0.120	0.050	0.020
2	8.8	4.0	5.8	1.0	1.000	1.050	1.050
3	12.1	3.9	5.8	2.0	0.480	0.480	0.480
4	24.6	11.3	-	4.0	1.870	1.460	1.480

COEFICIENTES DE DAÑO			
CARGADO, F			
1º	2º	3º	4º
1.0	0.120	0.050	0.020
1.0	1.000	1.050	1.050
2.0	0.480	0.480	0.480
4.0	1.870	1.460	1.480

COEFICIENTES DE DAÑO			
VACIO, F¹			
1º	2º	3º	4º
1.0	0.080	0.030	0.020
1.0	0.120	0.050	0.030
2.0	0.010	0.002	0.001
4.0	0.210	0.092	0.091



Nº	CARACTERISTICAS			COEFICIENTES DE DAÑO			
	Peso, ton	P, Mg/m	W, Mg/m	CARGADO, F			
	1º	2º	3º	1º	2º	3º	4º
1	3.9	3.9	5.8	1.0	0.600	0.600	0.600
2	13.0	5.4	5.8	2.0	0.600	0.600	0.600
3	13.0	5.0	5.8	2.0	0.600	0.500	0.500
4	29.9	13.0	-	3.0	1.800	1.050	1.025

COEFICIENTES DE DAÑO			
CARGADO, F			
1º	2º	3º	4º
1.0	0.600	0.600	0.600
2.0	0.600	0.600	0.600
2.0	0.600	0.500	0.500
3.0	1.800	1.050	1.025

COEFICIENTES DE DAÑO			
VACIO, F¹			
1º	2º	3º	4º
1.0	0.080	0.030	0.020
2.0	0.040	0.015	0.007
2.0	0.030	0.010	0.005
3.0	0.150	0.055	0.032

FIG. III.18 Coeficientes de daños por tránsito para vehículos típicos

En nuestro caso se selecciona un coeficiente de distribución - del 40%, en función de los cuatro carriles de que consta el camino.

Una vez teniendo el número de vehículos en el carril de diseño, estos se convertirán a tránsito equivalente de ejes sencillos - de 8.2 ton., mediante la aplicación de los coeficientes de daños de tránsito para vehículos típicos mostrados en la figura - III.18, la cual es una derivación de las pruebas de la AASHO - que se mostraron en la figura III.5 adecuada conforme a la red nacional.

Se tomarán los coeficientes de daño para una profundidad de  $Z = 15$  cm., los cuales se multiplican por el número de vehículos en el carril de diseño para que proporcionen el número de ejes equivalentes para dicha profundidad. La suma de estas cantidades representa el tránsito equivalente en ejes simples de 8.2 ton. referido al carril de diseño y a un día medio del año del que se hizo la estimación; en nuestro caso la suma total es de  $T_o = 589.0$ .

El procedimiento que se siguió se muestra en la tabla III.7 mostrada a continuación:

1	2	3	4	5
Tipo de vehículo	T.D.P.A. dos direcciones	Núm. de vehículos carril de diseño	Coefficiente de diseño	Núm. ejes equivalentes de 8.2 ton
			$\Sigma = 15$	$\Sigma = 15$
Ap	8,460	3,384	0.000	0.0
Ac	2,116	846	0.042	35.5
B	684	274	1.15	515.1
C2	794	294	0.465	136.7
C8	116	46	0.675	51.1
T2S2	28	11	1.57	17.9
T3S2	102	41	1.50	55.9
Total	12,240	4,896		T' = 589.0

Tabla III.7 Procedimiento para transformar el tránsito mezclado al correspondiente tránsito equivalente a ejes sencillos de 8.2 ton., referido al carril de diseño (TDPA)

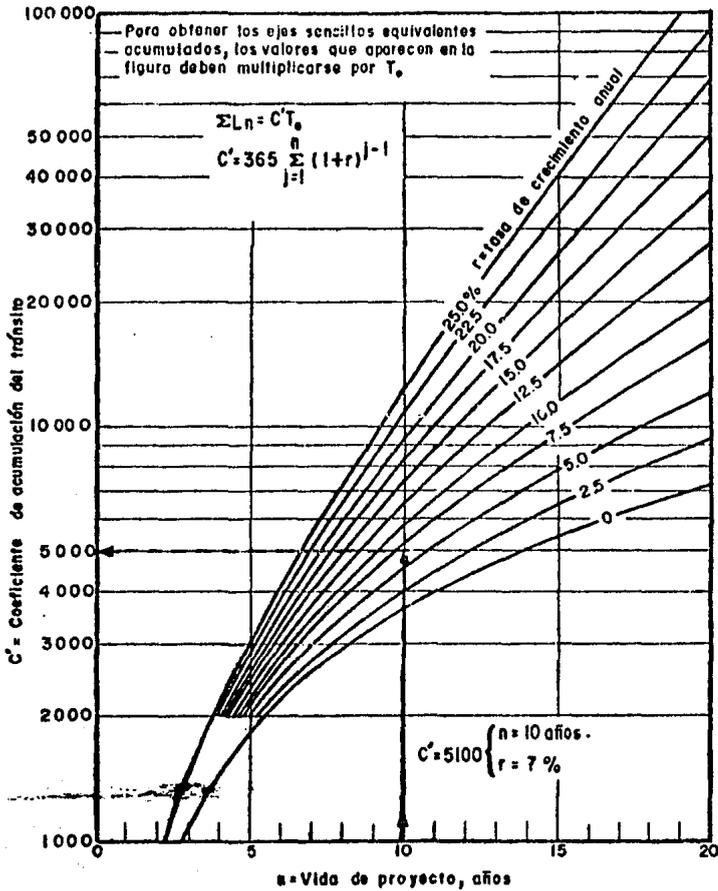
A continuación se procede al cálculo del tránsito equivalente - acumulado.

Con la siguiente expresión se puede calcular el tránsito acumulado de ejes equivalentes de 8.2 ton. durante un periodo de n años de servicio.

$$\Sigma Ln = C^1 \times T_0 \dots \dots \dots (10)$$

En donde

$\Sigma Ln$  : Tránsito acumulado durante n años de servicio y tasa de crecimiento r, en ejes equivalentes de 8.2 ton.



$\sum L_n$  = Tránsito acumulado al cabo de  $n$  años de servicio, ejes equivalentes de 8.2 Ton.

$C'$  = Coeficiente de acumulación del tránsito, para  $n$  años de servicio y una tasa de crecimiento anual  $r$ .

$T_0$  = Tránsito medio diario por carril en el primer año de servicio, ejes equivalentes de 8.2 Ton.

$$T_0 = \sum N_i F_i + \sum N'_i F'_i$$

$N_i, N'_i$  = Promedio diario por carril de vehículo tipo  $i$  (cargados o descargados, respectivamente), durante el primer año de servicio.

$F_i, F'_i$  = Coeficiente de daño relativo producido por cada viaje del vehículo  $i$  (cargado o descargado, respectivamente), ejes equivalentes de 8.2 Ton.

Figura III.19 Gráfica para estimar el tránsito equivalente acumulado.

To : Tránsito medio diario en el primer año de servicio para el carril de diseño, - en ejes equivalentes de 8.2 ton.

C<sup>1</sup> : Coeficiente de acumulación de tránsito para n años de servicio y una tasa de crecimiento anual r, que se puede obtener mediante la ecuación siguiente.

$$C^1 = 365 \sum_{j=1}^{j=n} (1 + r)^{j-1} \dots \dots (10^1)$$

Expresión cuya solución gráfica aparece en la figura III.19.

Considerando un período de diseño de 10 años y una tasa de crecimiento anual del 7%, se determina el coeficiente de acumulación de tránsito por medio de la gráfica de la figura III.19 - vista anteriormente.

$$C^1 = 5\ 100$$

Qué al multiplicarlo por To da el tránsito equivalente para la profundidad de Z = 15 cm.

$$\Sigma L_{10} = C^1 \times To = 5\ 100 \times 589 = 3\ 003\ 900 \text{ ejes}$$

De acuerdo con las características de la carretera proyectada se considera que el diseño estructural de ésta se debe de hacer mediante el uso de la gráfica de la figura III.10 citada anterior--

mente en el método del Instituto. En ella se dibuja una curva de resistencia relativa igual a la de los datos de tránsito acumulado, la cual se obtuvo en el inciso anterior.

A continuación se procede a determinar los espesores de las capas de la estructura del camino, que en este caso corresponden a la capa subrasante, Sub-Base, Base y carpeta. Para ello se utiliza la curva trazada y las propiedades de resistencia de cada uno de los materiales que constituirán dichas capas, en este caso por medio del Valor Relativo de Soporte (VRS).

Una vez determinado los valores de VRS en los diferentes materiales, se procede a calcular el VRS crítico correspondiente a cada capa, mediante el empleo de la siguiente ecuación:

$$VRS_c = VRS ( 1-CV ) \quad - - - - (11)$$

Donde

- $VRS_c$  : Valor crítico del VRS para fines de diseño
- $VRS$  : Valor medio en cada material
- $C$  : Factor que depende del nivel de confianza y que aparece en la figura - III.20
- $V$  : Coeficiente de variación de los valores de la prueba.

Se recomienda tomar los valores de V que se dan en la tabla III.8

Calidad de los procedimientos de construcción	Valor de V
Muy buena	0.3
Buena	0.4
Regular	0.5

Tabla III.8 Coeficientes de variación de los valores de la Prueba

Los valores de VRS críticos supuestos en los diferentes materiales que compondrán la sección estructural del pavimento son:

Terreno natural	3.5%
Subrasante	10.0%
Sub-Base	21.0%
Base	80.0%

Con estos datos de resistencia y la gráfica de la figura III.20 se obtienen los diferentes espesores de la carretera.

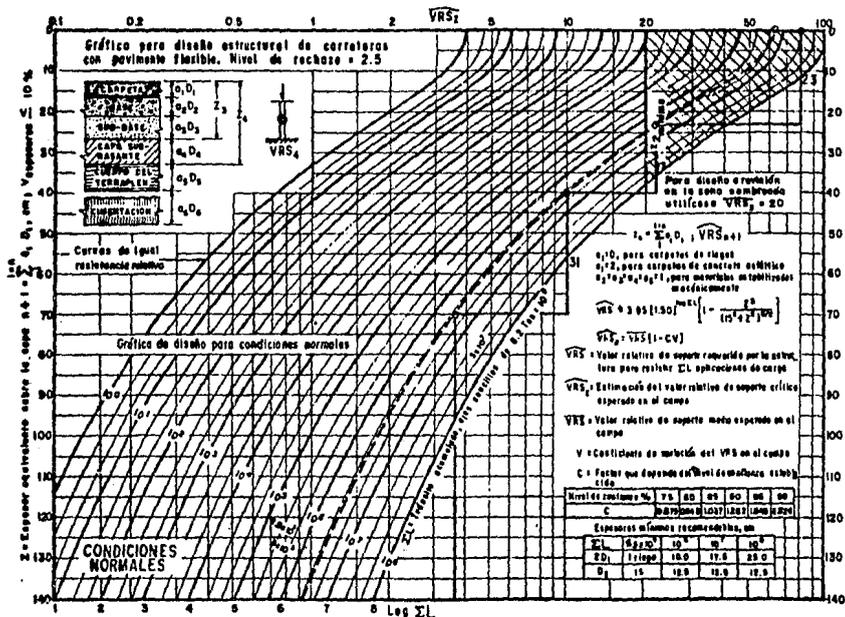


Figura III.20 gráfica de diseño estructural de carreteras con pavimentos flexibles.

El procedimiento que se sigue es el siguiente. El espesor total de material equivalente que deberá colocarse sobre el terreno natural se determina dibujando una línea vertical partiendo del punto cuyo VRS es de 3.5%, hasta intersectar la curva de igual-resistencia en un punto, denominado punto crítico, que proyectado en el eje de las ordenadas (z) proporciona un espesor total de 71 cms.

El espesor de la capa subrasante es igual a la distancia vertical entre los puntos críticos correspondientes a los valores de VRS de 3.5% y 10.0%, lo que nos da un valor de 31 cm. Determina

da en forma similar se obtiene un espesor de 17 cm para la capa de Sub-Base.

La diferencia entre el espesor total y la suma de espesores de la subrasante y la Sub-Base es igual al espesor disponible para alojar la Base y la carpeta en grava equivalente; es decir.

$$71 - (31 + 17) = 23 \text{ cm}$$

Que de acuerdo con la ecuación estructural de espesores tendremos:

$$Z_n = \sum_{i=1}^n a_i \times D_i \quad - - - \quad (12)$$

Se tiene  $Z = 23 = a_1 D_1 + a_2 D_2 \quad - - - \quad (12^1)$

En donde

$D_1$  : espesor de la carpeta asfáltica, en cm, (real).

$D_2$  : espesor de la base, en cm. (real).

$a_1, a_2$ : coeficiente de equivalencia de espesor real a grava equivalente, que se puede considerar:

$a_1 = 2$  para concreto asfáltico

$a_2 = 1$  para bases hidráulicas

De la misma figura III.20 se puede obtener el espesor mínimo requerido de la carpeta asfáltica en función del tránsito equivalente acumulado para una profundidad  $Z = 15$  y es igual a:

$$2D_1 = 10$$

$$\therefore D_1 = 5 \text{ cm}$$

Por lo anterior se tiene:

$$a_1 D_1 + a_2 D_2 = (2 \times 5) + (1 \times D_2) = 23$$

$$= 10 + D_2 = 23$$

$$\therefore D_2 = 13.0 \text{ cm}$$

Por lo tanto la estructuración de la carretera será de la siguiente manera:

Capa Subrasante	31 cm.
Capa de Sub-Base	17 cm.
Capa de Base Hidráulica	13 cm.
Carpeta de Concreto Asfáltica	10 cm.

Con este ejemplo damos por terminado el subcapítulo del diseño de pavimentos.

En el siguiente subcapítulo veremos lo relativo al tendido de las carpetas asfálticas, por ser estas las de uso más común en-

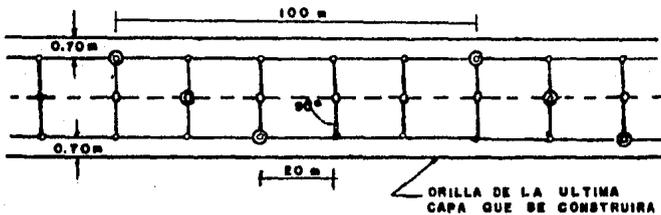
la red nacional de carreteras.

### III.5 TENDIDO DE CARPETA ASFALTICA

#### Colocación de las Carpetas Asfálticas

Una vez terminada la construcción de la Base, se verificará el alineamiento, perfil, secciones transversales, espesor y el grado de compactación requerido. Para estos dos últimos puede tomarse como ejemplo la distribución de los puntos donde se lleven a cabo los sondeos para la verificación de espesor, compactación y aquellos donde se determinen en la figura 21.

#### PUNTOS DE VERIFICACION CARRETERAS



- PUNTO DE NIVELACION
- ⊙ PUNTO DE NIVELACION Y SONDEO

FIG. III.21

Se procede posteriormente a un barrido de la superficie de la Base, actividad que puede ser hecha a mano o por medio de escobas mecánicas con el objeto de eliminar todo el polvo y materias extrañas que se encuentren en la superficie.

Si al efectuar lo anterior la Base está exenta de surcos, baches, ondulaciones y presenta una superficie libre de materias extrañas; se estará en condiciones de colocar la carpeta asfáltica.

Para la colocación de la carpeta es necesario aplicar una sustancia entre la Base y ésta que cumple determinadas funciones; a ésta actividad se le conoce como "Riego de Impregnación" la cual definimos a continuación.

Riego de Impregnación.- El riego de impregnación es la aplicación de un alfalto rebajado, a una superficie terminada, con objeto de impermeabilizar y/o estabilizar para favorecer la adherencia entre ella y la carpeta asfáltica, así como darle mayor resistencia a la Base contra los efectos destructores del tránsito, durante el tiempo que transcurra el proceso de la pavimentación.

Como regla general cuando la aplicación de los asfaltos sean mayores de  $1 \text{ lt/m}^2$ , es conveniente darlo en dos riegos, llevando la precaución de que no se regará la segunda parte del mismo has

ta en tanto no se haya absorbido y secado la primera parte del riego, además por ningún motivo deberá regarse éste cuando la Base se encuentre mojada, o por las condiciones del tiempo, se pueda suponer lluvia inminente antes de que el producto asfáltico haya efectuado su fraguado, para evitar que éste sea lavado.

La aplicación de los asfaltos rebajados deberá darse por medio de una petrolizadora de tracción mecánica, que permita distribuir el asfalto en la cantidad y proporciones indicadas uniformemente, y a la temperatura de aplicación correcta.

Terminado el riego de impregnación se deja pasar un tiempo razonable para su secado; en seguida de lo cual se iniciará la construcción de la carpeta.

En los pavimentos flexibles, básicamente existen tres métodos para la construcción de la carpeta que son:

- 1.- Carpetas asfálticas por el sistema de riegos.
- 2.- Carpetas asfálticas por el sistema de mezcla en el lugar.
- 3.- Carpetas de concreto asfáltico por el sistema de mezcla en planta estacionaria.

Los cuales se describen a continuación.

## Carpetas Asfálticas por el Sistema de Riegos

Son los que se construyen mediante uno (1), dos (2) ó tres (3)-riegos de materiales asfálticos, cubiertos sucesivamente con capas de materiales pétreos de diferentes tamaños, triturados y/o-cribados.

Este tipo de carpetas son las más económicas y por consiguiente las que tienen su vida útil más corta; sus capacidades de carga están limitadas a unos 3 000 kg por rueda, y para una densidad de tránsito como máximo de 1 000 vehículos diarios.

El tiempo de duración de los mismos se pueden calcular entre 2- y 10 años, dependiendo del número de riegos de que conste la -carpeta.

Las carpetas se pueden construir desde un riego asfáltico (emulsiones de fraguado rápido y asfáltos fluxuados de fraguado rápido entre otros) cubierto con arena, hasta tres riegos de mate-rial asfáltico, cubierto cada riego con un producto pétreo que puede variar desde 1 1/2" hasta la malla de 3/8". El número de los riegos cubiertos respectivamente con el material pétreo de-termina la denominación de la carpeta.

La longitud de los riegos asfálticos, estará supeditada a la -fuerza de camiones ó de la gente, para cubrir el material asfál

tico con el pétreo antes de que éste inicie su fraguado.

#### Carpetas Asfálticas por el Sistema de Mezclas en el Lugar

Este sistema de carpetas son las que se constituyen mediante el mezclado, tendido y compactación de materiales pétreos y un material asfáltico. La calidad de la carpeta es mayor que la del sistema de riegos y por lo tanto su vida es mayor, así como su capacidad de carga la cual llega hasta unos 4 536 kg por rueda. Su vida probable es de 8 a 15 años con una densidad de tránsito de hasta 3 000 vehículos diarios.

Pueden usarse en su ejecución emulsiones asfálticas de fraguado lento, medio y rápido, y su construcción puede realizarse usando:

Motoconformadoras

Mezcladoras mecánicas

Plantas móviles

La mezcla en el camino es un sistema muy empleado en la ejecución de las carpetas asfálticas y consiste en mezclar en el mismo camino el agregado pétreo y el producto asfáltico, aprovechando el sol y el aire para quitar la humedad al agregado pétreo.

Las operaciones que se siguen para su construcción en cualquiera de los tres sistemas mencionados, son básicamente los que a continuación se citan.

Barrido de la base impregnada

Aplicación de un riego de liga

Aplicación del material pétreo, tendido y uniformado por medio de escantillones o motoconformadoras.

Secado, si el material pétreo se encuentra demasiado húmedo; se debe arear y secar por medio de motoconformadora.

Mezclado del material pétreo y el asfalto.

Esparcido de la mezcla con motoconformadora

Compactación de la mezcla.

La compactación debe comenzarse por los bordes exteriores hacia el centro en pasadas sucesivas. Se pueden usar aplanadoras mecánicas, neumáticas o ambas a la vez. El período de tiempo que debe transcurrir entre el esparcido y la compactación, es muy importante y varía en general en cada obra, ya que depende de los materiales usados en la elaboración de la mezcla así como de temperaturas ambientes e intensidad del viento. En algunas ocasiones las aplanadoras podrán trabajar inmediatamente detrás de las motoconformadoras al perfilar la corona del camino, en otras ocasiones habrá necesidad de retrasar la compactación de 24 a 48 horas.

Mezclado en Motoconformadora.- Cuando haya secado el material -

pétreo, éste se acamellonará en la forma más uniforme posible; se abrirá por el centro y se aplicará el material asfáltico en la proporción de 1/3 de la cantidad total proyectada. Con las motoconformadoras se efectuará la mezcla parcial, llevando el camellón de un extremo al otro del camino. Este proceso se repite dos veces más hasta complementar el total del material asfáltico el cual se sigue suministrando en las cantidades de 1/3; si una vez terminado el mezclado éste presenta un color uniforme, se dará por satisfactorio, pero muchas veces será necesario un nuevo mezclado que lo proporcionará el traslado de la mezcla elaborada, por medio de las motoconformadoras a su lugar definitivo.

Mezclado con Mezcladoras Mecánicas.- Se entiende por tal la realizada con equipo operados mecánicamente. Estas máquinas recogen del camino el material pétreo acamellonado, llevándolo a una cámara de mezclado en donde se le añade el material asfáltico. La mezcla se realiza por algún sistema de púas o paletas unidas a un eje rotatorio montado en forma que trabaje en ángulo recto, oblicuo ó paralelamente a la dirección del camino. A medida que avanza la máquina y la mezcla, se va realizando el depósito del material nuevamente en camellones sobre el camino.

Con este sistema desaparecen algunos de los inconvenientes de la mezcla con motoconformadora, ya que reduce el tiempo de ciclo de la mezcla de horas a minutos, sin que se expongan a la intemperie materiales parcialmente mezclados. Se obtiene una

mezcla más homogénea, con menos posibilidad de pérdidas del material asfáltico. Pueden usarse asfaltos densos a temperaturas más bajas, por ser más corto el período de mezcla y ser éste más completo.

**Mezclas con Plantas Móviles.**- Las plantas móviles dan una proporción exacta de la mezcla de los materiales pétreos con el asfalto, independientemente de la uniformización del volumen del camellon, velocidad de marcha o errores del personal, significando por consiguiente, un gran adelanto en las operaciones de mezcla en el camino.

Para conseguir el proporcionamiento adecuado, los materiales pétreos acamellonados, se elevan por un elevador de congilonas a una tolva a la salida de la cual se miden por una compuerta calibrada y pasan a la cámara de mezclado, por medio de un alimentador de mandil, que esté mecánicamente conectado con una bomba de engranes para asfaltos, de tal manera, que el material pétreo entra a la cámara de mezclados y es regado de inmediato e inicialmente revestido con el producto asfáltico a la presión, temperatura y cantidad adecuada. En la cámara de mezclado, el material pétreo y el asfalto se mezclan continuamente y la mezcla elaborada se descarga en el camino a medida que la máquina avanza.

Además de las ventajas de la mezcla mecánica tiene las siguientes:

La exactitud de la relación material pétreo y asfalto, tiene la -

mayor importancia y solamente con la mezcla en planta móvil, se puede asegurar ésto, ya que trabaja en una forma independiente del volumen del material acamellonado, y de la velocidad de traslación de la máquina. Por ésta razón la carpeta que se consigue es más estable y la de más alta calidad disponible, en comparación con los otros dos métodos anteriores.

Con la planta móvil se emplean menores cantidades de asfalto para la mezcla; ya que no hay pérdida de éste material por ningún concepto; se puede usar asfáltos más densos porque al acortar el tiempo de la mezcla, ésta no necesita poder ser trabajable por un tiempo largo como el caso de las motoconformadoras.

No todos los tipos de graduaciones de materiales pétreos necesitan el mismo período de mezcla; en las plantas móviles ésto se consigue con una compuerta de contención en el punto de descarga o por la inversión de las paletas, de forma que el flujo de la mezcla a través de ella se retarda.

Una planta móvil puede ser usada como planta estacionaria y se descarga la mezcla en camiones.

**Carpeta de Concreto Asfáltico por el Sistema de Mezcla en Planta Estacionaria.**

Las carpetas de concreto asfáltico son las que se construyen me

dian te el tendido y compactación de mezclas elaboradas en ca-  
liente, en una planta estacionaria, utilizando cementos asfál-  
ticos. Las mezclas con el sistema de plantas centrales o esta-  
cionarias es el sistema más completo para producir las carpe-  
tas asfálticas, ya que la dosificación de los materiales se ha  
ce en una forma rigurosa la que permite la mejor calidad de la  
carpeta asfáltica termianda.

En este tipo de plantas la dosificación de los materiales se -  
efectúa por peso de materiales que entran en la formación de -  
las carpetas asfálticas y las continuas por volumen, en las -  
cuales la dosificación de los materiales se efectua por volumen.

El orden de operación de una carpeta asfáltica, ejecutada por el  
sistema de planta central es el siguiente:

Barrido de la base impregnada  
Aplicación del riego de liga  
Acarreo de la mezcla desde la planta central  
Esparcido de la mezcla  
Compactación

El concreto asfáltico deberá tenderse con máquina especial para  
éste trabajo de propulsión propia, con dispositivos para ajus-  
tar el espesor y el ancho de la mezcla tendida, y dotada de un  
sistema que permita la repartición uniforme de la mezcla sin -  
que se presente disgregación por tamaños de la misma. Deberá es

tar dotada de un calefactor en la zona de acabado superficial.

En la compactación se pueden usar aplanadoras metálicas ó neu  
máticas solas ó combinadas.

Se emplean distintos tipos de plantas, de acuerdo con el grado de exactitud requerida en la dosificación de los materiales pétreos y el costo de la carretera en construcción.

## C A P I T U L O I V

### MAQUINARIA Y EQUIPO

#### IV.1 CLASIFICACIÓN DE LA MAQUINARIA EN CAMINOS.

Definidos los puntos de trazo y la señalización respectiva, producto del estudio topográfico y de gabinete, los cuales vienen proporcionados en los planos que han sido elaborados, se estará en condiciones de iniciar la obra.

Toda obra de importancia requiere de maquinaria, especialmente en la construcción pesada como en este caso las carreteras, donde hay un gran porcentaje de utilización de ésta y que por lo mismo tiene una gran influencia en el costo total de la obra. La importancia de utilizar tal o cual equipo tiene como objetivo principal el de sacar la mayor utilización posible en el menor tiempo, para esto, hay que hacer el análisis respectivo, tanto cuantitativo como cualitativo del equipo que se piense utilizar.

En carreteras se hace una clasificación del equipo de acuerdo a su aplicación más especializada tomando como base los principales conceptos que se realizan en este tipo de obra. Por lo tanto tendremos que, para realizar las siguientes actividades que mencionamos en forma progresiva, la maquinaria y equipo que se utiliza es la que se indica a continuación:

**Operación de Desmante.** La operación de desmante involucra las actividades de :

Roza  
Desyerbe  
Extracción de tocones  
Desenraice  
Escogido  
Disposición  
Quema

El equipo más común a utilizar en estas actividades es el que se enlista enseguida:

Tractor con equipo especial  
Cargador Frontal con cucharón especial  
Motoconformadoras  
Malacates  
Sierras mecánicas portátiles  
Quemadores

Operación de Despalme. Esta operación contempla las actividades de:

Extracción.  
Carga  
Acarreo  
Disposición

El equipo a usar es el siguiente:

Tractores Bulldozer  
Cargador Frontal  
Motoconformadora  
Excavadoras convertibles  
Escrepas y Motoescrepas  
Camiones

Operación de Excavación. Aquí se contemplan las actividades de:

Afloje  
Extracción

Y su equipo a emplear es:

Compresores y Equipo de barrenación  
Tractores con ripper y hoja empujadora  
Cargador Frontal  
Excavadoras convertibles  
Escrepas y Motoescrepas

Operación de Carga. Para la actividad de carga se tiene la siguiente maquinaria

Cargador Frontal  
Excavadoras convertibles  
Escrepas y Motoescrepas  
Transportadores de banda o congilones

Operación de Transporte. En esta actividad se usa lo siguiente

Tractores con hoja empujadora  
Cargador frontal  
Excavadoras convertibles  
Escrepas y Motoescrepas  
Transportadores de banda  
Camiones

Operación de Tendido. En el tendido la maquinaria a utilizar es

Tractores con hoja empujadora  
Motoconformadora  
Compactadores autopropulsados con hoja empujadora  
Escrepas y Motoescrepas

Operación de Compactación. En esta etapa se tienen contempladas las actividades de

Incorporación de agua  
Homogenización

Densificado. El equipo que se necesita es

Aplanadoras tandem y de tres rodillos  
Rodillos autopropulsados o jalados, estáticos o vibratorios  
Placas vibratorias  
Compactadores manuales  
Pipas y tanques regadores o equipo de terracerías

Operación de Afine. La operación de afine involucra las actividades de:

Precorte  
Recorte  
Renivelación

El equipo a utilizar para estas actividades es:

Compresores y equipo de barrenación  
Tractor con hoja empujadora  
Cargador frontal con cucharón especial  
Retroexcavadora con cucharón especial  
Motoconformadoras

Obtención de Agregados para Concreto, Grava y Arena y Material - para Bases y Sub-bases. Para la obtención de estos agregados se empleará

Trituradoras primaria, secundaria y terciaria  
Cribas vibratorias  
Alimentadores

Bandas Transportadoras  
Elevadores de cangilones

Fabricación y Colocación de Concreto en Estructuras como los puentes.

El equipo que se utiliza en esa fase son:

Plantas de concreto  
Dosificadoras de concreto  
Revolvedoras de concreto  
Camiones con olla revolvedora  
Tolvas  
Bandas Transportadoras  
Elevadores de cangilones  
Bombas para concreto  
Vibradores  
Torre grúa  
Malacates  
Colocadoras de concreto

Operación de Pavimentación y Revestimiento. La maquinaria que se utiliza es la siguiente

Trituradora primaria, secundaria y terciaria  
Tolvas y cribas vibratorias  
Plantas de asfalto  
Bandas transportadoras  
Elevadores de cangilones  
Petrolizadora  
Pavimentadora

Borredora

Pipo.

Extracción de agua en los sitios y casos para los que se requiera  
El equipo a utilizar en esta operación es:

La bomba de agua

A continuación, en el subcapítulo siguiente se mencionan las características más importantes de la maquinaria y el equipo pesado mencionado anteriormente.

#### IV.2. DESCRIPCIÓN DE MAQUINARIA Y EQUIPO PESADO

##### TRACTORES.

Son máquinas que convierten la energía del motor (gasolina o diesel) en energía de tracción y su diseño está enfocado principalmente para jalar o empujar. Se distinguen en dos tipos básicos:

Tractores Montados sobre Neumáticos.

Tractores Montados sobre Orugas.

Los tractores de neumáticos tienen mayor movilidad que los de oru-

gas, pero su tracción es a la vez notablemente inferior a estos.

Los tractores sobre orugas son muy eficaces sobre pendientes pronunciadas que los de neumáticos, por su gran adherencia al suelo y por el trabajo que realiza están diseñados para obtener mayor potencia en detrimento de su velocidad. El sistema de orugas es de uso común también en terrenos blandos y fangosos donde se necesita repartir en una mayor superficie el peso del tractor.

El sistema de neumáticos se usa en terrenos rocosos donde las orugas resbalarían o en donde es más importante la velocidad que la potencia del tractor.

Debido a variadas aplicaciones un tractor recibe diferentes nombres acorde con el equipo que se le adapte para realizar determinada función. Entre todos los más comunes son:

- a.- Bulldozer
- b.- Pulldozer o empujador
- c.- Angledozer
- d.- Tiltadozer

**Bulldozer.**- Se le designa así a un tractor que tiene colocado en la parte delantera una hoja o cuchilla que puede ser recta o

ligeramente curva. La cuchilla puede subir o bajar mediante un sistema de cables y poleas a través de un sistema hidráulico; esta hoja tiene una anchura igual que el tractor y forma una especie de cuchara que permite transportar gran cantidad de material.

Este tipo de dozer es el más indicado para excavación y transporte de tierras para distancias no mayores de cien metros; también se usan en bancos de material, en los desmontes y despalmes, para estos últimos suele haber equipo especial tales como:

Punzones

Desgarradores o Rippers

Cadena de ancla, etc.

Los punzones consisten de un armazón con hoja de forma de V cuyo vértice apunta hacia la máquina de modo que con su brazo presiona los árboles en lo alto para derribarlos.

Los desgarradores o rippers son accesorios que van montados en la parte trasera del tractor. Estos pueden ser de uno o varios vástagos intercambiables, ajustables manual o hidráulicamente y están destinados principalmente a arrancar raíces, roturar suelos compactos, desarticular rocas en formación o terrenos con rocas; un caso muy común es hacer que un tractor roture suelos antes de ser excavados por escrepas.

La cadena de ancla es una cadena de 2.5" y longitud de 92 m., sujeta por sus extremos a dos tractores con el objeto de desmontar terrenos ondulados.

Pulldozer o empujadores.- Se les designa así a los tractores que sustituyen su hoja o cuchilla por una placa topadora redondeada de acero, montada al frente del tractor con el objeto de aumentar la potencia en las motoescrepas y en cualquier otro equipo, mediante el empuje que se ejerce a través de dicha placa.

Angledozer.- Se le llama así a un tractor al que se le ha colocado una cuchilla que puede tomar diversos ángulos en sentido horizontal. El giro lateral de la cuchilla puede ser hasta de 30° y al igual que el bulldozer puede ser levantada o bajada. - Se le considera una máquina de excavación preliminar y su diseño le permite el desplazamiento de tierras para rellenos laterales.

Tiltadozer.- La característica de este tipo de tractor, es que puede inclinar la hoja respecto al eje vertical, llegando a bajar hasta 30 cm. un extremo de la cuchilla respecto al otro. Cuando trabaja en terrenos compactos puede inclinar la hoja hacia atrás dando mayor penetración al cortar, y en el caso de terrenos flojos inclina la parte superior de la cuchilla hacia adelante, aumentando el volumen de material que puede mover.

Para el cálculo del rendimiento de tractores con cuchilla en excavaciones y rellenos se emplea la fórmula 1 que se indica a continuación, en la cual el rendimiento se da en metros cúbicos por hora, pero antes debe de seleccionarse la cuchilla más eficaz, según la clase de trabajo por efectuar.

$$V = \frac{C \times E \times 60}{T \times F} \quad - - - (1)$$

Donde:

- V: Rendimiento en m<sup>3</sup>/hora de suelo compacto.
- C: Capacidad de la cuchilla en m<sup>3</sup> suelto.
- F: Coeficiente de abundamiento del suelo.
- E: Coeficiente de eficacia del dozer.
- T: Duración del ciclo en minutos
- 60: Número de minutos en una hora

## CARGADORES

Son máquinas exclusivas para la excavación, carga y descarga del material, lo cual realizan mediante un cucharón adaptado en la parte delantera de un tractor que puede ser de neumáticos o de orugas. El cucharón es accionado por mandos hidráulicos y consiste en una caja de construcción simple con una cuchilla o hilera de dientes que se selecciona en función del material que puede ser ligero o pesado.

Los cargadores denominados frontales por la posición del cucharón se clasifican en tres clases según sea la descarga, así tenemos :

- a.- Descarga Frontal
- b.- Descarga Lateral
- c.- Descarga Trasera.

Descarga Frontal.- Es el más usual de todos, su acción es a base de desplazamientos cortos y largos; se utilizan en materiales suaves o fracturados y en bancos de arena, grava, arcilla, etc., para efectuar rellenos en zanjas o para la alimentación de agregados en plantas dosificadoras y trituradoras.

Descarga Lateral.- Constan de un émbolo hidráulico más que el cargador frontal, lo que le permite hacer la descarga por los extremos del bote. Este tipo de cargadores es útil en lugares donde el espacio para la maniobra de descarga es reducida.

Descarga Trasera.- El sistema de excavación es la misma que en todos los descargadores frontales, la diferencia radica en que la descarga se realiza girando el cucharón sobre el mismo hacia atrás, aventando el producto de la excavación hacia alguna unidad de transporte adecuado para este tipo de maniobras. Su empleo se limita en lugares donde se carece de espacio de maniobra como por ejemplo en túneles.

Para calcular el rendimiento de los cargadores frontales utilizamos la fórmula 1 vista para tractores de cuchilla, lo único que varía en cierta forma es el tipo de duración del ciclo de trabajo, así como la forma en que se realiza éste, pues mientras el tractor sólo empuja, el cargador carga, levanta y descarga.

## EXCAVADORAS

Son máquinas de movimiento de carga estacionaria adecuada para cualquier tipo de terreno. Se dice de carga estacionaria para distinguirla de las máquinas de excavación y carga remolcada por tractor, en las que la carga se produce a medida que avanza el remolcador, en cambio la pala excava, carga y deposita los materiales estando parada. Está constituida por una super estructura o unidad giratoria la cual está apoyada sobre una plataforma de acero que a su vez está montada sobre orugas, llantas o camiones, la cual sirve para su transporte y para proporcionarle una cierta movilidad en el lugar de trabajo.

Son de giro completo (360°) o parcial, realizan de tres a cuatro operaciones esenciales, como son: excavar, cargar, descargar y empujar el material. Las transformaciones necesarias de estas máquinas para pasar de uno a otro tipo se reducen a la substitución del brazo, de los cables de la herramienta excavadora y de algunos otros accesorios.

Existe gran diversidad de excavadoras según lo dicho anteriormente, dependiendo del equipo o aditamento que tenga ésta ; de esta forma se tiene que hay: dragas, piloteadoras, gruas, etc.

Pero las que tienen mayor uso en construcción de caminos son las que enlistamos a continuación:

- a.- Excavadora convertible
- b.- Pala Mecánica (de ataque frontal).
- c.- Retroexcavadora.

Excavadora Convertible.- Se denomina así porque puede ir equipada con una gran variedad de dispositivos. Su elemento característico es una pluma sobre la que se tiene el elemento de excavación. Se utilizan para la excavación y la carga de tierra en camiones o vagones tirados por tractor, o depositarlo también en bandas transportadoras. Pueden excavar todo tipo de material de tierra excepto roca fija, sin necesidad de aflojarla primero. Las montadas sobre orugas pueden operar sobre terrenos blandos y las montadas sobre llantas operan en terrenos más firmes.

Pala Mecánica (de ataque frontal).- En este tipo de equipo, la excavación ya no se realiza por el avance del tractor, sino por el movimiento del vaiven que imprimen a la cuchara los cilindros hidráulicos. Este movimiento permite un ataque eficaz que conviene mejor a la excavación, se puede verter a la altura que se quiera de golpe. El movimiento de la excavación y del vuelco es hidráulico.

Otra modalidad de este tipo de pala la forma la pala de cucharón; esta se compone de una viga larga y maciza ligeramente inclinada hacia adelante, que contiene en su parte media una vigueta o brazo articulado que soporta el cucharón en su extremo inferior. El brazo es de movimiento giratorio y deslizante, y el

cucharón consta de una caja de acero en forma de cubo, abierto en su parte superior y cerrado en el fondo por una compuerta articulada mediante la cual descarga. Los dispositivos de ataque y retroceso pueden ser mediante cadenas, cables o por combinación de éstos. Se utilizan en los bancos de agregados y para la carga y descarga de material sobre diversos equipos.

Retroexcavadora.- Es del grupo de las palas mecánicas, las cuales se convierten en retroexcavadoras instalándole un aguilón y un cucharón en el extremo de la pluma. En ocasiones están equipadas con una pluma en forma de ganso para aumentar la profundidad de excavación de la máquina.

Se utilizan principalmente para excavar debajo de la superficie natural del terreno sobre la cual descansa, y están adaptadas para trabajos generales de excavación escalonado, en donde se requiere un control preciso de las profundidades, como es el caso de trincheras de paredes verticales perfectamente rectas o proporcionarle a los taludes la pendiente deseada.

El cálculo del rendimiento de la retroexcavadora se obtiene en forma similar al de los tractores cuya expresión es la inscrita por la fórmula 1.

## ESCREPAS

Son máquinas diseñadas para desarrollar ciclos de trabajo completo y específico que comprenden desde la excavación, acarreo y descarga del material, hasta la extensión y conformación de grandes volúmenes del mismo. Una escrepa se carga bajando la extremidad frontal de la caja metálica, hasta que la cuchilla cortante que está unida a la caja entre el suelo y al mismo tiempo levantando la compuerta delantera se proporciona la abertura a través de la cual fluye la tierra hacia adentro de esta a medida que se tira de la escrepa hacia adelante.

La operación de vaciado consiste en bajar la cuchilla cortante a la altura deseada arriba del terreno, levantando la compuerta y obligando a la tierra que salga entre la cuchilla y la compuerta por medio de un eyector montado en la parte posterior de la caja.

Como se vió una escrepa está formada por una caja prevista de una cuchilla para excavar y dos compuertas, una en la parte delantera y otra en la parte trasera ambas accionadas por sistemas mecánicos o bien por sistemas hidráulicos.

Las escrepas para su clasificación se dividen en :

- a.- Escrepa de Arrastre
- b.- Motoescrepas.
- c.- Escrepas Tandem
- d.- Escrepas Autocargables.
- e.- Escrepas Push-Pull ( tiro y empuje).

Escrepa de Arrastre.- Consta de una caja metálica y un yugo en forma de cuello de ganso que están montados sobre llantas. Generalmente van jaladas o remoldadas por un tractor de orugas y se emplean para carga y descarga de material en acarreo de corto recorrido y pendientes fuertes; trabajan generalmente en climas húmedos y su uso común es en el tendido de terraplenes.

Motoescrepas.- Son máquinas formadas por una caja como lo antes descrito y diseñada de tal manera para que junto con su tractor de dos o cuatro llantas formen un solo equipo. Generalmente se ayudan de un tractor empujador de placa topadora que aumenta la potencia y la tracción de las llantas propulsoras sobre todo al momento de la carga; aunque es posible eliminar esto mediante la instalación de un motor diesel o eléctrico adicional sobre la parte trasera de la caja, lo que le permite a esta máquina cargarse por si misma, así como alcanzar rápidamente su velocidad de acarreo en pendientes fuertes y terrenos resbalosos.

Son usadas para trabajos en acarreo medios para el corte y tendido de terraplenes, en terrenos planos y fangosos así como en sub-bases. Su potencia le permite maniobrar en pendientes de más del 40%.

Escrepas Tandem- Se componen básicamente de dos escrepas alineadas una detrás de otra las cuales utilizan para su desplazamiento un tractor de llantas.

Se usan generalmente para terrenos planos y de pendientes moderadas, es decir para trabajos que incluyen baja resistencia a la rodadura, por lo cual proporcionan acarreo medios y acarreo largos si las condiciones del suelo son favorables.

Escrepas Autocargable.- Consta de un tractor de dos llantas y una escrepa con un sistema elevador de cadena, la cual va cargando el material dentro de la caja. Con este sistema la carga se efectúa por sí misma por lo que no requiere de un tractor empujador. Se usan principalmente para materiales suaves que se mezclan y desmenuzan durante el trayecto.

Son muy útiles para acabados y nivelación de tierras para cortes en donde los acarreo son relativamente a nivel y su ventaja principal radica cuando las necesidades de producción no justifican una gran flota de empujadores y escrepas.

Escrepas Push-Pull (de tiro y empuje).- Equipo formado por dos escrepas autoimpulsadas, que se articulan y se combinan para ayudarse durante el ciclo de carga, efectuandola con gran rapidez y sin la necesidad de un tractor empujador. La propulsión de todas sus ruedas y la potencia adicional en la parte trasera de la escrepa facilita la subida por las cuestas, permitiendo a cada una hacer su recorrido por separado una vez concluida la carga.

Son usadas para terrenos blandos y fangosos así como para subir cuestas más o menos fuertes. Eliminan aglomeraciones en los cortes y los tiempos perdidos que provoca el tractor empujador así como la falta de coordinación de este con la escrepa.

Para obtener el rendimiento de las escrepas, será necesario calcular la velocidad con que se realiza el trabajo, ya que es diferente la velocidad cuando carga o descarga, que cuando transporta. Una vez conocida la velocidad, la distancia de recorrido, el número de pasadas y el factor de rendimiento, se podrá determinar el tiempo que tarda la escrepa en efectuar el trabajo.

Por lo tanto la siguiente y de acuerdo al criterio anterior, el rendimiento será :

$$t = \frac{N \times S}{V \times E} \quad - - - ( 2 )$$

Donde :

t : Tiempo en efectuar el trabajo.

N : Número de pasadas hasta el término del trabajo.

S : Distancia de recorrido por pasadas.

V : Velocidad durante el trabajo.

E : Factor de rendimiento

$$R = \frac{Q \times E \times 60}{t}$$

- - - ( 3 )

Donde :

R: Rendimiento en m<sup>3</sup>/hr.

Q: Capacidad de la máquina en m<sup>3</sup>.

60: Número de minutos en una hora

## TRANSPORTES

Independientemente de las motoescrapas, se define como equipo de transporte a la máquina o combinación de máquinas que, contando con un sistema adecuado de carga y con un dispositivo de descarga se utilizan para transportar materiales de un lugar a otro. - Son vehículos que se desplazan a grandes distancias por medio de llantas y los hay tanto para circular dentro de las carreteras como para circular exclusivamente fuera de ellas; en ambos casos emplean llantas dobles de propulsión.

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

- a.- Volteos
- b.- Volquetes
- c.- Vagonetas
- d.- Plataformas

**Volteos.**- Son adecuados para emplearse en el acarreo de muchos tipos y clases de materiales tales como arcillas, agregados y material pétreo. Constan de una caja metálica o volteo, de una cabina de control, de un chasis y de varias llantas neumáticas cuyo número es variable, siendo dos llantas delanteras y de 4 a 8 traseras en pares. Se les utiliza tanto para carreteras como fuera de ellas y son muy eficientes cuando las distancias son grandes.

Volquetes.- Es el aparato más empleado en las obras de movimiento de tierra, en las que tiene gran aceptación por la movilidad que confieren sus neumáticos. Se construyen varios tipos diferentes, clasificados según el método de descarga, que puede ser, de vaciado por el fondo, vaciado por basculamiento lateral y por basculamiento hacia atrás. Por todos los dispositivos que comprende depende para su desplazamiento de un tractor integrado y está destinado para el acarreo de tierra, roca, arena y arcilla pudiendo circular tanto por suelos vírgenes como por carreteras y buenas pistas.

Vagonetas.- Son unidades diseñadas exclusivamente para efectuar grandes movimientos de tierra, soportadas sobre uno o dos ejes de llantas y articuladas a un tractor o camión para su desplazamiento. Constan de una caja montada sobre un bastidor y se clasifican en semiremolques y remolques. Estas unidades son particularmente adecuadas para usarse donde los materiales están distribuidos en capas delgadas, en un terraplén, en acarreos de grandes volúmenes de agregados y revestimientos.

Al depositar las cargas para formar terraplenes, las vagonetas pueden dejar caer estas al estarse moviendo; cuando descargan en arneros solo tendrán que detenerse unos cuantos segundos. Su alta velocidad de descarga les da una ventaja sobre los camiones de volteo.

Plataforma.- Son unidades diseñadas para circular dentro de las carreteras y transportar de un lugar a otro toda clase de maquinaria y equipo. Generalmente son vehículos con la forma de trailers, diseñados con una plataforma baja y una resistente rampa de acero, que se adapta en el extremo posterior de la máquina para facilitar la carga y descarga.

Para el cálculo del rendimiento de los transportes es necesario contar con los datos siguientes:

- 1.- Capacidad de la caja
- 2.- Tiempo del ciclo, que se compone de tiempos fijos y tiempos variables.

Los tiempos fijos los componen : La carga, la descarga y las vueltas.

Los tiempos variables son : recorrido lleno y recorrido vacío.

Con estos datos se obtiene la fórmula siguiente :

$$V = \frac{C \times E \times 60}{T} \quad \text{---- (4)}$$

Donde :

V : Rendimiento en m<sup>3</sup>/hr.

C : Capacidad de la caja, o también volumen que se mueve por ciclo.

E : Factor de eficiencia del equipo de transporte que se trate.

T : Duración del ciclo en minutos.

60 : Número de minutos en una hora.

Para la determinación del número de unidades de acarreo, basta relacionar los ciclos del cargador con el de los camiones, por lo tanto se tiene :

$$\text{Unidades Necesarias} = \frac{\text{Tiempo del ciclo de el camión} \times E}{\text{Tiempo del ciclo del llenado del camión.}}$$

En donde :

E : Eficiencia de los camiones o unidades de transporte.

## MOTOCONFORMADORAS

Son máquinas de aplicaciones múltiples cuyo diseño está enfocado principalmente para revolver, extender, conformar y dar acabado a los materiales de diversos tipos y tamaños. Se componen de un bastidor en cuya parte trasera lleva el motor y la cabina de mando y en la parte delantera converge a una viga simple y curva que termina en la parte frontal de las llantas. Están provistas de una cuchilla grande localizada abajo del chasis que puede girar y moverse en todos los sentidos, tanto horizontal como verticalmente, característica que la distingue y la hace particularmente útil para una gran diversidad de trabajos.

Las motoconformadoras tienen como dispositivos auxiliares un escarificador que va colocado al frente de la cuchilla el cual está provisto de un juego de dientes que varía según la superficie que vaya a excavar o aflojar previo a la acción de la cuchilla.

Entre sus actividades más comunes se encuentran: desyerbar y remover vegetación ligera, limpiar bancos, extender materiales, tendido y afino de terraplenes, mezclar y revolver materiales con objeto de uniformizarlos y obtener la granulometría adecuada para bases, sub-bases y carpetas, acamellonar estos últimos, nivelar perfiles, terminar y afinar taludes, hacer las cunetas y realizar la limpieza de las mismas.

El rendimiento de las motoconformadoras puede calcularse por medio de la fórmula 5.

$$T = \frac{N \times L}{V_1 \times E} + \frac{N \times L}{V_2 \times E} + \frac{N \times L}{V_3 \times E} \quad \text{----- ( 5 )}$$

En dónde :

T : Tiempo en hora, utilizado

N : Número de pasadas, estimándose de acuerdo con el trabajo.

L : Longitud recorrida en kilómetros en cada pasada, estimada en función de la clase de trabajo.

E : Factor de eficiencia que varía de acuerdo con las diferentes condiciones de trabajo.

$V_1, V_2, V_3$  : Velocidad en Km/hr en cada pasada.

## COMPACTADORES

Es un equipo diseñado exclusivamente para la compactación y con finamiento de materiales sueltos como en nuestro caso: los terraplenes y las sub-rasantes, las sub-bases, las bases y las - carpetas. Sirve para consolidar los suelos de acuerdo al grado de compactación especificado.

Su trabajo se basa en la expulsión del agua y del aire del mate rial térreo mediante el constante golpeo o apisonamiento de la máquina sobre la superficie de las capas. Una buena compacta- ción depende de los métodos usados, del equipo seleccionado, del tamaño de la área cargada, de la presión ejercida sobre ella y del espesor de la capa del suelo; este espesor depende del tipo de suelo, y de la máquina de compactación que se utilice. Algunas de estas características se vieron en el capítulo II corres- pondiente a terracerías.

Dependiendo de las características propias de cada suelo los com pactadores se dividen en:

- a.- Rodillo Pata de Cabra.
- b.- Rodillo de Rejilla o Malla.
- c.- Rodillo de Tambor de Acero Liso o Aplanadora.
- d.- Rodillo vibratorio.
- e.- Rodillos de Neumáticos.

Rodillo Pata de Cabra.- Está constituido por un cilindro o rodillo giratorio montado en el interior de un bastidor o chasis. En su superficie periférica el cilindro está provisto de salientes radiales llamadas "Pata de Cabra", destinadas a penetrar en el suelo durante el proceso de trabajo. La longitud y la forma de las salientes apisonadoras varían con el tipo de rodillo, pero en general fluctúa entre 18 y 23 cm., con forma de tronco, de tronco pirámide o de cono.

Son útiles para compactar suelos que contengan suficientes cantidades de finos, por tal motivo son la herramienta estandar para la compactación de terraplenes y bases.

Los bastidores que van lastrados con agua, arena o bloques de concreto, son de propulsión propia o remolcados por medio de tractores de llanta o de orugas, siendo su velocidad de alrededor de 4 km/hr.

Rodillo de Rejilla o Malla.- Este rodillo funciona como un rodillo pata de cabra remolcado, excepto que las patas se sustituyen por una rejilla cuadrada. Su peso lastrado es de alrededor de 14 ton. y su empleo en terracería se limita a capas constituidas por fragmentos de roca con el objeto de disgregarlos y disminuir su tamaño.

Rodillo de Tambor liso o Aplanadora.- Son máquinas aplanadoras de uno, dos o tres cilindros lisos que se emplean en la compactación de sub-bases y las de tipo tandem para la compactación de subrasantes, bases y carpetas. Dentro de esta gama existen aplanadoras cuyos cilindros pueden ser lastrados para aumentar su eficiencia. Con las unidades de 10 a 12 ton. se compactan capas hasta de 25 cm. de espesor.

En bases y por el bombeo, las pasadas de la aplanadora deben iniciarse en el extremo o zona de nivel más bajo hasta llegar al punto más alto, para evitar los desplazamientos del material. Las hay remolcadas, aunque la mayoría son autopropulsadas.

Rodillo vibratorio.- Es un tipo de máquina diseñada para compactar terraplenes por vibración. Está compuesto por un rodillo que puede ser liso o de pata de cabra en cuyo eje se apoya un robusto bastidor que en la parte superior lleva montado un motor diesel. El elemento vibratorio está compuesto de dos excéntricos que giran sincronizadamente en dos direcciones opuestas.

La profundidad hasta donde se puede compactar con esta máquina varía de 50 cm. a 1 m. según el tipo de suelo. Es altamente útil para materiales granulares ya que mediante la vibración se agrega a la acción estática otra acción dinámica, la cual reacomoda la partículas del suelo; se puede usar para terracer subrasantes, sub-bases y bases.

Compactador de Neumáticos.- Estas máquinas compactadoras están integradas por trenes de 7 o más neumáticos montados en un chasis cuya forma de artesa permite cargarse para aumentar su peso. Todas estas máquinas pueden ser remolcadas o automotrices. La eficiencia de este compactador depende del área y de la presión de contacto, esta última igual a la presión de inflado más la presión debida a la rigidez de las paredes laterales del neumático, del número de pasadas y del espesor de la capa del suelo. Esta no debe ser mayor de 20 cm. si el peso del equipo varía entre 10 y 12 ton., pero puede incrementarse a 50 cm., si el equipo es de 50 ton. Para una buena compactación juega también un importante papel el tiempo de aplicación de la carga así como la velocidad de desplazamiento pues esta debe disminuir con el aumento de carga. Es usual en la compactación final de la capa superficial de terracerías, sub-bases, bases y revestimiento de arcillas y limos.

El rendimiento de cualquier máquina compactadora quedará influenciado por el ancho del rodillo compactador por el número de pasadas, variable según la composición y humedad del suelo y por la velocidad media que se le aplique. De aquí que la fórmula será:

$$R = \frac{A \times C \times V \times 1000}{P} \quad - - - (6)$$

Donde :

R : Rendimiento, en  $m^3/hr.$

A : Ancho de rodillo, en metros.

C : Espesor de la capa en metros.

V : Velocidad del compactador, en km/hr.

P : Número de pasadas en una hora.

## COMPRESORES

Son máquinas de gran empleo en obras diversas de construcción que comprimen y almacenan aire para alimentar herramientas neumáticas tales como: Perforadoras, rompedoras, apisonadoras, etc. Sus partes esenciales: el motor, compresor y el tanque receptor de aire que sirve para regular la descarga.

Básicamente estas máquinas, que pueden ser del tipo portátil o estacionario, van montadas sobre una plataforma o chasis que se apoya sobre dos o cuatro ruedas neumáticas. El motor de tipo eléctrico o de combustión interna se acciona por medio de diesel o gasolina.

## PERFORADORAS

Es un equipo que como su nombre lo indica está diseñado exclusivamente para trabajos de perforación, excavación en roca, en los trabajos de cantera para hacer los barrenos destinados a las cargas explosivas. Son herramientas formadas por un mecanismo apropiado para producir los efectos de percusión y de rotación de la barrena, que accionada mediante un motor de gasolina diesel, eléctrico, o bien por un compresor, va provista normalmente de una broca en su extremo de ataque, o bien terminada en punta. Las barras o vástagos pueden obtenerse en longitudes de 24, 30, 36 48 y 68 pulgadas.

Se clasifican por su peso en medianas y ligeras. Las pesadas - se selccionan para roca semiduras y terrenos cementados duros y las medianas para bancos de conglomerados, brechas suaves y en terrenos tepetatosos. Entre este equipo se cuentan con: La pistola o martillo de barrenación, la pierna neumática, la perforadora de carretilla, la jumbo, perforadora sobre orugas, etc..

La mayor parte de las perforadoras que se utilizan en la barrenación vienen montadas sobre dispositivos móviles denominados Wagon Drill y Track Drill. Estos además de su movimiento de - avance, cuentan con mecanismos orientadores de las perforaciones en la dirección deseada, vertical, horizontal o inclinada, lo que garantiza el alineamiento. Con los Wagon Drill pueden - realizarse peforaciones hasta de 7 m. de profundidad y con los Track Drill pueden perforarse hasta 12 m.

Esta clase de máquinas requieren métodos individuales de estudio para determinar el rendimiento, existiendo casi siempre una diferencia entre el rendimiento que se obtiene calculándolo con la frecuencia de los ciclos y la capacidad y el rendimiento realmente obtenido.

## PLANTAS DE TRITURACIÓN Y CRIBADO

Son el resultado de la combinación racional de diferentes elementos o equipos que sirven para triturar y cribar a tamaños convenientes fragmentos de roca. Las quebradoras, los medios de alimentación de transporte y de la clasificación que la integran, están diseñadas para recibir los fragmentos de roca en los tamaños, volúmenes y tiempos, según las exigencias de la operación, para entregar un producto o productos deseados de acuerdo con la demanda. Los elementos de una planta de trituración son :

- 1.- Unidad de alimentación.
- 2.- Unidad primaria de trituración.
- 3.- Unidad intermedia o secundaria.
- 4.- Unidad para la producción de finos.
- 5.- Medios de transporte, cribado, alimentación y descarga.

Las partes de las plantas de cribado son :

- 1 ) Unidad de alimentación
- 2 ) Unidad de cribado.
- 3 ) Unidad de almacenamiento y cribado.

Las quebradoras o trituradoras se clasifican de acuerdo a la etapa de trituración realizada en primarias, secundarias, terciarias, etc. Una trituradora primaria recibe la piedra directamente de la cantera y produce la primera reducción en tamaño; la producción de la trituradora primaria alimenta a la secundaria que reduce aún más el tamaño y así sucesivamente.

En base a este criterio las trituradoras se dividen en :

- a.- Trituradoras de quijadas.
- b.- Trituradoras giratorias.
- c.- Trituradoras de Impacto
- d.- Trituradoras de rodillos.
- e.- Trituradoras de cono.
- f.- Trituradoras de molinos de barra.

El equipo complementario de las trituradoras consta de lo siguiente:

- a ) Cribas vibratorias.
- b ) Alimentadoras .
- c ) Gusanos Lavadores
- d ) Bandas transportadoras.
- e ) Elevadores de cangilones.

A continuación una breve descripción de las trituradoras:

Trituradoras de Quijadas.- Estas quebradoras se componen de una cámara dentro de la que se introduce la piedra para triturar, la cual pasa entre dos muelas o quijadas para ser reducida al tamaño deseado. Esta máquina es usada generalmente como trituradora primaria.

Trituradoras Giratorias.- Se componen de una camisa o envolvente, que puede tener formas variadas, dentro de la cual gira excentricamente un cono central. La superficie central de la envolvente y la exterior del cono son las que Trituran la piedra. El material por Triturar cae en el espacio anular convergente -- entre las dos superficies de Trituración y se quiebra cuando -- por la excentricidad de las superficies se acercan y sale el -- producto Triturado cuando por la misma, se alejan.

En general estas máquinas pueden ser para Trituración primaria o secundaria según vaya dispuesto el cono.

Trituradoras de Impacto.- El molino de martillos que es la trituradora de impacto más usada, puede utilizarse como quebradora primaria de rocas blandas y poco abrasivas; en materiales cohesivos o para todo tipo de rocas si la Trituración es secundaria.

Estas máquinas que son de forma cilíndrica o semejante a la de una caja, llevan en su interior una rueda de aspas o martillos que giran a gran velocidad para proyectar contra una placa fija

lateral el material que va penetrando a través de una tolva. - Cuando los fragmentos rebotan, son empujados hacia una malla la cual atraviesan únicamente si las piedras logran el tamaño o la medida de esta, pero si no, vuelven a ser lanzados contra la - placa hasta que la obtienen.

Trituradora de Rodillos.- Las quebradoras de rodillos se utilizan para producir reducciones en los tamaños de la piedra una - vez que se ha sometido la producción de una cantera, a una o -- más etapas anteriores de trituración, por lo que se emplean generalmente como trituradoras secundarias o terciarias. Las hay de dos o tres rodillos y funcionan como marros al romper las -- piedras mediante los dientes de los rodillos que giran opuestamente.

Trituradoras de Cono.- La trituradora de cono es tan solo una variante de la giratoria en la que se incorporan algunas modifi- caciones en la cámara de trituración, orientadas a obtener mayo- res rendimientos y uniformidad en el producto para materiales - finos, como son generalmente los que se procesan en las etapas secundarias y terciarias.

Trituradoras de Molinos de Barras.- Esta máquina se emplea como quebradora terciaria para producir agregado fino o arena, a partir de piedra que ha sido triturada en tamaños adecuados por otra clase de equipos de trituración.

El molino de barras que es un recipiente de acero en forma de -  
cascarón utiliza para la trituración varias barras de acero en -  
posición horizontal y de longitudes ligeramente inferiores a la  
del recipiente o molino. La piedra es alimentada a través de  
una tolva, está sujeta al constante impacto de las barras en mo-  
vimiento que giran lentamente para producir la molienda deseada.

Las características del molino de bolas son exactamente iguales  
que las del caso anterior, pero con la única diferencia de que  
dentro del cascarón o recipiente se utilizan barras de acero en  
vez de barras para suministrar el impacto necesario para la tri-  
turación.

El rendimiento de las trituradoras en los diferentes tipos y ta-  
maños que existen los proporciona el fabricante, las cuales vie-  
nen generalmente en tablas, donde se especifica la abertura de  
salida y el tamaño de las trituradoras en pulgadas. Las capaci-  
dades de las quebradoras de quijadas se dan en toneladas cortas  
sobre hora.

A continuación proporcionaremos una breve descripción del equipo complementario de las trituradoras.

**Cribas Vibratorias.**- Son partes mecánicas en forma de caja que sirven para clasificar por tamaños el material pétreo que ha de utilizarse en la pavimentación o en la fabricación de concreto hidráulico. La clasificación del material puede ser mediante el vibrado, rotación o sacudida de las mallas metálicas aunque son comunes las combinaciones del vibrado con los demás efectos. Son comunes también los equipos lavadores que trabajan con agua a presión, para dejar limpios los materiales granulares de materias que pudieran adherirse.

**Alimentadores.**- Para realizar una alimentación regulada de las trituradoras y de las plantas clasificadoras, la práctica común y económica consiste en instalar alimentadores mecánicos, de los cuales hay dos tipos:

**Alimentadores de Mandil.**

**Alimentador de Plato reciprocante.**

El alimentador de mandil es esencialmente una banda transportadora integrada por artesas metálicas, seccionales e intercambiables que se encuentran eslabonadas entre sí; la banda se encuentra montada sobre un sólido chasis que le sirve de elemento de sustentación y es accionada por una flecha maestra montada sobre la polea de cabeza o motriz respectiva. El mandil del alimenta-

dor es una caja tolva abierta por el lado de descarga del alimentador.

El alimentador de plato reciprocante está formado por una tolva sobre cuya abertura receptora se descarga el material en greña; su parte inferior correspondiente a la descarga se encuentra cerrada por un dispositivo sobre el cual se mueve una compuerta en forma de placa o plato que es accionada en forma reciprocante por una flecha excéntrica a una leva conectada al respectivo motor. En su movimiento reciprocante, el plato cuya carrera es ajustable va abriendo y cerrando la abertura de descarga de la tolva dando así salida a porciones del material, el que por lo general se descarga a una banda transportadora que lo conduce a una trituradora o bien a una criba.

Gusanos Lavadores.- Es el equipo más empleado en el lavado y clasificación de agregados finos y gruesos; constan de un tornillo que tiene una velocidad de rotación variable según los rangos granulométricos límites del material procesado.

Bandas Transportadoras.- Son elementos de transporte que acarrear y depositan el material en las plantas de trituración. Son correas sin fin apoyadas sobre rodillos intermedios y en dos tambores extremos, cuyo accionar se da por un motor. Estas bandas pueden emplearse en planos horizontales o inclinados; en este último caso aparte de transportar, elevan.

Elevadores de Cangilones.- Cuando es preciso rebasar el límite de las pendientes aceptadas por las bandas transportadoras, se recurre a los elevadores de cangilones. Estos consisten en una estructura metálica vertical en la que se monta, mediante dos - tambores extremos, una banda de hule o de cadena. El tambor su perior es motriz e imprime el movimiento; y el inferior es ten- sor llevando también rodillos intermedios.

## PLANTAS DE ASFALTO

Básicamente es un conjunto de elementos mecánicos cuya función es la de elaborar mezclas asfálticas a grandes temperaturas, - que se utilizan como superficies de rodamiento.

Los agregados básicos para la elaboración de la mezcla asfáltica, que generalmente se encuentran almacenados en bancos especiales y de fácil acceso a la planta de tratamiento, son introducidos al alimentador en frío mediante algún equipo auxiliar - que permite de esta manera iniciar el ciclo de trabajo para la elaboración de asfalto.

Son esenciales como se dijo anteriormente para la elaboración - de la mezcla asfáltica que se utiliza en trabajos propios de pavimentación formando la capa superficial de rodamiento de las - carreteras.

En general estas máquinas se encuentra formadas fundamentalmente por un alimentador en frío, un secador, un colector de polvos, una unidad de cribas y bandas transportadoras, una tolva - alimentadora de compartimientos, un tanque de asfalto y otra de combustible, un calentador de aceite o de gas, una balanza, una bomba de asfalto con motor y un mezclador.

## PLANTAS DE CONCRETO

Es un conjunto de estructuras o elementos mecánicos que accionados mediante corriente eléctrica, trabajan en forma automática para realizar o elaborar el concreto.

Básicamente los equipos que incluyen estas plantas para el manejo y almacenamiento de material, están formados generalmente por elementos como, tolvas de agregados y de cemento, plantas dosificadoras, básculas para cemento, elevador de cangilones, y transportador helicoidal.

En general los diferentes tipos de plantas de concreto que existen, están destinadas exclusivamente para la producción de concreto en grandes volúmenes.

## PETROLIZADORA

Es un equipo complementario en los trabajos de pavimentación, - que sirve para cargar y regar el asfalto líquido. Es un camión en cuya parte trasera lleva adaptado un tanque termo con rompe-olas y de forma elíptica, que a su vez se complementa con una - barra de riego y una bomba de líquidos pesados, que se colocan\_ en su parte inferior y se accionan por un motor adicional o el\_ del vehículo.

Su uso general se hace en las carreteras para el riego de asfal\_ tos en carpetas y bases.

## BARREDORA

Es un equipo complementario en la pavimentación que generalmente se usa para quitar el polvo o basura acumulada sobre las bases y sub-bases compactadas y mejorar así la adherencia del riego de liga. Básicamente esta máquina está formada por un rodillo de cerdas que, colocado apropiadamente y en forma perpendicular con respecto a su movimiento va sostenido por medio de un bastidor, el cual se apoya sobre un par de ruedas pequeñas de hule en su parte trasera, y se articula al frente a través de una barra de tiro, a un tractor para su remolque.

Son usuales en la operación previa a la del riego de liga, para barrer las basuras de las bases y sub-bases compactadas y durante el proceso de compactación de carreteras.

## PIPA

Es un equipo requerido para el transporte de agua a través de grandes distancias, que consiste principalmente de un camión en cuya parte trasera va provista de un tanque cilíndrico de almacenamiento, que generalmente lleva acoplada una bomba de succión para efectuar una carga y descarga del agua. Lleva además adaptada en su parte inferior una barra o tubo con perforaciones a todo lo largo, que colocada en forma paralela al eje de las ruedas es utilizada para regar o esparcir el agua a una presión constante.

Son usuales en los acarreos de agua para la compactación de sub-bases, bases o terraplenes.

## PAVIMENTADORAS

Son máquinas consideradas como el elemento esencial en los trabajos de pavimentación uniforme y por capas de la mezcla asfáltica, satisfaciendo todos los requisitos para el mezclado en el mismo lugar de trabajo.

La pavimentadora moderna, que es una máquina altamente especializada, está formada por una capa rectangular, sobre la cual -- van el motor, el tanque de combustible, la tolva alimentadora y los controles para su operación. Puede estar montada sobre orugas o neumáticos.

Generalmente las máquinas mas pequeñas son las que van montadas sobre neumáticos, mientras que los modelos mayores están dotados de orugas de cara ancha, cuya finalidad es la de reducir la presión sobre el camino y la tendencia de la máquina a romper -- la subrasante, pero tanto como en uno como para el otro caso -- las características son las mismas.

Es el equipo ideal para la formación de las carpetas asfálticas en las carreteras.

### IV.3 DESCRIPCIÓN DE MAQUINARIA Y EQUIPO LIGERO

A continuación se dará una breve descripción de la maquinaria y del equipo ligero de construcción de caminos, así como sus aplicaciones más comunes.

#### MALACATES

Es el elemento más simple para elevar materiales u otro tipo de objetos. Está formado por un motor de gasolina, diesel o eléctrico, un carrete donde se enrolla el cable de acero que se acciona mediante un sistema de embrague de pedal, de un freno de pedal, de un freno de trinquete y de un acelerador manual.

En movimiento de tierras se utiliza generalmente en el desmonte, para arrancar los troncos o tocones, así como rescatar maquinaria atascada mediante malacates de arrastre montado en tractor.

## COMPACTADORES MANUALES

Este tipo de equipo es llamado de esta forma porque en si son relativamente pequeños en comparación con las aplanadoras o rodillos. Estas máquinas son muy útiles en lugares en que por no poder las aplanadoras tener acceso o áreas pequeñas, como por ejemplo excavaciones de zanjas para drenaje o tubería o que no se requiera compactación específica.

Los compactadores manuales se clasifican en :

- 1.- Compactador de Pisones a Mano.
- 2.- Compactador de Pisones de Impacto.
- 3.- Compactador de Rodillos Vibratorios.

Compactador de Pisones a Mano.- Consiste en una placa metálica generalmente de acero ya sea rectangular o cuadrada en la cual está soldada una barra con un agarradera. Se opera manualmente elevándola y dejándola caer por gravedad.

Compactador de Pisones de Impacto.- Este compactador opera por medio de aire comprimido generalmente, aunque existen compactadores con motores de gasolina y diesel. Opera dejando el pié o placa metálica de que consta, sobre el terreno martillándolo -- por vibración, caída de peso o combinación de ambos.

**Compactador de Rodillos Vibratorios.-** Consiste en un solo rodillo liso metálico, el cual soporta un motor de gasolina, aunque también tiene acción vibratoria. El rodillo produce un impacto hasta de dos toneladas y su acción es a base de un brazo con un neumático el cual sirve de gufa localizado en la parte posterior.

## REVOLVEDORAS

Las revolvedoras son un equipo ligero de construcción para usarse en lugares donde se necesita hacer un concreto en pocas cantidades. Sus partes principales de que consta son: olla metálica soportada en un chasis con ruedas; la olla es accionada por un motor de gasolina o diesel que la hace girar para efectuar la mezcla de sus componentes. La olla en su interior tiene unas aspas fijas; al ir girando la revolvedora los diversos ingredientes incluyendo el agua, son íntimamente mezclados hasta producir una pasta homogénea de fluidéz adecuada para permitir su manejo y colocación en las estructuras de que formará parte.

## BOMBAS DE CONCRETO

Son un elemento auxiliar en la colocación de concreto, sobre todo cuando es necesario colocarlo a gran altura, como por ejemplo en el colado de puentes, pasos a desnivel o lugares donde la colocación del concreto es poco accesible para los equipos ordinarios de colado.

Generalmente están accionadas por un motor de gasolina, diesel o eléctrico montado sobre un chasis móvil o sobre camiones. Cuenta además con una tolva agitadora de control remoto, frenos hidráulicos, gatos estabilizadores y una manguera de descarga.

## VIBRADORES

Es un equipo ligero que sirve para eliminar los huecos de aire - que se encuentran dentro del concreto antes de fraguar. Consta de un cabezal o aguja tubular vibratoria la cual se sumerge completamente en el concreto, y se acciona por medio de motor eléctrico o de gasolina, pero los hay también que utilizan aire comprimido utilizando una compresora.

## BOMBAS DE AGUA

Es el equipo usual para desalojar el agua del lugar de trabajo, así como para llevar agua a donde se requiera. Estas máquinas se encuentran montadas sobre ruedas neumáticas o sobre una base metálica y estan acopladas a motores de gasolina, diesel o eléctricos. Operan arrojando hacia afuera el agua que entra en - - ellas a través de una manguera por medio de aspas que giran rápidamente. El cuerpo de la bomba es una caja rígida que sirve de soporte al mecanismo de bombeo y como tanque de almacenamiento para el surtido de agua.

## C A P I T U L O V

### MEDIOS DE PROTECCION

## V.1 ASPECTOS GENERALES

En este capítulo se hace referencia a los métodos de protección que se utilizan en caminos en contra de la acción destructiva del agua, que como se dijo anteriormente, es su peor enemigo. Los métodos de los que se hablará se pueden agrupar en un solo término al que genéricamente se le denomina "Drenaje en Caminos".

Se entiende por drenaje en los caminos a la metodología que se sigue para el control de las aguas que llegan a la vía y le afectan por escurrimiento superficial o subterráneo; independientemente de que dichas aguas hayan caído sobre o fuera del mismo.

El drenaje tiene por objeto, en primer lugar, reducir lo más que sea posible la cantidad de agua que llega a las diferentes partes de la carretera y en segundo lugar, dar salida expedita al agua cuyo acceso a ella sea inevitable.

Para que se consiga un buen drenaje debe evitarse:

a.- Que el agua circule en cantidades excesivas por la carretera destruyendo el pavimento y originando la formación de charcos y baches.

b.- Qué el agua de las cunetas laterales remoje y reblandezca - los terraplenes, originando asentamientos con el consiguiente - perjuicio de revestimientos y pavimentos.

c.- Qué los cortes se saturen de agua con peligro de derrumbes- o deslizamientos de los mismos y aún del propio camino.

d.- Qué el agua de arroyos, hondonadas y talves sea remansado - por los terraplenes, con el peligro de deslavarlos.

e.- Qué el agua subterránea reblandezca el terraplén y la subra- sante, con el perjuicio de reducción de la capacidad de carga - del suelo y el consiguiente deterioro del camino.

Como ya se mencionó en el Capítulo I el drenaje debe preeverse- y estudiarse desde la localización misma del camino; es decir,- el ingeniero siempre tratará de localizar el camino en suelos - estables, permeables y naturalmente drenados. Por eso se locali- zan a veces las líneas por parte-aguas, o se recargan sobre la- ladera de una cañada, o se buscan las partes altas y firmes - cuando la línea va por zonas bajas húmedas o pantanosas; en el- caso en que la línea se vea obligada a ir por terreno plano, la posición de la subrasante queda definida en un cien por ciento- por el drenaje, ya sea por las dimensiones de las alcantarillas o por la necesidad de levantar los terraplenes para evitar que- el agua brinque sobre ellos o en último caso, para evitar que -

la humedad llegue a perjudicar la base del camino, por capilaridad.

Para su estudio se ha dividido el drenaje en dos tipos, de acuerdo con el funcionamiento del escurrimiento, a saber:

Drenaje Superficial

Drenaje Subterráneo o Subdrenaje

los cuales se detallarán en los siguientes subcapítulos.

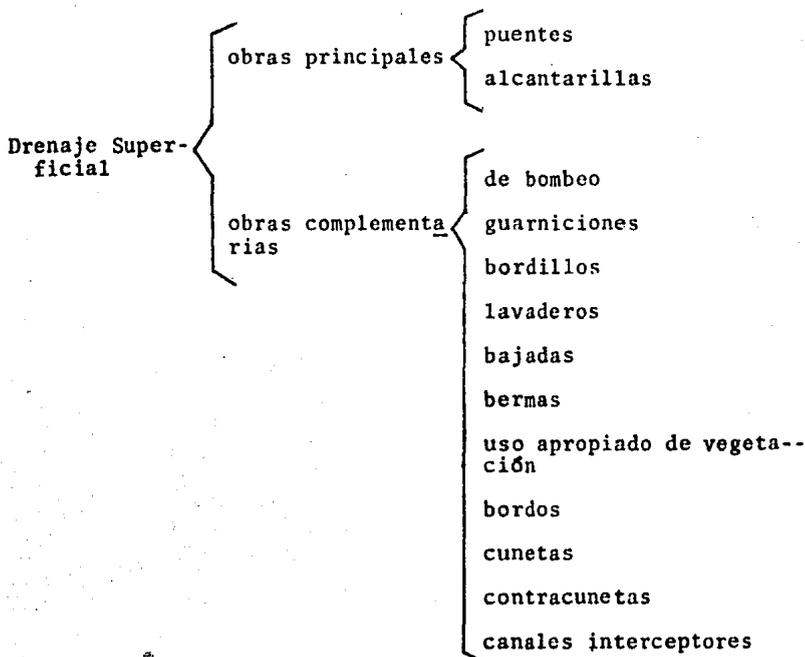
## V.2 DRENAJE SUPERFICIAL

Se llama drenaje superficial al que tiende a eliminar el agua que escurre encima del terreno o del camino, sea que provenga directamente de lluvia, de escurrideros naturales o de aguas almacenadas. Este tipo de drenaje comprende dos aspectos: Uno es el que se trata de evitar que el agua llegue al camino por medio de obras que lo protejan y el otro es el que trata de eliminar el agua que inevitablemente llega al camino, por medio de estructuras especiales.

Entre éstas últimas, las estructuras más notables por sus dimensiones y su importancia son los puentes y las alcantarillas, responsables principales del drenaje transversal en los llamados "cruces"; es decir del paso de grandes masas de agua de arroyos, ríos, etc., a través de la obra, en una dirección más

o menos perpendicular a ella.

Dada la importancia de éstas obras se ha subdividido al drenaje superficial en dos partes, tratando primeramente a los puentes y las alcantarillas como obras principales y seguidamente a las demás obras, pero no menos importantes, dándoles genéricamente el nombre de Obras Complementarias de Drenaje. Estas obras son las que se indican a continuación:



A su vez suele llamarseles a los puentes obras de drenaje mayor y a las alcantarillas obras de drenaje menor.

En cada una de las obras que constituyen el drenaje superficial,

el ingeniero drenajista debera de determinar los siguientes -  
puntos:

- a.- Localización
- b.- Area hidráulica necesaria
- c.- Sección, pendiente y elevación del fondo
- d.- Longitud de la estructura
- e.- Tipo económico de construcción
- f.- Proyecto constructivo.

#### Obras Principales de Drenaje

Como ya se dijo están formadas por los puentes y las alcantari-  
llas las cuales se usan básicamente en los cruces.

En la localización del cruce se presentan dos casos: el prime--  
ro, cuando el cruce está perfectamente definido en cuyo caso, -  
ya casi la localización está obligada y el segundo, cuando el -  
cauce de la corriente no está definido, en cuyo caso debe elegir  
se aquel que reuna las condiciones más favorables.

#### Puentes

Comunmente se designa con el nombre de puentes a aquellas obras  
que tienen algún claro de longitud mayor de 6 m, y que no ten--  
gan colchón. Son estructuras que básicamente se analizan y estu  
dian desde el punto de vista de la mecánica de suelos, y del -

análisis y diseño estructural.

En los puentes se realizan rutinariamente estudios de exploración de suelos, investigaciones de laboratorio y sus cimentaciones son objeto de proyectos mucho muy elaborados, que hacen uso de las técnicas más sofisticadas, tales como pilotes de punta o de fricción, los cilindros, los grandes cajones de cimentación, así como a los muy importantes estudios hidrológicos e hidráulicos que constituyen una parte medular del proyecto de los puentes.

Por ser un tema muy completo y extenso, que no está contemplado en esta tesis, solo se menciona lo dicho anteriormente.

#### Alcantarillas

Las alcantarillas son, en muchos aspectos, similares a los puentes pero se diferencian en dos puntos que los hacen merecedores de un tratamiento especial. En primer lugar son muchas y en segundo representan individualmente niveles de inversión mucho más bajos. Se caracterizan porque son estructuras resueltas con claros menores de 6 m. con colchón, independientemente del hecho de que esos claros menores de 6 m. pudieran repetirse varias veces, dando a la obra en conjunto una longitud más grande que ese límite.

En las alcantarillas es muy común que los estudios de cimentación sean menores, pues por lo regular la capacidad de carga en el terreno no es muy elevada, generalmente esta fluctúa entre 1.0 y - 3,0 kg/cm<sup>2</sup>.

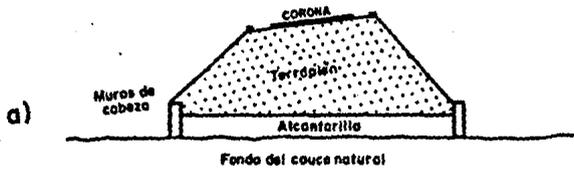
El estudio de los suelos pocas veces va más lejos que una simple inspección visual de muestras obtenidas en pozos a cielo abierto, con posteadoras u otras herramientas de uso barato y alcance restringido.

El proyecto en la cimentación en sí, así como el estructural suele ser cuestión de proyecto tipo y tampoco suelen hacerse en las alcantarillas los estudios hidráulicos que son de rutina en los puentes.

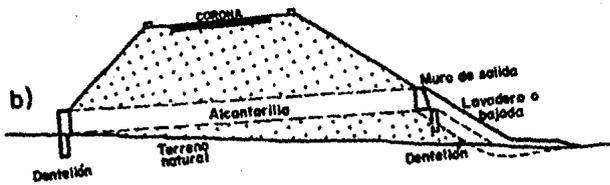
Las alcantarillas se colocan hasta donde sea posible siguiendo el alineamiento y pendiente del cauce natural y cuando el cruce es oblicuo es preferible dejar la alcantarilla oblicua y no tratar de ponerla normal.

Para cuando sea riesgoso dejar la pendiente de cauce natural por ser esta excesiva, es frecuente recurrir a los trazos en perfil que se muestran en la figura V.1.

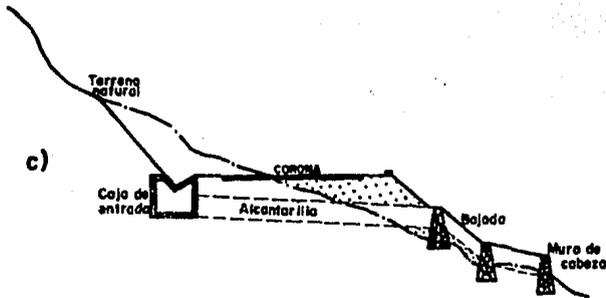
En la parte a de la figura se muestra la colocación normal y conveniente, que es la que ha de darse a cualquier alcantarilla de-



Colocación normal según la línea del cauce



Colocación en terraplén



Alcantarilla de alivio

Fig. V.1. Diversos perfiles de alcantarillas

bóveda, de cajón o de losa de concreto.

La parte b representa un caso en que se reduce la pendiente de la obra alojandola en el terraplón; ésta ubicación se realiza con tubos y se protege convenientemente con dentellones de entrada y salida, lavaderos o bajadas y teniendo una atención especial en evitar cualquier posible fuga de agua en el interior de la obra.

La parte c muestra una típica alcantarilla de alivio, construida en partes intermedias de cortes muy largos, para descongestionar las cunetas.

Podemos clasificar a las alcantarillas según su estructura en dos tipos.

Alcantarillas Flexibles

Alcantarillas Rígidas

Alcantarillas Flexibles.- Son aquellas construídas por tubos - o arcos de lámina de acero corrugado, con recubrimiento adicional ó sin él, colocados en el terreno bajo el terraplén en una o más líneas denominadas baterías.

Las principales ventajas que se atribuyen a estas alcantarillas están en que se trabaja con un producto fabricado con normas - estrictas; son de alta resistencia en comparación con su peso, son sumamente flexibles; comunican al terreno de cimentación - presiones muy bajas. Son fáciles de instalar y manejar además - de que están disponibles en una gran variedad de secciones, tamaños y calibres de lámina.

Su principal desventaja es probablemente su costo alto en relación a obras de mampostería y aún de concreto, que resultan - siempre más baratas en lugares en que el terreno de cimentación no plantea problemas especiales de capacidad de carga. También - los hacen inconvenientes todos los lugares de naturaleza corro - siva.

Alcantarillas Rfidas.- Se les llama obras rfidas, por ser - muy pequeas las deformaciones que pueden sufrir bajo el peso del terraplén sobre el y a los lados de ellas.

Las alcantarillas de estructura rfida, según su importancia-hidráulica pueden resolverse con:

Tubos de concreto

Estructuras de bóveda

De cajón o de losa

Las alcantarillas de tubo de concreto al igual que las metálicas constan de dos partes: El cañón y los muros de cabeza.

El cañón forma el canal de la alcantarilla y es la parte esencial de la estructura. Los muros de cabeza sirven para evitar que el terraplén invada el canal. No obstante, cuando se pueda los muros de cabeza se pueden omitir alargando el cañón; - son muy durables y la rapidez de su tendido tiene la ventaja de facilitar inmediatamente la construcción del terraplén.

#### ALCANTARILLA DE TUBO DE CONCRETO

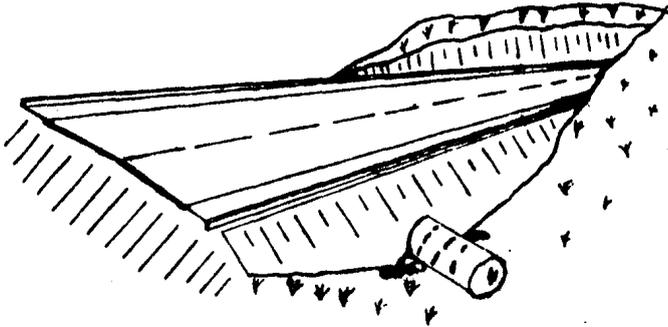


Figure V.2

Las alcantarillas de bóveda son estructura en las que la parte que recibe la carga del camino es un arco de mampostería, concreto armado o concreto simple, e inclusive metálico, apoyados en muros de concreto ó mampostería. Son los tipos más indicados cuando el terraplén es alto y la cimentación firme. Se usan cuando las condiciones de apariencia la requieren o cuando resulten económicas por disponer de materiales a la mano.

Tienen el inconveniente de ser de ejecución lenta, pero tienen la gran ventaja de su estabilidad sobre todo si los estribos están bien cimentados..

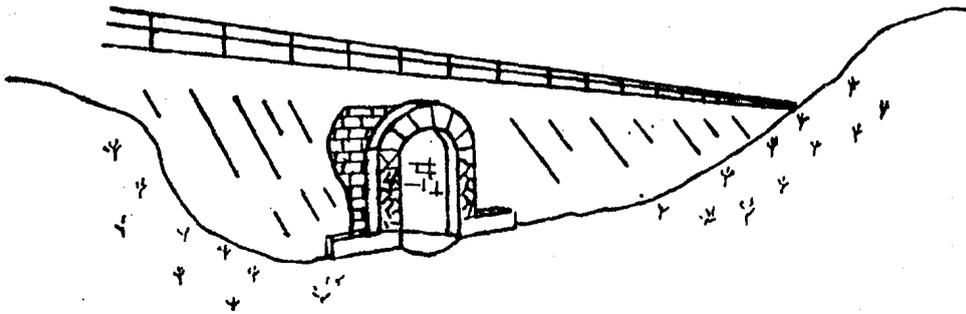
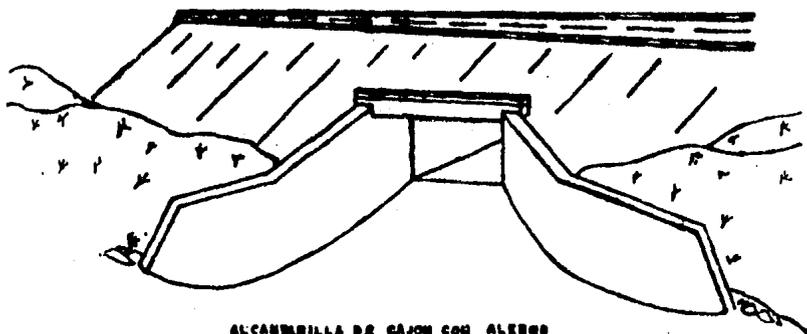


FIG. V.3 ALCANTARILLA TIPO BÓVEDA

Las alcantarillas de cajón o de losa, son estructuras de losa de concreto reforzado sobre muros de mampostería y se usan cuando, por la magnitud del gasto y forma del talweg, no es posible usar una batería de tubos o no hay los tubos del diámetro necesario o resulta excesivamente costoso o difíciles de transportar e instalar; también al igual que las alcantarillas de bóveda se usan cuando resulten económicas por disponer de materiales a la mano. Se pueden calcular con carga uniforme distribuida cuando tengan colchón o con carga concentrada en caso de que no lo lleven.

En las alcantarillas de bóveda y de cajón se construyen partes -  
suplementarias, aguas arriba y aguas abajo de la estructura para  
evitar la eroción del terraplén, formando un ángulo determinado -  
con el eje de la alcantarilla. A estos puntos suplementarios se -  
les da el nombre de aleros.



ALCANTARILLA DE CAJON CON ALEROS

Figure V.4

## Determinación del Gasto

La determinación del gasto de la corriente tiene por objeto el cálculo de la longitud, en el caso de los puentes y la determinación del área hidráulica necesaria, en el caso de las alcantarillas.

Los métodos para el cálculo del gasto para determinar el área hidráulica necesaria para proyectar una alcantarilla son las siguientes:

- a.- Aforo directo
- b.- Procedimientos empíricos
- c.- Cálculo racional

**Aforo Directo .-** Es la medición directa que se realiza del gasto de una corriente en una sección determinada. Sólo se pueden aforar corrientes con aguas permanentes y en condiciones de régimen tranquilo.

Los datos obtenidos por aforo sirven solamente para el caso estudiado y hay necesidad de extrapolar para otras condiciones.

**Procedimientos Empíricos.-** Consisten en la determinación del gasto por comparación o bien usando fórmulas deducidas de la experiencia.

Se aplica el sistema de comparación cuando se trata de construir una

nueva alcantarilla en lugar donde ya habfa otra; o bien cerca de otra alcantarilla existente en el mismo arroyo. En este caso, - sirven de base las huellas visibles ó los informes de las personas del lugar, relativos al nivel más alto alcanzado por el agua durante un período de tiempo razonable, en la alcantarilla existente.

Mediante fórmulas se calculará el área hidráulica de la alcantarilla en función del área per drenar y las características de la cuenca. Las principales fórmulas empíricas que dan resultados - reales o confiables son las de Talbot, Mayer y Peck. De las cuales se ha determinado que las de Talbot son las que dan los resultados más aproximados; la que dice que:

$$Q = 0.183c \sqrt{A^3} \quad \text{--- (1)}$$

Donde

Q: Area hidráulica que debe tener la alcantarilla, en m<sup>2</sup>.

c: Coeficiente de escurrimiento. en función de las características topográficas del terreno

A: Area drenada, en hectáreas.

El coeficiente c se puede elegir de los valores que se muestran en la tabla V.1.

Naturaleza del Terreno	Coefficiente
Terreno Plano	0.20
Terreno Ligeramente Ondulado	0.30
Terreno Ondulado	0.50
Lomerío	0.60
Lomerío Fuerte	0.80
Montañoso	0.90 - 1.00

Tabla V.1. Valores del Coeficiente "C" de la fórmula de Talbot para calcular el área hidráulica de obras de drenaje

Para usar la fórmula de Talbot es necesario conocer el área drenada, que puede tomarse de cortes geográficos o bien medirse directamente sobre el terreno.

Cálculo Racional.- Los métodos racionales para la determinación del gasto son principalmente dos:

- 1.- Método de la Precipitación
- 2.- Método de la Sección y Pendiente

El método de la precipitación.- Esta basado en la precipitación pluvial y condiciones del terreno. De la fórmula de Burkli-Ziegler se puede determinar el gasto con más aproximación, la cual es la siguiente:

$$Q = 0.022 CAh \sqrt[4]{S/A}$$

----- (2)

En donde

Q: Gasto de la alcantarilla, en m<sup>3</sup>/seg.

h: Precipitación correspondiente al aguacero más intenso durante diez minutos, en cm/hora.

A: Número de hectáreas tributarias

S: Pendiente del terreno en metros por kilómetro

C: Coeficiente de escurrimiento que depende de la naturaleza del terreno.

En la tabla V.2 se dan los valores del coeficiente "C" que puede utilizarse en la fórmula de Burkli-Ziegler.

Naturaleza del Terreno	Coeficiente
Calles pavimentadas y Zonas comerciales	0.75
Calles en zonas residenciales	0.625
Calles con macadam y jardines	0.30
Terrenos de cultivo	0.25
Terrenos montañosos	0.18

Tabla .V.2. Coeficiente de escurrimientos para la fórmula de Burkli - Ziegler.

Método de la Sección y Pendiente.- Este método consiste en la determinación del gasto por medio de secciones hidráulicas definidas y de la pendiente del río o arroyo. Se usa generalmente -

en el estudio de los arroyos o talwegs perfectamente definidos.

Para obtener el gasto es conveniente tomar varias secciones, - una de ellas en el cruce y como mínimo una aguas arriba y otra - aguas abajo de él. La distancia de las dos secciones auxiliares al eje, debe ser como mínimo de 200 metros y siempre en tramo - recto del río.

La pendiente hidráulica se mide directamente mediante la fórmula de Chezy o en la de Manning, procurando hacerlo en un tramo - suficientemente uniforme. En el caso de que el cruce esté seco, la nivelación se hará por el centro del cauce, tomando siempre - los puntos más bajos en cada sección, es decir, se determinará - la pendiente del canal principal del arroyo.

Contando con la sección y la pendiente, puede calcularse la ve - locidad mediante la fórmula de Manning:

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad - - - (3)$$

Donde:

v: Velocidad del agua, en m/seg.

n: Coeficiente que depende del material y estado de cauce del río o arroyo

R: Radio hidráulico, que se obtiene dividiendo el - área de la sección, entre el perímetro mojado.

s: Pendiente, obtenida de dividir la diferencia de altura del agua de las secciones consideradas, entre la distancia que los separa.

Con la velocidad se obtiene el gasto mediante la fórmula de continuidad:

$$Q = A.V \quad \text{--- (4)}$$

Donde

Q : Gasto, en  $m^3/\text{seg}$ .

A : Area de la Sección, en  $m^2$

V : Velocidad del agua, en  $m/\text{seg}$ .

En la tabla V.3 se dan los valores de "n" (coeficiente de rugosidad) para su utilización en la fórmula de Manning.

Material y Estado del Cauce del Río o Arroyo	C o n d i c i ó n			
	Ideal	Buena	Regular	Mala
1.- Limpio, márgenes rec- tas, tramo parejo sin grietas ni pozas pro- fundas.	0.025	0.0275	0.030	0.033
2.- Igual que el anterior pero con algunas hier- bas y piedras.	0.030	0.033	0.035	0.040
3.- Sinuoso, con algunas- pozas y bancos pero - limpio.	0.033	0.035	0.040	0.045
4.- Igual que el anterior pero con inferiores - tramo, sección y talu- des.	0.040	0.045	0.050	0.055
5.- Igual al 3 pero con - algunas hierbas y pie- dras.	0.035	0.040	0.045	0.050
6.- Igual al 4, con sec- ciones pedregosas.	0.045	0.050	0.055	0.060
7.- Enyerbado o con pozas profundas	0.050	0.060	0.070	0.080
8.- Muy enyerbado.	0.075	0.100	0.125	0.150

T A B L A V.3 Valores de "n" para la fórmula de Manning.

Cuando se proyecta una alcantarilla por el método de aforo di-  
recto o por los procedimientos empíricos, el área se obtiene -  
directamente y se puede proceder a proyectar la forma, pen-  
diente, etc., de la alcantarilla; pero cuando se sigue los mé-  
todos del cálculo racional (de precipitación y de la sección y  
pendiente), lo que se obtiene directamente es el gasto aporta-  
do a la alcantarilla, y por consiguiente, hay que proceder a -  
deducir cuál deberá ser el área hidráulica de la alcantarilla  
para que de paso a este gasto. En ella intervienen los siguien-  
tes factores:

Forma Geométrica de la Alcantarilla

Espacio Libre Necesario

Espesor del Terraplén

Pendiente y Velocidad

Funcionamiento Hidráulico (con carga o sin carga)

En su funcionamiento hidráulico las alcantarillas pueden ser:

a.- con carga, y

b.- sin carga

a.- Las alcantarillas que tienen salida libre se les dice sin - carga. Su capacidad depende del escurrimiento crítico que a su vez depende de la pendiente y tirante crítico.

Pendiente crítica es la mínima que da el gasto máximo. Para pen dientes menores que la crítica el gasto es menor proporcional-- mente.

Tirante crítico es el que produce la velocidad crítica, que se obtiene cuando la carga es igual a la mitad del tirante medio.

Para conductos rectangulares se tiene que:

Tirante crítico =  $2/3 H$ .

Para conductos circulares

tirante crítico =  $0,690D$

En la tabla V.4 se proporcionan los gastos para los tubos de -  
diversos diámetros y diferentes pendientes, sin carga.

b.- Se llaman alcantarillas con carga, aquellas que tienen obstr  
truida su salida. Esto sucede en los casos en que el terreno -  
es plano, tiene poca pendiente y por lo tanto la salida queda -  
ahogada o semi-ahogada por el agua estancada allí. En estas -  
condiciones la alcantarilla comienza a funcionar cuando el agua -  
ha rebasado el nivel de la obstrucción, haciéndolo como tubo -  
forzado.

La tabla V.5 proporciona los gastos para alcantarillas de tubos  
de metal corrugado, de 9 m. de largo, trabajando ahogados.

# MAXIMA CAPACIDAD DE LAS ALCANTARILLAS CON SALIDA LIBRE

NIVEL DE AGUA A LA ENTRADA IGUAL AL DE LA CLAVE DEL TUBO

GASTO EN m<sup>3</sup>/seg

DIAM. PEND- GENTE %	8"	10"	12"	16"	18"	21"	24"	30"	36"	42"	48"	54"	60"	66"	72"	78"	84"	90"	96"	108"	120"	
	20m	25m	30m	36m	45m	53m	61m	76m	91m	107m	122m	137m	152m	168m	183m	198m	213m	229m	244m	270m	300m	
0.60 m/seg	0.60 m/seg											1.20 m/seg										
	0.1	.008	.011	.017	.037	.059	.093	.135	.226	.340	.566	.709	1.02	1.33	190	2.41	3.11	3.68	4.5	5.4	7.6	9.3
	0.2	.008	.007	.008	.037	.068	.133	.192	.340	.538	.849	1.189	1.81	2.18	2.83	3.68	4.53	5.38	6.5	7.6	10.7	13.1
	0.3	.011	.023	.037	.068	.110	.167	.235	.424	.708	1.047	1.500	2.04	2.74	3.40	4.24	5.38	6.51	7.9	9.3	12.7	17.0
	0.4	.014	.025	.042	.079	.125	.192	.289	.481	.792	1.189	1.753	2.33	3.11	3.96	5.09	6.23	7.64	9.1	10.7	14.4	19.0
	0.5	.017	.033	.048	.085	.139	.212	.285	.538	.877	1.302	1.924	2.53	3.40	4.24	5.38	6.79	8.21	9.6	11.6	15.9	20.7
	0.6	.017	.031	.054	.093	.153	.229	.311	.594	.834	1.415	2.038	2.74	3.68	4.53	5.94	7.07	8.49	10.2	12.2	16.4	21.8
	0.8	.023	.034	.069	.108	.173	.255	.366	.601	1.047	1.650	2.176	2.93	3.96	5.09	6.23	7.64	9.06	11.0	13.0	17.5	22.9
	1.0	.023	.040	.065	.118	.183	.272	.396	.679	1.104	1.615	2.204	3.11	3.96	5.09	6.01	7.62	9.34	11.3	13.5	17.6	22.9
	1.2	.023	.042	.066	.128	.192	.285	.396	.708	1.152	1.670	2.321	3.11	4.24	5.38	6.51	7.92	9.34	11.3	13.5	17.6	22.9
1.4	.028	.046	.071	.128	.196	.289	.424	.708	1.132	1.670	2.349	3.11	4.24	5.38	6.51	7.92	9.34	11.3	13.5	17.6	22.9	
1.6	.028	.048	.074	.127	.201	.283	.424	.736	1.152	1.670	2.349	3.11	4.24	5.38	6.51	7.92	9.34	11.3	13.5	17.6	22.9	
1.8	.028	.048	.074	.130	.201	.311	.424	.736	1.132	1.670	2.349	3.11	4.24	5.38	6.51	7.92	9.34	11.3	13.5	17.6	22.9	
2.0	.028	.048	.074	.130	.201	.311	.424	.736	1.132	1.670	2.349	3.11	4.24	5.38	6.51	7.92	9.34	11.3	13.5	17.6	22.9	
2.2	.028	.048	.074	.130	.201	.311	.424	.736	1.132	1.670	2.349	3.11	4.24	5.38	6.51	7.92	9.34	11.3	13.5	17.6	22.9	
2.4	.028	.048	.074	.130	.201	.311	.424	.736	1.132	1.670	2.349	3.11	4.24	5.38	6.51	7.92	9.34	11.3	13.5	17.6	22.9	
1.20 m/seg																						
1.80 m/seg																						
2.40 m/seg																						
3.00 m/seg																						
AREA TOTAL	.032	.051	.075	.113	.164	.223	.298	.460	.687	.993	1.47	1.99	2.82	3.81	5.08	6.57	8.17	9.91	11.8	15.9	20.7	
AREA NETA = 0.733 del area total	.023	.037	.054	.083	.120	.160	.210	.333	.493	.699	1.08	1.48	2.08	2.86	3.81	4.91	6.17	7.51	9.04	10.7	14.4	
VELOCIDAD CRITICA	1.691	1.821	1.871	1.871	1.871	1.948	2.08	2.16	2.33	2.53	2.73	2.83	3.17	3.30	3.37	3.51	3.56	3.76	3.88	4.10	4.29	

NOTAS: Los gastos se calcularon para un coeficiente de fricción N=0.021. La tabla da para cada diámetro el gasto correspondiente a las diversas pendientes. Los valores en letra negrilla indican el gasto para la "pendiente crítica" (aproximadamente). Para pendientes más fuertes que la "crítica" el gasto no aumenta. Se marcan las líneas escalonadas para dar una idea de la velocidad correspondiente a diferentes tubos y pendientes. - A los gastos colocados encima de los escalones corresponden aproximadamente, las velocidades anotadas en los extremos de esas líneas, o sea 0.60 m/seg. 1.20 m/seg. 1.80 m/seg. 2.40 m/seg. y 3.00 m/seg. Los últimos tres renglones dan el área total del tubo, el área hidráulica interior para el tirante crítico y velocidad para el mismo.

Tabla V.4

Gasto en tubos de metal corrugada, solida ahogada, alcantarilla trebejando forzada,  
muro de cabeza recto a la entrada, longitud de la alcantarilla.

9.00 m

CARGA EN METROS	D I A M E T R O S									
	12"	15"	18"	21"	24"	30"	36"	42"	48"	
.01	.016	.027	.041	.058	.079	.132	.201	.287	.391	
.02	.022	.038	.057	.082	.111	.187	.284	.406	.553	0.5 m
.03	.028	.046	.070	.100	.136	.229	.348	.497	.677	
.04	.032	.053	.081	.116	.158	.264	.408	.574	.782	
.05	.036	.059	.091	.129	.176	.295	.450	.642	.874	
.06	.039	.065	.099	.142	.193	.323	.492	.703	.987	
.07	.042	.070	.107	.153	.209	.349	.532	.760	1.034	
.08	.045	.075	.113	.164	.223	.373	.564	.812	1.105	1 m
.09	.048	.080	.122	.174	.236	.396	.603	.861	1.172	
.1	.050	.084	.128	.183	.249	.417	.636	.908	1.236	
.15	.062	.103	.167	.224	.305	.511	.779	1.112	1.513	
.2	.071	.119	.181	.259	.352	.590	.899	1.284	1.747	1.5 m
.25	.079	.133	.203	.289	.394	.660	1.008	1.435	1.954	
.3	.087	.146	.222	.317	.432	.723	1.101	1.572	2.140	
.35	.094	.157	.240	.342	.466	.781	1.189	1.698	2.312	2 m
.4	.101	.168	.258	.366	.498	.835	1.272	1.816	2.471	
.45	.107	.178	.272	.388	.529	.885	1.349	1.925	2.621	
.5	.112	.188	.287	.408	.557	.933	1.422	2.030	2.765	
.55	.118	.197	.301	.429	.584	.978	1.491	2.129	2.896	2.5 m
.6	.123	.206	.314	.448	.610	1.022	1.557	2.223	3.027	
.65	.128	.215	.327	.467	.635	1.064	1.621	2.314	3.150	
.7	.133	.223	.339	.484	.659	1.104	1.682	2.402	3.269	
.75	.138	.230	.351	.501	.682	1.143	1.741	2.488	3.384	
.8	.142	.236	.363	.518	.705	1.180	1.798	2.567	3.495	
.85	.147	.245	.374	.534	.727	1.216	1.854	2.647	3.603	
.9	.151	.252	.385	.549	.748	1.252	1.907	2.723	3.707	
.95	.155	.259	.395	.564	.769	1.286	1.960	2.798	3.809	
1.00	.159	.266	.405	.579	.788	1.319	2.011	2.871	3.908	

Tabla V.5

## Obras Complementarias de Drenaje

Las obras complementarias de drenaje no son de uso universal o rutinario; son obras que deben hacerse sólo en el lugar en que se requerirán, pues de otra manera se derrochará dinero y se producirán, inclusive, resultados contraproducentes.

El Bombeo.- Se denomina bombeo a la pendiente transversal que se da en las carreteras para permitir que el agua que directamente cae sobre ellas escurra hacia sus dos hombros. En los caminos normales de dos bandas de circulación y en secciones entangente es común que el bombeo se disponga con un 2% de pendiente desde el eje del camino hasta el hombro correspondiente; en las secciones en curva, el bombeo se superpone con la sobre-elevación necesaria. En las carreteras de más de dos bandas de circulación pueden presentarse dos casos típicos. O se tiene un camellón central relativamente estrecho o se tiene uno muy amplio, generalmente sembrado de pasto. En el primer caso, es común que el bombeo tenga lugar del camellón hacia ambos hombros, pero en el segundo es común que se disponga un bombeo mixto, en dos vertientes, con pendientes desde el eje de cada banda hacia el hombro respectivo y hacia la sección central de la vía, en la cual suele existir un elemento de canalización.

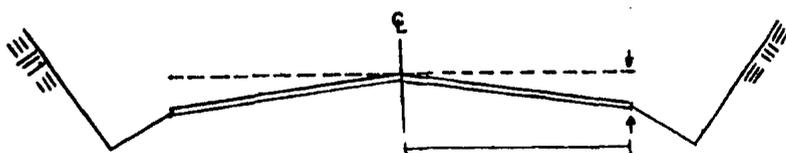
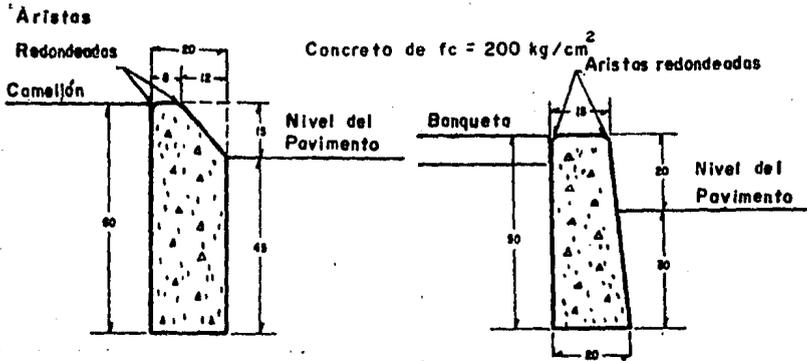


FIG. V. 5 Terminación de la carpeta para permitir que el agua que directamente cae sobre ella escurra hacia sus hombros

Las Guarniciones.- En las carreteras, las guarniciones se construyen con el objeto de proteger a las banquetas de los puentes, de las casetas de cobro de peaje, de pasos a desnivel y de algunos tipos de los camellones que separen las bandas de circulación de las autopistas o que se construyen en entronques, isletas de pasos a desnivel, etc.

Las guarniciones tienen relación con el drenaje, aunque ese no sea su objetivo principal, pues canalizan el agua que escurra en la superficie de rodamiento, guiándola hacia salidas especialmen

te dispuestas.



a.- Guarnición en camellón central

b.- Guarnición en camellones laterales y banquetas

En ambos casos:

1.- Dimensiones en cm

2.- Juntas de Dilatación de cartón asfaltado de 0.3 cm de espesor deberán disponerse a cada 6.0 m como máximo

FIG.V.6 Formas típicas de guarniciones.

Las guarniciones se construyen usualmente de concreto, pero la piedra pudiera ser conveniente, si existe este material y abunda la mano de obra. Es conveniente que estas no sobresalgan más de 15 o 20 cms.

Los Bordillos.- Son estructuras que se colocan en el lado exterior del acotamiento en las secciones en tangente, en el borde opuesto al corte en las secciones en balcón o en la parte inte

rior de las secciones de terraplén en curva. Son pequeños bordos que forman una barrera para conducir el agua hacia los lavaderos y las bajadas evitando erosiones en los taludes y saturación de éstos por el agua que cae sobre la corona del camino.

En México se utiliza generalmente bordillos de sección trapecial, de concreto asfáltico o hidráulico como se muestra en la figura-  
V.7

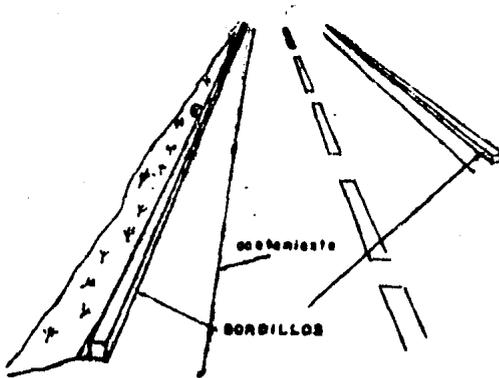


FIG.V.7 Bordillos

La altura de los bordillos en la mayoría de los casos es de 12 a 15 cm. y en su construcción puede emplearse concreto asfáltico o hidráulico ó inclusive de piedra.

El gasto que debe esperarse para ser canalizado por un bordillo puede calcularse en función del área drenada (entre lavaderos) de la precipitación máxima por hora y de la duración de esta. La liga entre los bordillos y los lavaderos o bajadas se hará deprimiendo ligeramente la superficie del acotamiento cerca de la entrada de los lavaderos y uniendo el bordillo con los lavaderos por medio de dos curvas, que confinen la zona deprimida del acotamiento.

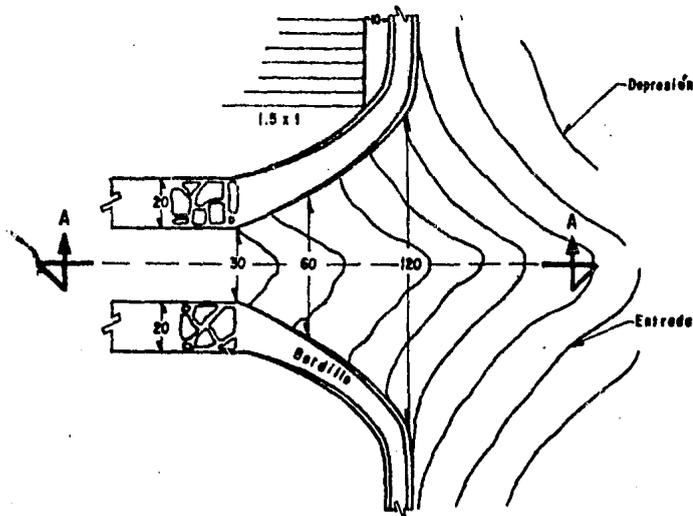


FIG.V.8 Ligo entre los bordillos y los lavaderos o bajadas.

Se recomienda que los bordillos sólo deben utilizarse, en aquellos lugares en que el escurrimiento del agua sobre los terraplenes cause trastornos, debido a que el material que forma los taludes sea realmente erosionable y este desprotegido. Para taludes muy bajos (menores de 1.50 m) los bordillos no son necesarios dado que el agua no puede alcanzar velocidades erosivas.

Los Lavaderos.- Son canales que se conectan con los bordillos y bajan transversalmente por los taludes, con la misión de conducir el agua de lluvia que escurre por los acotamientos hasta lugares alejados de los terraplenes, en donde ya sea inofensiva. En general son estructuras de muy fuerte pendiente y en esta circunstancia radica la mayoría de los peligros que los aquejan. Se disponen sobre los lados en terraplén de cortes en balcón (generalmente a la entrada y a la salida) o en los lados interiores de curvas, cuando corresponden a secciones también en terraplén. En tramos en tangente suelen disponerse a cada 60 o 100 m. pero ésta separación puede ser variable, dependiendo de la pendiente longitudinal de la vía terrestre y del régimen de precipitación pluvial de la zona.

La capacidad del umbral de entrada del lavadero dependerá de la separación entre ellos, del gasto total que escurra por el bordillo y del tirante en una sección inmediatamente antes del umbral.

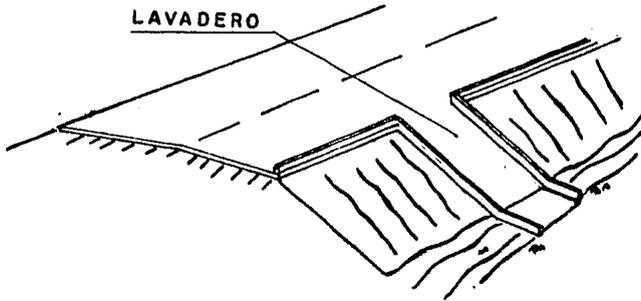


FIG. 8' Lavadero transversal al talud

Izzard proporciona la fórmula 5 para el cálculo de la longitud del umbral de entrada al lavadero, que toma en cuenta el cambio brusco de dirección que ha de sufrir el agua en ese lugar.

$$L_u = \frac{Q}{0.386(\alpha + y)^{3/2}} \quad \text{--- (5)}$$

Donde

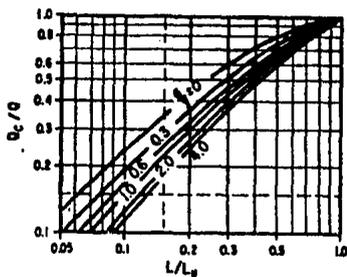
$L_u$ : Es la longitud del umbral de entrada al lavadero, en m.

$Q$ : Es el gasto que llega al lavadero, en  $m^3/seg$ .

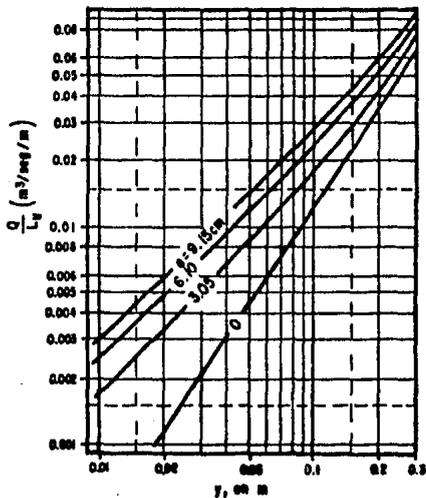
$C$ : Es el desnivel entre el acotamiento y la sección más deprimida del umbral de entrada al bordillo, en m. Generalmente es del orden de 0.06m.

$y$ : Es el tirante de escurrimiento sobre el acotamiento, en una sección próxima al umbral de entrada, en m.

Al respecto de la fórmula anterior, lo común es que las entradas de todos los lavaderos sean iguales, con capacidades de descarga muy simples, manejándose las diferentes necesidades de captación más bien con base en la separación entre lavaderos. Si  $L$  es la longitud del umbral de entrada del lavadero elegida como estandar y  $L_u$  es la longitud necesaria para captar todo el gasto que llegue, la figura V.9a proporciona la porción del gasto total que es capaz de captar la entrada de longitud  $L$ ; en la misma figura se denomina  $Q$  al gasto total que llega y  $Q_c$  al gasto captado.



a.- Porción del gasto total que es capaz de captar una entrada de lavadero de longitud  $L$ .



b.- Longitud de entrada a un lavadero para captar todo el gasto de llegada.

FIG. V.9

En la figura V. 9 b complementaria de la anterior, puede calcularse la longitud necesaria en la entra del lavadero ( $L_u$ ) para captar todo el  $Q$  que llega a ella.

El lavadero propiamente dicho es la rápida revestida que va desde el umbral de entrada en la parte alta de terraplén hasta los ceros del mismo o, yendo aún más adelante, hasta donde se efectúe la descarga final de agua para que esta sea inofensiva. Es usual que la bajada tenga una sección estandar y el dimensionamiento hidráulico se hace verificando, a partir del gasto de entrada, la altura en los bordes de lavadero.

Uno de los principales problemas en los lavaderos son las fuertes velocidades con que el agua baja sobre éstos y que inclusive llega a erosionar el propio lavadero al pie del talud, algunas de las soluciones a este problema es dándole a la plantilla del lavadero una reguosidad y un escalonamiento adecuado, de tal

manera que ayude a disipar la energía de la bajada, otra es prolongar el lavadero en un abánico de amortiguación y en la longitud suficiente o construir obras de disipación y encausamiento donde sean necesarias.

Los lavaderos se construyen muy frecuentemente de mampostería con junteo de lechada de cemento en proporción 1:4, también se hacen de concreto o con media sección de tubo de lámina galvanizada corrugada en juntas atornilladas, en este último caso, el tubo debe salir de una plantilla de mampostería, ó de concreto; es muy recomendable que en zonas intermedias de su desarrollo, el tubo se amarre con sillotes de mampostería, pero ya sea cual fuere el material, a los lavaderos se les debe dar suficiente estabilidad envolviéndolos dentro del cuerpo del terraplén.

Los lavaderos se colocan también como elementos eliminadores del agua captada por cunetas y contra cunetas.

Las Bajadas.- Se denomina así a estructuras de función análoga a los lavaderos, pero constituidos por un tubo apoyado en la superficie inclinada del terreno ó enterrado en él.

La tubería que se ha empleado con más éxito es la de lámina, provista de alguna junta capaz de absorber pequeños movimientos por temperatura o por asentamiento del terraplén o del terreno en que se coloque el tubo.

En lugares de precipitación escasa o en donde la velocidad de escurrimiento no vaya a ser demasiado alta podrá utilizarse también el concreto hidráulico para hacer los tubos.

El diámetro mínimo en los tubos de la bajada deberá ser de 45 cm., pero no es difícil ver diámetros mayores de 60 cm. ó más, en lugares en donde se prevé la necesidad de eliminar grandes gastos.

Las bajadas tienen el inconveniente de la dificultad de inspección, que en algunas ocasiones pueden llegar a obligar a la utilización de sondeos.

Las Bermas.- Se les denomina así a los escalonamientos construidos en terraplenes con fines de drenaje; suelen tener una relación peralte: huella de 1:1 a 1:1.5 y son de dimensiones pequeñas, verdaderos escalones; aquellos valores pueden aumentar a 1:2 o 1:3 los que se construyen sobre el terreno natural, para control de las aguas que bajen por él, amenazando la vía terrestre, dando lugar a una estructura análoga en sus objetivos a las que se hacen en terrenos de labor en declive como protección contra la erosión.

Los escalonamientos en los cortes, cuando se construyen para interromper la trayectoria de bajada de las aguas suelen tener su relación peralte - huella gobernada por la inclinación general -

del corte, por lo que ésta difícilmente podrá pasar de 0.75:1 -  
o 1:1.

El efecto de la berma o del escalonamiento es disminuir la -  
fuerza erosiva del agua que escurre superficialmente por los -  
talones de un terraplén o en corte o por el terreno natural. -  
Estos elementos pueden encauzar convenientemente al agua conec-  
tada si se les da una pendiente apropiada hacia lavaderos, ba-  
jadas o estructuras análogas.

La vegetación.- Son una de las más efectivas protecciones de -  
los taludes de un corte o un terraplén o del terreno natural -  
contra la acción erosiva del agua superficial.

Las especies vegetales retardan el escurrimiento, disminuyendo  
mucho la energía del agua y contribuyen a fomentar una condi-  
ción de equilibrio en los suelos en cuanto a contenido de agua.

Siempre que la vegetación exista ésta deberá respetarse y cuan-  
do ésta no exista, su plantación puede contribuir a proteger -  
muy eficazmente la vía. La plantación de especies vegetales de-  
be estar a cuidado de especialistas, que utilicen variedades -  
apropiados en la región, cuyo crecimiento puede ocurrir con -  
los mínimos cuidados iniciales.

En los taludes son especialmente útiles especies trepadoras o -

pastos tupidos, en tanto que para las barreras protectoras en el terreno natural, suelen dar mejor resultado los arbustos.

**Los Bordos.**- Los bordos de tierra ú ocasionalmente de mampostería, se construyen para encauzar las aguas, sean en el terreno natural próximo al camino, para que el agua llegue a gargantas, cauces naturales, etc., ó sea en la entrada de las alcantarillas o puentes, con el fin de que el agua cruce aproximadamente por tales estructuras.

Los bordos, se construyen generalmente con material producto de excavación; es normal que dicha excavación se desarrolle en forma más ó menos paralela al propio bordo y debe procurarse que no construya un tajo profundo.

Los bordos de tierra se deben contruir con taludes 2:1 o 3:1, - en alturas que rara vez rebasen los dos metros y con un ancho de corona en el orden de los 50 cm.

Los bordos que encauzan las aguas hacia alcantarillas y obras de drenaje son estructuras un poco más formales pues sufren el embate de aguas rápidas; en estos casos serán comunes las protecciones de taludes con enrocamiento, la construcción con mampostería de buena calidad y aún el uso de muros de concreto (deflectores).

Las Cunetas.- Son las obras complementarias de drenaje de uso más extendido y universal; son canales que se adosan a los lados de la corona de la vfa terrestre, en el lado del corte en secciones de tal naturaleza; en cortes en balcón hay entonces cuneta en un sólo lado y en cortes en cajón, en los dos. La cuneta se dispone en el extremo del acotamiento, en contacto inmediato con el corte. Su situación le permite recibir los escurrimientos de origen pluvial propios del talud y los del área comprendida entre coronamiento del corte y la contracuneta, si la hubiese o al terreno natural aguas arriba del corte, si no hay contracunetas.

La capacidad hidráulica de la cuneta como canal define principalmente la posibilidad de cumplir su función de canalizar y eliminar con rapidez, el agua que colecte. El gasto por diseñar depende del área de influencia, del coeficiente de escurrimiento y de la intensidad de la lluvia durante un tiempo igual al de concentración.

La pendiente longitudinal mínima que debe existir en una cuneta es de 0.5%. La velocidad con la que el agua circule sobre ella debe quedar comprendida entre los límites de depósito y erosión, ambos indeseables.

La tabla V.6 proporciona como norma de criterio, la máxima velo

cidad que puede alcanzar el agua sobre los materiales que se -  
citan sin provocar erosión; y en la tabla V.7 se proporcionan-  
los gastos que pueden calcularse en la cuneta de la figura -  
V.10 para distintas pendientes del camino y velocidades del -  
agua.

Las cunetas se construyen generalmente de sección trapezoidal o -  
triangular . En la práctica siendo lo más frecuentemente usado.  
El talud hacia la vía es como mínimo 1:3, preferentemente 1:4-  
y el del lado del corte sigue sensiblemente la inclinación de-  
este. Se prevé una lámina de agua de no más de 30 cm.

Cuando las cunetas se revisten, usualmente ello se hace con -  
mampostería o concreto hidráulico. En el primer caso suele uti-  
lizarse mortero con proporción 1:4 y en el segundo pueden uti-  
lizarse losas coladas en sitio o precoladas. La menor rugosi-  
dad del concreto lo hace más eficiente hidráulicamente que el-  
zampeado de mampostería; con el concreto puede también cons-  
truirse con mayor rapidez. Las losas utilizadas suelen tener al-  
rededor de 1m de longitud y tener juntas selladas, para evitar-  
fugas de agua.

Es importante la relación de niveles entre la lámina de agua en  
la cuneta y las capas de pavimento. La función drenante de la -  
base hace necesario que la frontera superior de la lámina de -  
agua en la cuneta quede por abajo del lecho inferior de la base;

Material	Velocidad (m/seg)
Arenas finas y limos	0.40-0.60
Arcilla arenosa	0.50-0.75
Arcilla	0.75-1.00
Arcilla firme	1.00-1.50
Grava limosa	1.00-1.50
Grava fina	1.50-2.00
Pizarras suaves	1.50-2.00
Grava gruesa	2.00-3.50
Zampeados	3.00-4.50
Rocas sanas y concreto	4.50-7.50

Tabla V.6

Valores máximos de velocidades no erosivas en cunetas.

Pendiente del camino %	Velocidad del agua m/seg	Gasto m <sup>3</sup> /seg
1	0.63	0.11
2	0.89	0.15
3	1.09	0.19
4	1.26	0.22
5	1.41	0.24
6	1.54	0.27

Tabla V.7

Valores del gasto en la cuneta triangular de la Fig. V.10 para distintas pendientes del camino y velocidades del agua.

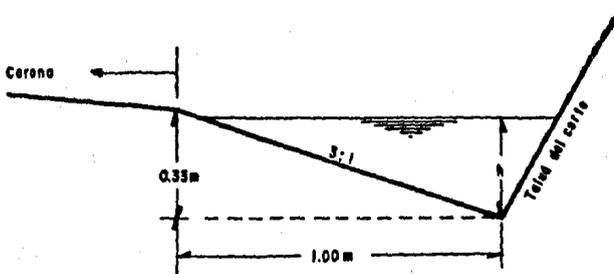


FIG. V.10 Sección triangular típica de una cuneta.

indudablemente también es conveniente que la lámina de agua de referencia quede inclusive bajo el lecho inferior de la Sub-Base para evitar el humedecimiento de ésta, cuando la cuneta no está revestida. La figura V.11a muestra la disposición ideal - respecto a las capas del pavimento en ésta situación. Si la cuneta está revestida y debidamente impermeabilizada, por el contrario no será necesario profundizarla tanto, bastando que quede su lámina de agua bajo el nivel de la base, pues ya no existirá el peligro que el agua colectada invada la Sub-Base. En la figura V.11b se muestra esta situación, considerando la cuneta-revestida.

Las Contracunetas.- Se denomina contracuneta a los canales, excavados en el terreno natural o formados con pequeños bordos, que se localizan aguas arriba de los taludes de los cortes, cerca de éstos, con la finalidad de interceptar el agua superficial que escurre ladera abajo desde mayores alturas, para evitar la erosión del talud y el congestionamiento de las cunetas y la corona de la vía terrestre por el agua y su material de arrastre.

La contracuneta debe conducir el agua captada a cañadas o cauces naturales en que existan obras que crucen el camino y es normal que para evitar el excesivo desarrollo del canal los extremos lleguen a tener pendientes muy considerables, funcionando como auténticos lavaderos.

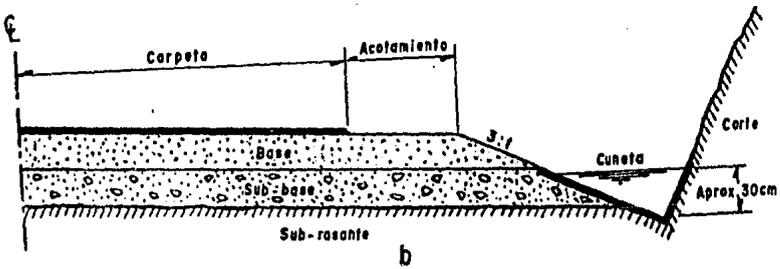
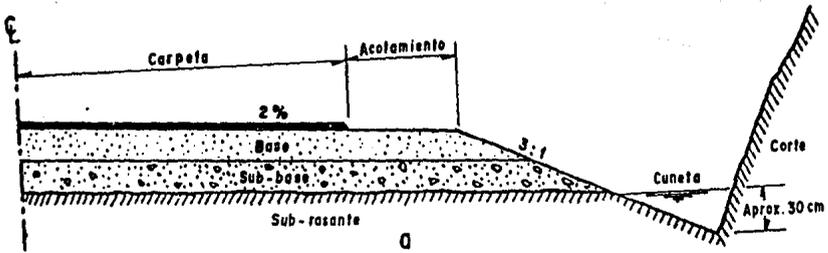


FIG. V.11 Disposición más conveniente de la cuneta, respecto al pavimento. Sección en corte, sin subdrenaje.

La sección del canal está , naturalmente, definida por su capa cidad hidráulica, a su vez, relacionada con la frecuencia e in tensidad de la precipitación pluvial en la zona, el manto del-  
área drenada y las características de dicha área en cuanto a -  
escurrimiento del agua superficial, pero generalmente las con-  
tracunetas suelen dimensionarse por proyecto tipo, formando un  
canal de sección trapezoidal con 60 u 80 cm de plantilla y talu-  
des conformados de acuerdo con la naturaleza del terreno; la -  
profundidad de este canal también está normalmente comprendida  
entre 40 y 60 cm.

En contracunetas no revestidas el talud aguas arriba debe ser-  
más tendido para evitar erosión, pero esta distinción se hace-  
menos necesaria si se usan revestimientos. Cuando se contruyen  
excavando un canal, las cunetas se excavan a mano o con equipo  
ligero (zanjadoras, tractores livianos, conformadoras, etc.);-  
el material producto de la excavación debe de colocarse aguas-  
abajo de ella (por lo menos a 1 m) o lo que generalmente es me  
jor, debe retirarse.

Es norma relativamente común formar las cunetas directamente en  
el terreno natural, sin revestirlas por razones económicas, pe-  
ro puede llegarse a producir en la corona del corte una sección  
en la que se desarrolle una zanja permeable, de tal forma que -  
si el suelo del corte es arcilla relativamente permeable o sue-  
lo contituido por mezclas susceptibles a los cambios de humedad,

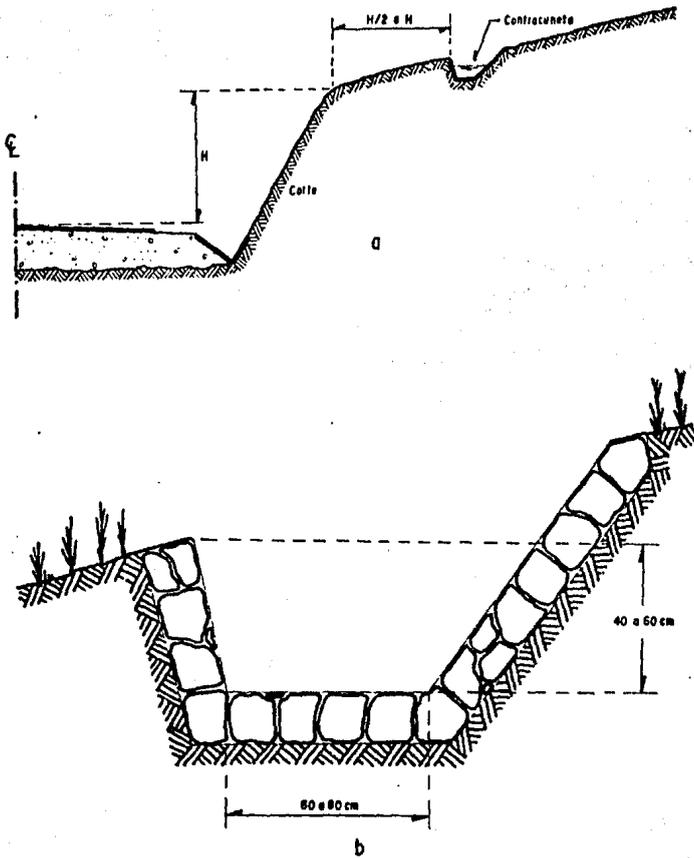


FIG.V.12 Contracuneta típica formada por pequeños bordos.

esta zanja permitirá entrar agua al cuerpo del corte, con posibles consecuencias de derrumbes y el deterioro del pavimento.

Cuando las contracunetas se revisten, suelen usarse los mismos materiales que se mencionaron para el caso de las cunetas, tomando especial atención a los extremos cuya fuerte pendiente - hace que el revestimiento sea más fuerte e indiscutido.

El criterio para definir la necesidad de contracunetas ha de basarse en consideraciones topográficas y de naturaleza de los materiales que formen los cortes, los terraplenes vecinos y el terreno natural en la zona de estudio. Como por ejemplo es conveniente construir contracunetas en aquellos cortes no protegidos por una topografía apropiada, tales como los hechos en las laderas y lomas con pendiente sostenida hacia la vía terrestre, en extensiones grandes, que ofrezcan áreas de captación de lluvia de consideración y, en segundo, en los formados por materiales erosionables.

Canales Interceptores.- Son aquellos que se construyen con fines de encauzamiento de las aguas superficiales que escurrirían hacia la corona de una vía terrestre, causando en ella erosiones o depósitos inconvenientes. Su construcción es frecuente en los casos de escurrimientos por laderas naturales con pendientes hacia la vía o en conexión con la de alcantarillas, sea para llevar a su entrada las aguas que han de cruzarlas. Para controlar la des

carga de las que ya lo hayan hecho.

Estos canales son análogos a las contracuentas sin embargo, esta expresión se reserva para los que, se construyen a distancias relativamente grandes de la vía terrestre y no están específicamente ligadas a un corte en particular, sino que definen un tramo más o menos largo de la vía, independientemente de cual sea la naturaleza de su sección.

Los canales interceptores se construyen por excavación manual con equipo, generalmente ligero, del tipo de máquinas zanjadoras, conformadoras o tractores más ó menos livianos. El material producto de la excavación deberá colocarse siempre aguas-abajo del canal. Los taludes de éste dependerá del material en que se efectúa la excavación y de sus propias dimensiones taludes de 1:1 o 1:1.5 son frecuentes.

Las dimensiones del canal deberán seleccionarse como conclusión de un estudio hidráulico, que podrá llegar a ser de importancia en los casos en que los gastos que hayan de manejarse sean considerables.

La lejanía a que suelen colocarse los canales interceptores respecto a la vía terrestre hace que muchas veces pueda pensarse en construirlos sin revestimiento y ello sin mayor riesgo.

Quando los canales se revisten, se utiliza generalmente la -  
mampostería y, en los casos más importantes, el concreto. Con  
viene que la superficie del revestimiento quede lo más lisa -  
posible, para proporcionar el escurrimiento , aumentando la -  
eficiencia de la obra.

### V.3 DRENAJE SUBTERRANEO

Como ya se mencionó anteriormente, la actitud del Ingeniero en  
relación al agua que se infiltra en el subsuelo y que se afec-  
ta al camino, es tratar de mantener dicha agua alejada de las-  
zonas en que puede hacer daño o cuando esto es inevitable, con  
trolar el agua que entre a las zonas peligrosas por métodos de  
conducción y eliminación, que reciben el nombre genérico de -  
Subdrenaje.

Es preferible, sin embargo, aceptar la presencia de agua subte-  
rránea en estas obras, dado que es muy difícil evitar su acce-  
so aún tomando todas las medidas constructivas para alejarla.-  
Por tal motivo es siempre conveniente dotar a las estructuras-  
terrestres de los caminos, de obras interiores de encauzamien-  
to y eliminación, que proporcionen al agua caminos más fáciles  
por donde ir, pero por los que fluya libremente en forma gravi  
tacional, a las presiones más bajas que sea posible.

Una de las formas para conseguir que el agua fluya libremente-

por el subsuelo sin arrastrar partículas de él, es dotar a la estructura de material denominado filtrante. Existen muchos materiales que pueden ser utilizados para tal misión, pero por razones de economía es predominante la utilización de agregados naturales, del tamaño de la arena y la grava. Estos materiales naturales cuando son de buena calidad son prácticamente indestructibles y eternos, en comparación a la vida útil de la obra; cuando se colocan convenientemente, con los requerimientos de granulometría requeridos, tienen magnífico comportamiento tanto como filtro, como en lo que se refiere a resistencia y compresibilidad.

Además del material filtrante que se coloca para drenar el agua, es muy común que en los sistemas de subdrenaje haya tubería perforada, embebida dentro de material filtrante. El objeto del tubo es evidentemente proporcionar una fácil y rápida conducción al agua y el objeto de las perforaciones es permitir el acceso del agua al interior del tubo. Es la figura V.13 se muestra la forma más recomendable de disponer las perforaciones.

En la mayor parte de las instalaciones de subdrenaje se utiliza tubería de 10 a 20 cm. de diámetro; frecuentemente es tubo de concreto, pero pudiera usarse otros materiales. En algunas instalaciones especiales, de magnitud tal que llega a producir grandes gastos, pudieran llegar a ser necesarios tubos de diámetros mucho mayores. Las perforaciones suelen tener diámetro del orden

de 5 a 10 cms.

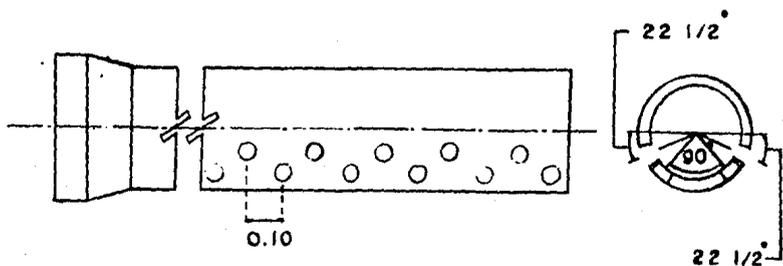


Fig.V.13 Disposición de las perforaciones en tuberías para subdrenaje.

A continuación se mencionan los métodos principales de subdrenaje que se utilizan en caminos, los cuales están enlistados en la forma siguiente:

Capas Permeables en Pavimentos

Drenes Longitudinales de Zanja

Subdrenes Interceptores Transversales

Drenes de Penetración Lateral

Pozos de Alivio

Capas Permeables Profundas con Remoción de Material

## Trincheras Estabilizadoras

### Galerías Filtrantes

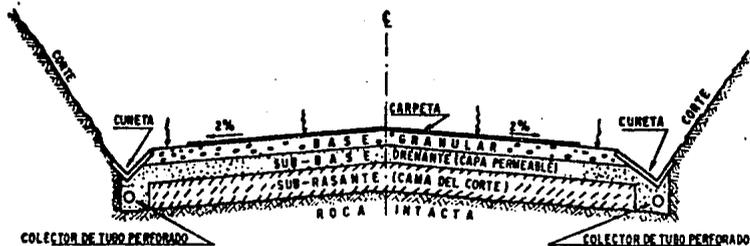
Capas Permeables en Pavimentos.- Son capas de espesor razonable que se colocan abajo de la corona del camino o de la superficie pavimentada y están constituidas por material de filtro, de manera que con ayuda de una pendiente transversal adecuada y de unas correctas instalaciones de salida puedan drenar el agua que se infiltre desde el pavimento, que provenga de los acotamientos de la vía o que ascienda por la subpresión procedente de niveles inferiores.

Muchas veces estas capas drenantes se integran al pavimento, aprovechando que la naturaleza granular de los materiales de filtro los hace muy apropiados para tal función, estructuralmente hablando.

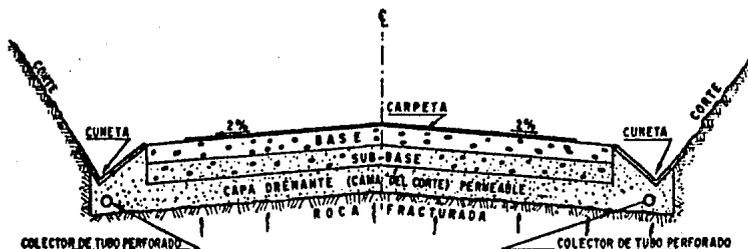
En la figura V.14 se muestra en forma esquemática la utilización de capas permeables para control de infiltración proveniente de la capa superior del pavimento y de ascensión de aguas provenientes de capas inferiores, en la que existe una subpresión.

Estas capas se construyen cuando se prevén grandes cantidades de agua en el terraplén de la carretera y es común emplear espesores de 20 a 30 cm; puesto que espesores mayores repercuten en su costo y con espesores menores disminuirían su capacidad

drenante.



a.- Sub-base utilizada como capa permeable, para interceptar agua proveniente del pavimento.



b.- Sub-rasante utilizada como capa permeable, para interceptar flujo ascendente por sub-presión.

FIG.V.14 Capos permeables.

Drenes Longitudinales de Zanja.- Estos drenes se utilizan muy frecuentemente en laderas inclinadas o en terreno ondulantes y montañosas con el objeto de interceptar y eliminar el flujo de agua hacia la cama de corte del camino y, en menor escala disminuir la zona eventualmente saturada del talud.

También otra utilización muy común de los drenes longitudinales de zanja es abatir el nivel freático por abajo del pavimento, que de otra manera lo anegaría. Esta es una necesidad muy frecuente en terrenos planos con nivel freático muy próximo a -

la superficie.

En la figura V.15 se ilustran tres casos en los que el uso de drenes longitudinales de zanja es necesario.

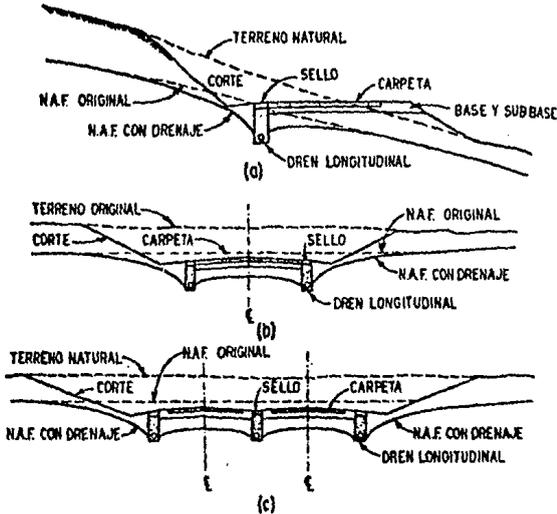


Fig. V.15. Drenes longitudinales de zanja para abatir el N.A.F.

El subdren consiste en una zanja de profundidad adecuada, aproximadamente de 60 cm. de ancho en la base y de 1 a 1.5 m. de profundidad. Está provista de una tubo perforado en su fondo y rellena de material filtrante; el agua colectada por el tubo se desaloja por gravedad a algún bajo o cañada en que su descarga sea inofensiva. Así mismo, es común combinar la acción de estos drenes longitudinales con interceptores transversales.

En la figura V.16 se muestra un croquis del corte de una subdren longitudinal de zanja.

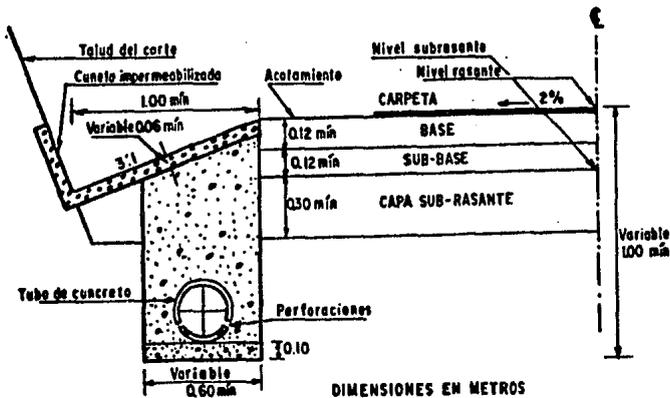


Fig. V.16. Sección transversal de un subdren longitudinal de zanja.

Subdrenes Interceptores Transversales.- Son dispositivos de drenaje análogos en principio a los subdrenes de zanja y lo único que los distingue es la dirección en que se desarrollan, que ahora es normal al eje de la vía terrestre. El caso típico de la instalación de estos subdrenes en carreteras se ilustra en la figura V.17, en la que se muestra una transición de una sección en corte a una sección en terraplén. De no colocar el subdren transversal interceptor podría suceder que el flujo de agua proveniente del corte entrara en el terraplén, provocando en éste asentamientos o deslizamientos.

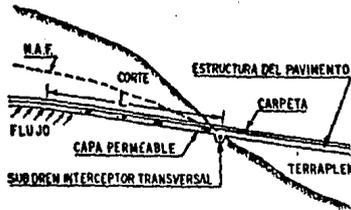


Fig. V.17. Subdrén interceptor transversal.

El efecto del dren interceptor puede incrementarse mucho si en una cierta longitud se coloca una capa permeable drenante a ambos lados del mismo. También es conveniente colocar subdrenes-interceptores en combinación con las longitudes, cuando éstos estén muy separados o haya que abatirse el nivel freático de grandes áreas.

Los drenes interceptores transversales deben de ser capaces de eliminar muy rápidamente las aguas que les lleguen, por lo que en ellos son particularmente críticos los requerimientos de permeabilidad. En la figura V.18 se puede observar otra sección de la colocación de estos subdrenes.

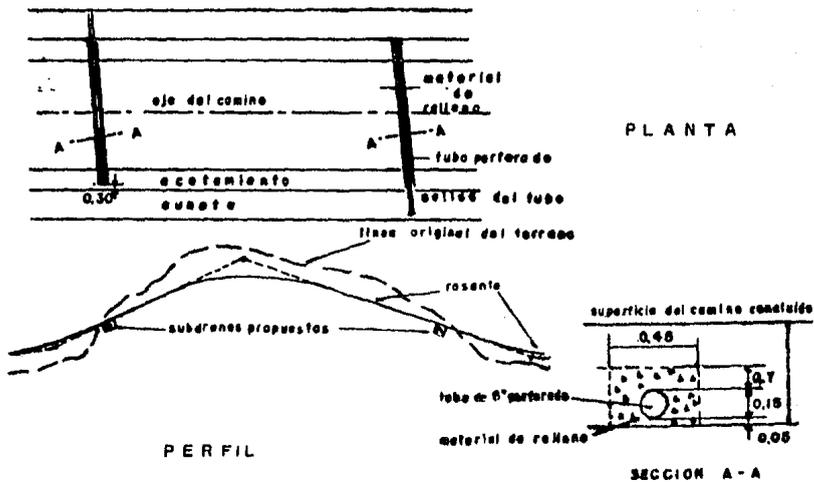


FIG.V.18 Sección de un subdrén interceptor transversal

Drenes de Penetración Transversal.- Son denominados también drenes horizontales; son instalaciones de subdrenaje que responden específicamente a la necesidad de abatir del interior de los taludes del corte las presiones generadas por el agua, que sean susceptibles de provocar la falla del corte.

Consisten en tubos perforados en toda su superficie que penetran en el terreno natural en dirección transversal al eje de la vía, para captar las aguas internas y abatir sus presiones naturales. Se construyen efectuando primeramente una perforación de 7.5 a 10 cm. de diámetro, para lo cual existe la maquinaria apropiada, automática y provista de movimiento propio de avance y retroceso para facilitar las maniobras. Dentro de la perforación se coloca

el tubo perforado de 5cm. de diámetro generalmente, el cual -  
 suele ser galvanizado o tener una película de asfalto como -  
 protección contra la corrosión. El tubo se coloca con una in-  
 clinación hacia la vía comprendida entre, 5% y 20%; siendo la-  
 del 10% una pendiente muy común.

La descarga puede ser libre a la cuneta o en instalaciones im-  
 portantes, a tubos colectores de unos 20 cms. de diámetro. La-  
 parte del tubo perforado del subdren que queda próxima a la sa-  
 lida debe dejarse sin perforar en uno o dos metros, para evi-  
 tar la invasión de la vegetación a través de las perforaciones  
 y la obstrucción del tubo.

La longitud de los drenes varía, según la geometría de la zona  
 en que se instalan; pero por lo común se hacen de 50 ó 70 m.

En las figuras V.19 y V. 20 se muestran esquemas de dichos dre-  
 nes.

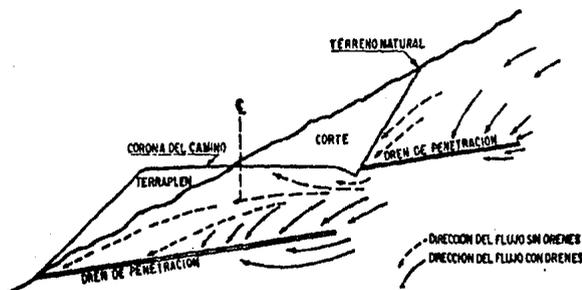


FIG.V.19 Influencia de los drenes transversales de penetración  
 en un corte en balcón.

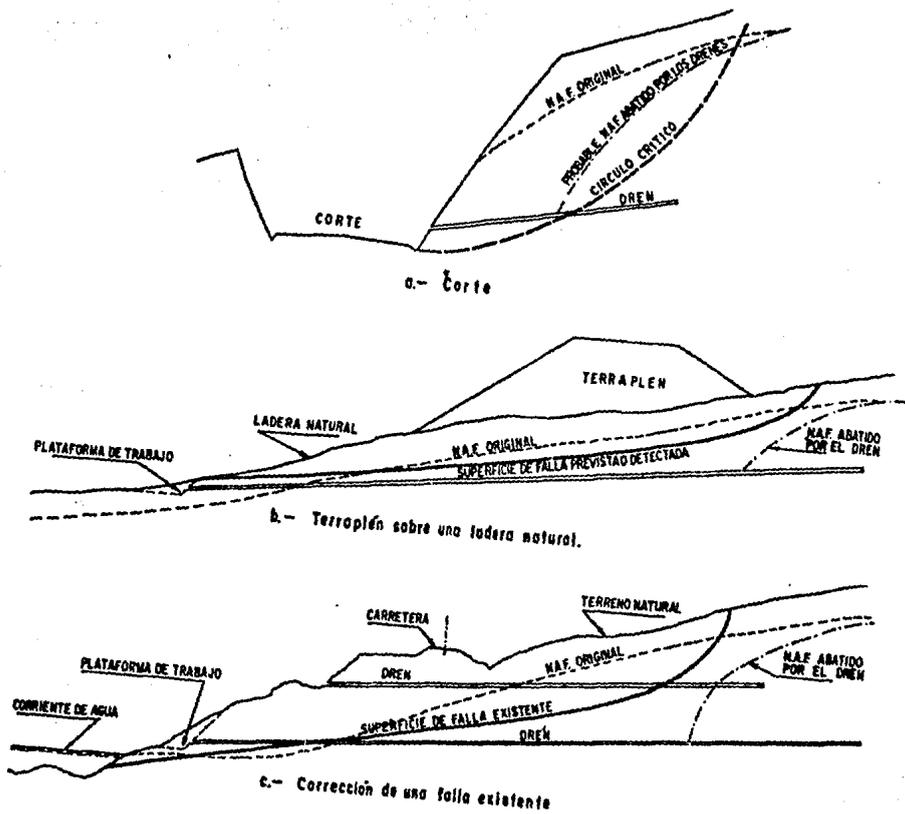


FIG. V. 20 Disposición de drenes transversales de penetración

Pozos de Alivio.- Son relativamente escasos, y consisten en perforaciones verticales del orden de 40 a 60 cm. de diámetro, dentro de las cuales se coloca un tubo perforado de 10 a 15 cm. de diámetro y el espacio anular que queda entre ambos, se rellena con material de filtro. Los pozos se han construido hasta 20 metros de profundidad.

Se colocan de forma tal que capten los flujos perjudiciales, o sea ladera arriba de la zona que se desee proteger. Su misión principal es abatir la presión del agua existente en capas profundas del subsuelo, a las que no es económico llegar por excavación. Los pozos deberán tener un sistema que elimine el agua que drenen, de otro modo sólo serán un alivio transitorio. Su espaciamiento es del orden de 5 y 10 m. Este método es muy costoso y por lo mismo muchas veces no se justifica su construcción donde la perforación sea dificultosa.

En la figura V.21 se muestran pozos de alivio combinados con drenes transversales de penetración.

Capas Permeables Profundas con Remoción de Material.- Cuando baja la zona en que se colocará un terraplén, existe una capa saturada de suelo de mala calidad y de espesor relativamente pequeño (no más de 3 ó 4 m) y debajo de esa capa hay materiales de mucha mejor calidad, puede pensarse en remover totalmente el suelo malo en una faja bajo el camino por construir y en la lon

gitud necesaria.

La excavación para la remoción podrá recubrirse con una capa de 50 cms. o 1 m. de material de filtro, disponiendo la correspondiente tubería perforada de captación y un sistema de desfogue. Posteriormente, la excavación se rellenará con material de buenas características, debidamente compactado. En la figura V.22 se muestra un corte esquemático de esta situación.

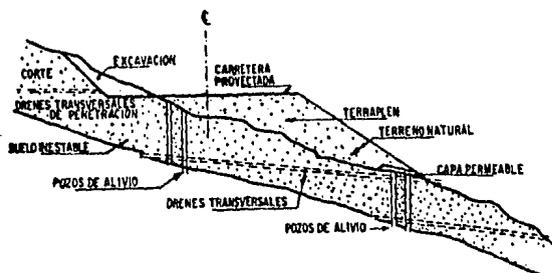
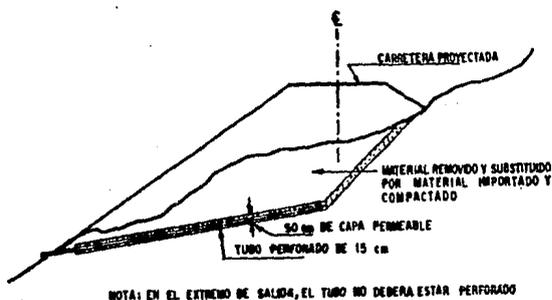


FIG.V. 21 Pozos de alivio combinados con drenes de penetración transversales



NOTA: EN EL EXTREMO DE SALIDA, EL TUBO NO DEBERA ESTAR PERFORADO

FIG.V.22 Remoción de material blando y colocación de una capa permeable bajo terrapienes

La capa drenante colocada evita que el relleno compactado sufra en el futuro los efectos adversos del agua. Adicionalmente, el sistema permite que el terraplén se apoye a fin de cuentas en terreno firme, por lo que la solución puede verse como mixta, entre mejoramiento de terreno de cimentación y subdrenaje.

Trincheras Estabilizadoras.- Es una excavación dotada en su talud aguas arriba de una capa drenante, con espesor comprendido entre 0.50 m. y 1.00 m. de material de filtro y un sistema de recolección y eliminación de agua en su fondo, el cual suele consistir de una capa de material de filtro del mismo espesor arriba citado, dentro de la cual hay tubería perforada (de 15- o 20 cm. de diámetro usualmente, o mayor si se espera gran gasto) para conducir rápidamente el agua captada; ésta última debe conectarse a una tubería de desfogue que lleve el agua a donde sea inofensiva.

El fondo de la trinchera deberá tener el ancho suficiente para permitir la operación eficiente del equipo de construcción, lo cual se logra con unos 4 m.

El material que rellena la trinchera debe ser de buena calidad, generalmente proveniente de préstamos de banco y debe colocarse en una apropiada compactación por capas. De esta manera una trinchera suele mejorar la estabilidad de un terraplén, mejoran

do su apoyo en un suelo más firme y realizando la función drenante que ha sido descrita.

En la figura V.23 pueden observarse algunos tipos de trincheras estabilizadoras.

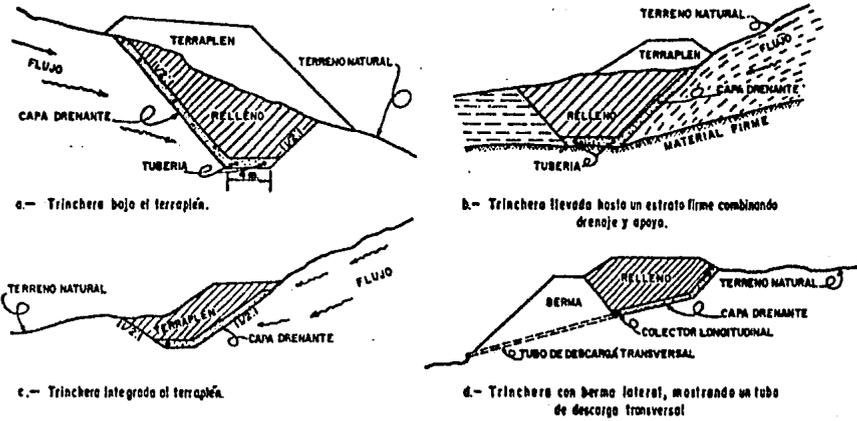


FIG. V.23 Tipos de trincheras estabilizadoras

Galerías filtrantes.- Cuando el agua subterránea se encuentra a una profundidad tal que sea imposible pensar en llegar a ella por métodos de excavación a cielo abierto y prevalezcan condiciones topográficas que hagan difícil el empleo de drenes transversales, se recurre en ocasiones a la construcción de galerías filtrantes.

La galería filtrante es un túnel de sección adecuada para permitir su propia excavación, localizado en donde se juzgue más eficiente para captar y eliminar las aguas que perjudiquen la estabilidad de un talud o de una ladera natural que se use como terreno de cimentación.

Las técnicas de construcción son las correspondientes a cualquier clase de túnel. El revestimiento de la galería, si resulta necesario, debe ser tal que permita un efectivo trabajo como dren; suele revestirse de concreto, mampostería o mixto, dejando abundantes huecos para propiciar la función drenante.- Es bastante común que la galería filtrante se desarrolle por debajo de una superficie de falla previamente formada y en tal caso puede aumentarse mucho la capacidad drenante disponiendo tubos perforados en abanico radial, que lleguen hasta la zona fallada.

El desfogue de la galería puede ser muy sencillo cuando la boca de la galería puede ser drenada por gravedad, pero puede compliarse mucho un caso contrario; hay ocasiones en que ha de recurrirse al bombeo.

En la figura V.24 se muestra un caso típico de una galería filtrante.

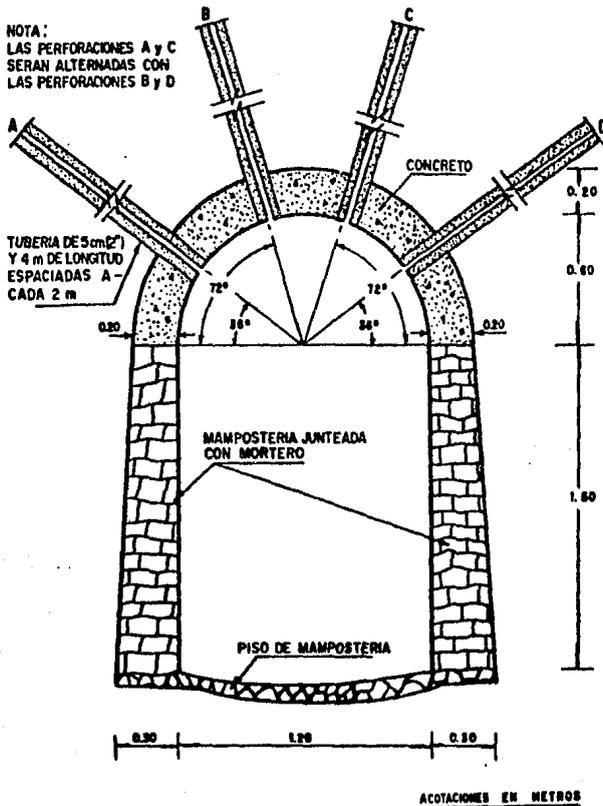


FIG.V. 24 Sección de una galería filtrante

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

## CONCLUSIONES

La construcción de caminos como una obra de Ingeniería Civil requiere de un estudio serio y cuidadoso para poder elaborar un proyecto que cumpla con los lineamientos y especificaciones de las normas sobre las cuales se piensa regir, así como de las disciplinas y especialidades que en ella intervienen. En el proyecto se tratara siempre de encontrar un equilibrio entre las ventajas y desventajas que ofrezca el medio sobre el cual se pretende alojar el camino, buscando sobre todo satisfacer los requisitos de seguridad y comodidad que como vía de comunicación esta obligada a ofrecer.

El tipo de camino se selecciona de acuerdo a los objetivos deseados y con base a esta selección se elaboran los anteproyectos necesarios para encontrar o afinar la mejor solución posible, la que en algun momento determinado no esta exenta de alguna modificación una vez que el proceso de construcción haya empezado. Esto es debido a que por ser obras de longitudes extensas se presentan a menudo dificultades no contempladas con anterioridad y que ocurren durante la construcción de la misma, como suelen ser las condiciones adversas del terreno, derechos de propiedad, fallas geológicas o problemas de acopio de materiales de construcción entre otras.

Por lo general la mayor parte de la información para efectuar la construcción de caminos debe ser recabada en el terreno mismo, salvo aquellos datos hidrológicos y geológicos que pueden existir en forma clasificada por las instituciones correspondientes. En esta obtención de información cuenta mucho la --

experiencia de los ingenieros encargados del reconocimiento terrestre, de la clasificación de terrenos atravesados, y de la localización de los bancos de material, pues son estos aspectos los que determinan el tipo de construcción y la elección de la maquinaria y equipo, que como es lógico, influyen en el costo de la obra.

La información técnica no suele ser de mucho problema dado que un camino al ser proyectado geométricamente, cumple con una serie de condiciones geométricas que están en función de su clasificación y sobre el cual existen parámetros y limitantes bien definidas.

Otro aspecto importante son los movimientos de tierras por que se basa en el uso adecuado de la maquinaria. Los desbroces, cortes, acarreos y rellenos son la parte medular en toda construcción de caminos, de ahí que el éxito o el fracaso de los contratistas sea muy a menudo producto de la selección y de la aplicación correcta o incorrecta de las máquinas dedicadas a esta tarea. Los ciclos de cortes, acarreos y rellenos son funciones que deben estar bien estudiadas para evitar tiempos perdidos; de la misma manera una buena disposición de compensadoras evitara cortes y acarreos inútiles.

Conforme los trabajos de terracerías que se vayan realizando, las instalaciones de drenaje deberán estar ya definidas con antelación puesto que precisamente muchas de estas obras van embebidas en las terracerías, como sucede -- con los sistemas de subdrenaje o de las alcantarillas que resuelven los pasos de agua, que como se vio es necesario construirlas antes, si es que son de mampostería.

Finalmente se le debe de dar un cuidado especial a la compactación de terra  
cerías, dandoles el grado de compactación evaluado en el laboratorio y con-  
el equipo y maquinaria adecuada. Esto proporcionara al camino la resistencia  
óptima y un comportamiento elástico, que se traducira en una mayor vida --  
útil al mismo y a los pavimentos que son los materiales que en principio so-  
portaran las cargas del tránsito y que por consecuencia acusarían los defec-  
tos de una mala compactación.

## B I B L I O G R A F I A

- RICO, R. Alfonso. La Ingeniería de Suelos. en las vías terrestres. 3a. edición. México, Limusa, 1982. 2 Vols.
- RICO, R. Alfonso y Eulalio Juárez B. Mecánica de Suelos. 3a. edición. México, Limusa, 1980. (c 1980) TOMO I
- MONTES DE OCA, Manuel, Topografía. 4a. edición. México, Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A., agosto 1978. - (c 1964) 344 pp.
- SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. Normas para Construcción, Instalación y Servicios Técnicos. ultima edición. - México, Imprecolor, S.A., octubre 1984. 5 TOMOS (Normas de -- Servicios Técnicos).
- AUSTIN BARRY, B. Topografía Aplicada a la Construcción. 2a. - edición. México, Limusa, Marzo 1982. (Biblioteca para la Industria de la Construcción) 342 pp.
- RAYMOND E. Davis. Topografía Elemental. ultima edición. México, C.E.C.S.A, 1963, 500 pp.
- ETCHARREN GUTIERREZ, Rene, Manual de Caminos Vecinales. 2a. edición. México, Asociación Mexicana de Caminos, A.C., y Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A., octubre 1980. 387 pp.
- SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS. Procedimientos de Construcción y sus Costos en las Vías Terrestres. - 1a. edición. México, SAHOP, 156 pp.

- SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS. XII Congreso Mundial de Carreteras, 1a. edición. México, talleres graficos de la nación, - - 1964, 90 pp.
- MOSQUEIRA R. Salvador. Manual de Drenaje de Caminos. 1a edición. México, S.O.P., 1945, 208 pp.
- FACULTAD DE INGENIERIA. Breve Descripción del Equipo Usual de Construcción. Departamento de Construcción, de la Facultad de Ingeniería, U.N.A.M., México, 1971, 185 pp.
- ING. ABURTO VALDES, Rafael. Movimiento de tierras (descripción de maquinaria). Colegio de Ingenieros Civiles de México, A.C., México, junio 1984, 427 pp.
- ING. ABURTO VALDES, Rafael. Apuntes de Explosivos. de la materia construcción pesada; Facultad de Ingeniería, Depto. de -- construcción. U.N.A.M. 49pp.