

19.44
Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

GENERALIDADES AL ESTUDIO
DE CARRETERAS

T E S I S

Que para obtener el título de
INGENIERO CIVIL
P r e s e n t a

JORGE GREGORIO CORTES OSORNIO



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENPA

FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMENES PROFESIONALES
60-1-64 T.E.

A los Pasantes señores JORGE GREGORIO CORTES OSORNIO y
NICOLAS VARGAS PENAFIEL,
P r e s e n t e s .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a ustedes a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Herman Guzmán Méndez, para que lo desarrollen como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

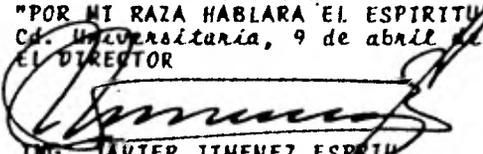
"GENERALIDADES AL ESTUDIO DE CARRETERAS"

Introducción.

1. Generalidades sobre transportes.
2. Elección de ruta.
3. Localización de la línea definitiva.
4. Proyectos de la línea definitiva.
5. Terracerías.
6. Estructuras especiales.
7. Drenaje de caminos.
8. Construcción de caminos.
9. Pavimentos.
10. Maquinaria empleada en vías terrestres.

Ruego a ustedes se sirvan tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberán prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares 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. Universidad, 9 de abril de 1981
EL DIRECTOR


ING. JAVIER JIMENEZ ESPINOSA

JJETOCENT

INDICE

	Pág.
INTRODUCCION -----	1
I. GENERALIDADES SOBRE TRANSPORTES -----	3
II. ELECCION DE RUTA -----	21
III. LOCALIZACION DE LA LINEA DEFINITIVA -----	28
IV. PROYECTOS DE LA LINEA DEFINITIVA -----	39
V. TERRACERIAS -----	84
VI. ESTRUCTURAS ESPECIALES -----	100
VII. DRENAJE DE CAMINOS -----	123
VIII. CONSTRUCCION DE CAMINOS -----	143
IX. PAVIMENTOS -----	161
X. MAQUINARIA EMPLEADA EN VIAS TERRESTRES -----	199
BIBLIOGRAFIA -----	220

INTRODUCCION

Durante esta época se ha podido presenciar indudablemente una de las etapas de mayor progreso científico y técnico de la humanidad, naturalmente que estos avances científicos y técnicos, han permitido incrementar considerablemente la eficiencia en la producción, mejorar la calidad de los bienes y servicios para el uso y consumo de la población y aumentar las comodidades y bienestar que demanda la comunidad, metas que no habria sido posible alcanzar, sino se hubiese ido contando con las obras básicas de infraestructura que proporcionan los insumos y servicios que requiere la producción. Entre estos servicios destaca, por su importancia y dinamismo, el que corresponde a las vías para el transporte de personas y bienes. En nuestro país, las vías terrestres constituyen la espina dorsal del servicio de transporte entre las zonas de producción y las de consumo.

Esta apreciación permite percatarse de la magnitud e importancia que tiene para el desarrollo nacional mantener y mejorar el sistema carretero, por todo lo expresado anteriormente, tanto las autoridades responsables como los técnicos encargados han introducido todos aquellos cambios y mejoras técnicas que propicien un mayor número de kilómetros proyectados por año y que la calidad de los proyectos sea cada vez mas alta con objeto de sa--

dras destinadas a la erección de las piramides.

Con el advenimiento del imperio romano cabe aceptar la introducción de los primeros caminos construidos técnicamente, citando la mundialmente famosa Vía Appia, cuya construcción fue de 5 a 6m. de ancho iniciada por Appius Claudius en el año 312 A.C. La evidencia justifica el conceder el mérito a los romanos por iniciar el método científico de la construcción de caminos. Las culturas antiguas de América, entre ellas la de los Mayas (Posiblemente antes de la era Cristiana) en el Sur de México y Norte de Centroamerica; la de los Toltecas que se establecieron en la Meseta Central, en México por el año de 725; los Aztecas que fundaron Texnochtitlán hoy ciudad de México, en 1325, y los Incas (1100 años A.C. en Perú, dejaron huellas de una avanzada técnica en construcción de caminos, siendo notables los llamados "Caminos Blancos de los Mayas". Estos últimos, formados por terraplenes de 1 y 2m. de elevación, eran cubiertos con una superficie de piedra caliza, cuyos vestigios existen actualmente en Yucatán Mex.

Los Incas en el Perú, realizaron verdaderas obras de ingeniería dada a la accidentada topografía del suelo, para construir caminos que, aunque no destinados al tránsito de vehículos, denotarón un movimiento importante. El imperio Azteca en México, pudo extenderse desde la costa del Golfo de México hasta la zona costera del Pacífico, gracias a rutas

trazadas por los indígenas. Las crónicas españolas de la época de la conquista (1521) mencionan que la Capital Azteca estaba situada en una isla al centro de un lago y que grandes calzadas la comunicaban con tierra firme.

RED CAMINERA NACIONAL.- En México la construcción de caminos puede dividirse en 4 etapas.

- I. Caminos antes de Cortés
- II. Caminos de la Colonia
- III. Caminos desde la independencia a 1910
- IV. Caminos desde 1910 hasta la fecha

En la época pre-cortesiana, los Aztecas y los Mayas fueron los mas adelantados, existían amplios y bien hechos caminos, como las calzadas que cruzaban el gran lago de Texcoco para unir con tierra firme la isla de Tenochtitlán, Capital del Imperio Azteca. O las calzadas de hasta cien kilómetros de largo y nueve metros de ancho, en línea recta, todas empedradas y con obras de arte, que facilitaban el paso por los bosques y pantanos del área Maya. En esta época predominaban los kilómetros de senderos sin mas especificaciones que buscar la distancia mas corta.

A la llegada de los españoles con la introducción de los carros tirados por mulas o caballos hubo que modificar las

características físicas de los caminos, también se abrieron nuevos caminos, se hicieron las rutas a las minas, a la colonización de los desiertos del Norte. Así al final de la colonia se contaba con 7000 Km. de caminos carreteros y 19000 kilómetros de caminos de herradura.

A partir de 1821, en que México se hace independiente, hasta 1867, en que el presidente Juárez destina por primera vez una parte del presupuesto a la apertura y conservación de caminos, no se hacen obras importantes y en 1881 se crea la secretaría de comunicaciones y transportes.

Durante la revolución no se construyen nuevos caminos, en 1925 los automovilistas de México, estaban limitados a transitar únicamente en calles y calzadas urbanas, los caminos carreteros estaban destruidos, difícilmente admitían adaptación. Había que comenzar prácticamente de cero, así el Presidente Calles crea la Comisión Nacional de Caminos y ya en ese mismo año de 1925 se contaba con 250 Km. de caminos pavimentados.

Entre 1925 y 1930 se realizaron los primeros 1420 Kms. de carretera y que el 1% de nuestro territorio quedara vinculado a través del automóvil y el camión.

Entre 1930 y 1940 se agregaron 8500 Kms. de la red -
carretera, con lo que se había comunicado el 9% del territorio
de la nación y se tenía una red de 10000 Kilómetros.

Entre 1940 y 1950 se sumaron a la red carretera 12530
kilómetros, así que para el año de 1950, contábamos con cerca-
de una quinta parte del territorio vinculado a través de los -
vehículos automotrices y 22,000 kilómetros de carreteras.

Para 1960 se había logrado comunicar por automóvil -
el 27% del país. En la década que va de 1950 a 1960 se había -
agregado a la red 22500 kilómetros con lo que para 1960 se dis-
ponía con una red de 45000 kilómetros.

En la década de 1960 a 1970, se suman a la red carre-
tera nacional 26630 kilómetros mas para culminar, en 1970 con-
una longitud total de 71520 kilómetros, con lo que queda comu-
nicado a través del automóvil y el camión, el 31% del país.

En los años de 1970 a 1975, se han agregado a la red-
caminera 113480 kilómetros más para culminar, en 1975 con una-
red total de 185000 kilométrros, con lo que queda comunicado -
por camión y automóvil el 57% del territorio del país.

En los últimos cinco años, que va de 1975 a 1980 se -
han agregado a la red caminera 28,000 kilómetros más para -

culminar en estas fechas con una red total de 213,000 kilómetros con lo que queda comunicado por camión y automóvil el 66% del territorio nacional.

CLASIFICACION DE LAS CARRETERAS.- Antes de entrar a el estudio de las diferentes clasificaciones de las carreteras se definira que un camino o carretera es la faja de terreno acondicionada para el tránsito de vehículos.

Clasificación según su función:

- A) Carretera de función social; es cuando el campo social influye en la construcción de la obra, o sea que existe una fuerte concentración de población y escaso potencial económico, por lo que el criterio de evaluación en estos casos se basa en la relación entre el monto de inversión y el número de habitantes por servir.

- B) Carreteras de penetración económica; es cuando las zonas potencialmente productivas influyen en la construcción de la obra, ya que habrá un rápido incremento de las actividades económicas primero en las primarias y después en las de transformación y servicios, el criterio de evaluación se basa en el cálculo de la productividad que sera agregada a la economía nacional, mediante la construcción de la obra vial considerada. Entonces, el valor de la produc-

ción en cierto año, se relaciona con el costo de la obra y se obtiene, así, un índice llamado de productividad que, aun cuando no expresa un valor absoluto de las ventajas de la inversión, permite comparar distintas inversiones dentro de esa categoría.

La expresión que establece el índice de productividad puede escribirse como sigue:

$$IP = \frac{\sum_{i=1}^n X_i^a P_i}{C}$$

en la que:

- IP = Índice de productividad
- X_i^a = Volumen de la producción del bien i, en el año a, en la zona servida por la obra vial.
- P_i = Precio del bien i
- C = Costo de la construcción de la obra vial

Solo se consideran los productos derivados de las actividades primarias, principalmente agrícolas.

- C) Carreteras en zonas en pleno desarrollo; son aquellas ubicadas en una zona en la que ya existen las vías necesarias para prestar el servicio de transporte y las cuales se desea mejorar o substituir. La consecuencia principal de-

su construcción sera la disminuci3n en los costos de transporte que los usuarios tienen necesidad de afrontar. La posibilidad de cuantificar este ahorro con cierta precisi3n, con base en observaciones directas y en la proyecci3n al futuro, permite compararlo con los gastos que habr3 necesidad de efectuar a lo largo del plazo de previsi3n y establecer un indice de rentabilidad de la inversi3n propuesta. Los beneficios directos cuantificables que aportan a la colectividad estas obras, son los ahorros en costos de tracci3n y en tiempos de recorrido y la supresi3n de perdidas motivadas por los posibles congestionamientos, que se presentarn al rebasarse la capacidad del camino.

El c3lculo del indice de rentabilidad se sintetiza en la siguiente expresi3n:

$$IR = \frac{B_0 + B_1 \frac{1}{1+a} + B_2 \frac{1}{(1+a)^2} + \dots + B_n \frac{1}{(1+a)^n}}{C_0 + C_1 \frac{1}{1+a} + C_2 \frac{1}{(1+a)^2} + \dots + C_n \frac{1}{(1+a)^n}}$$

En la que:

IR = Indice de rentabilidad

B_i = Beneficio total en el a3o i

C_i = Costo Causado por la obra en el a3o i

a = Tasa de actualizaci3n, considerada constante -
en el periodo estudiado.

CLASIFICACION SEGUN SU FINANCIAMIENTO:

a) Carreteras federales, costeadas totalmente por el Gobierno Federal.

b) Carreteras estatales o de cooperación bipartita, - en las cuales el Gobierno Federal coopera con un 50% y el gobierno estatal con el restante.

c) Caminos vecinales o de cooperación tripartita, entre Federación, Estado y Particulares.

d) Carreteras de cuota, a cargo de caminos y puentes federales de ingresos y servicios conexos, la inversión es recuperable a través de cuotas de peaje.

CLASIFICACION SEGUN SU TRANSITABILIDAD:

En general corresponde a etapas de construcción y son:

- a) Camino pavimentado
- b) Camino revestido
- c) Camino de tierra o en terracerías

CLASIFICACION TECNICA OFICIAL:

Toma en cuenta los volúmenes de tránsito sobre el camino y las especificaciones geométricas.

a) Tipo especial; para un tránsito promedio diario superior a 3000 vehículos y un tránsito horario máximo mayor de 360 vehículos.

b) Tipo A; para un tránsito promedio diario de 1500 a 3000 y tránsito horario de 180 a 360 vehículos.

c) Tipo B; para un tránsito promedio diario de 500 a 1500 y tránsito horario de 60 a 180 vehículos.

d) Tipo C; para un tránsito promedio diario de 50 a 500 y tránsito horario de 6 a 60 vehículos.

e) Tipo Brecha; para un tránsito promedio hasta de 50 vehículos y un tránsito horario hasta de 6 vehículos.

CLASIFICACION DE CAPACIDAD:

a) Autopista (de cuatro o mas carriles)

b) Camino de tres carriles

c) Camino de dos carriles

d) Brecha

PLANEACION Y PROGRAMAS DE DESARROLLO. Para realizar una planeación integral debe contarse con una serie muy correcta de datos como económicos, sociales, agrícolas, políticos y de recursos naturales enfocandolos de una manera armónica y -

benéfica para la zona, complementandose con la elaboración de una serie de proyectos que al realizarse produzcan bienestar social y general (caminos, ferrocarriles, escuelas, presas, canales, agricultura etc.).

Por otro lado la planeación vial es el conjunto de proyectos de las comunicaciones que satisfagan las necesidades de una región.

La planeación vial indica cual es la red de comunicaciones necesarias através del tiempo, que clase de vias de comunicación se necesitan, sus características, relaciones entre las diversas vías, cuando es necesario construirlas, en que etapas y por donde deben de empezar a construirse, por lo tanto los encargados de una planeación vial deberán estar informados de todas aquellas planeaciones relativas a la zona o región en estudio.

Entre las diversas fuentes que es necesario consultar para una planeación vial se encuentran:

Diversos mapas de la región en estudio, datos de temperatura, precipitación, humedad, vientos, geológicos, zonas boscosas, tierras cultivables, ubicación de cuencas, zonas mineras, ferrocarriles, puertos, aeropuertos, gasoducto, oleoductos, líneas de transmisión, centrales eléctricas, datos-

económicos, agrícolas, comerciales, pesqueros, petroleros, -
aforos viales.

Estudiando todos y cada uno de los conceptos enumera-
dos anteriormente se determina la conveniencia de construir -
o no una vía carretera.

Toda planeación carretera debe de contar con el si- -
guiente programa:

1. Expansión y mejoramiento de la red de carreteras, vías -
ferreas y aeropuertos.
2. Conservar en buen estado la red carretera existente para -
continuar con un servicio eficaz y permanente.
3. Terminar al ritmo adecuado las obras iniciadas para que -
oportunamente se obtengan los beneficios previstos.
4. Construir nuevas carreteras que sirvan a núcleos de pobla-
ción actualmente incomunicados, y que propicien la incorpo-
ración de zonas capaces de aumentar la producción.
5. Construir obras que mejoren el sistema carretero en zonas-
ya comunicadas como libramientos, acortamientos, autopistas
etc.

EL VEHICULO Y EL CONDUCTOR.- El conocimiento de los-
vehículos modernos es de suma importancia ya que permite fijar
reglamentos, normas y especificaciones de proyecto y construc-
ción para que puedan transitar por los caminos con seguridad,-
economía y rapidez; así como obtener costos de conservación -
y construcción bajos.

En los automóviles y camiones sencillos con 2 ejes -
se emplean sólo 4 llantas, en los de 2.5 Ton. se usan 6 llan--
tas y aquellos camiones de 3 ó 4 ejes se pueden llegar a tener
hasta 14 llantas o más debido a que el peso total que se lleva
debe estar repartido en relación con el área de contacto de -
las llantas con el pavimento.

El conocimiento de los vehículos nos hace saber el -
cálculo de pavimento de las carreteras.

Los vehículos pesados que mas comunmente transitan -
en los caminos federales son los siguientes.

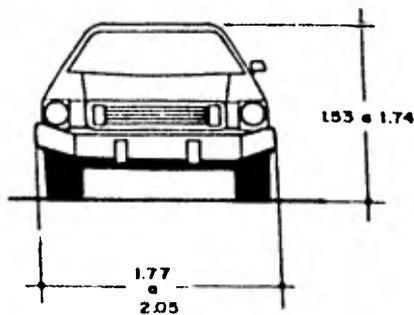
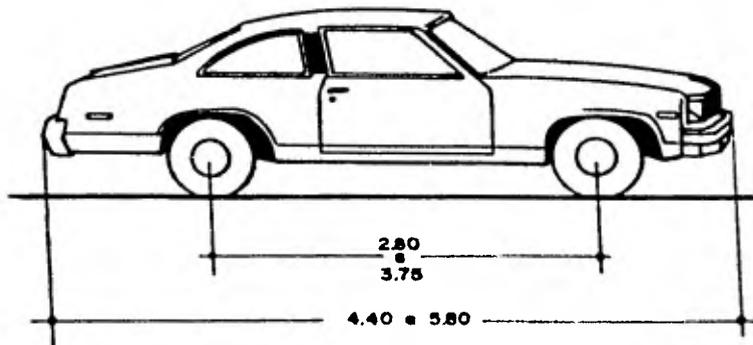
C2	Camión de 2 ejes
C3	Camión de 3 ejes
T2-S1	Tractor de 2 ejes con semi-remolque de 1 eje.
T2-S2	Tractor de 2 ejes con semi-remolque de 2 ejes
T3-S1	Tractor de 3 ejes con semi-remolque de 1 eje
T3-S2	Tractor de 3 ejes con semi-remolque de 2 ejes

C2-R2 Camión de 2 ejes con remolque de 2 ejes

C3-R2 Camión de 3 ejes con remolque de 2 ejes

Es indispensable conocer las dimensiones de los camiones pues es muy común que se necesiten en el proyecto de los elementos geométricos de un camino tales como el ancho de corona, en el ancho de los acotamientos tanto en tangentes como -- en curva.

Dimensiones máximas observadas en los vehículos:



Anchura

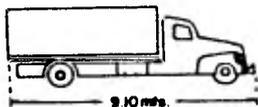
Tomando como vehículos mayores las combinaciones de camión y remolque, las dimensiones de ancho máximo observadas en vehículos cargados son:

Menos de	2.13 a	2.44 a	2.47	TOTAL
2.13 m	2.43 m	2.46 m	o más	
34%	44.9%	11.0%	10.1%	100%

Altura

Menos de	3.82 a	3.96 a	4.12	TOTAL
3.82 m	3.95 m	4.11 m	o más	
99.3%	0.4%	0.2%	0.1%	100%

CAMION UNITARIO



99.0% de estos camiones miden 9.10 mts. de longitud, o menos.

TRACTOR Y SEMI-REMOLQUE

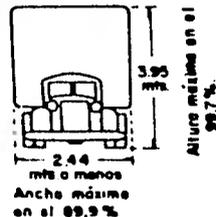


96.2% de estos camiones miden 12.79 mts. de longitud, o menos.

CAMION Y REMOLQUE



95.5% de estas combinaciones miden 18.30 mts. de longitud o menos.



Con base en observaciones y experimentos de orden práctico, a baja velocidad, se tienen los radios mínimos recomendables:

del vehículo y carece de destreza para mezclarlo en la corriente de tránsito.

Reaccionar significa que un mensaje es enviado del ojo al cerebro y este ordena el movimiento a los músculos para accionar.

A medida que un vehículo aumenta su velocidad el conductor sufre visión de tunel, debido a que enfoca a mayor distancia y por lo tanto pierde la facultad de distinguir lo que sucede a su alrededor y no podrá reaccionar de una forma adecuada ante el imprevisto.

La reacción condicionada esta relacionada con el sector de conductores que han desarrollado ciertos hábitos, a las personas que estan acostumbradas a utilizar cierta ruta especial, cierto camino o cierta calle, se les desarrolla un hábito que se convierte en destreza y por lo tanto sus reacciones seran condicionadas.

La reacción psicológica, en cambio, es un proceso intelectual que culmina en un juicio. Se trata de estímulos que son percibidos y enviados al cerebro. Después de obtener una reacción se llega a una decisión para actuar. Son reacciones intelectuales del individuo, pero estan afectadas por las emociones y otras causas que pueden modificar las facultades del mismo.

Los factores que pueden modificar las facultades del individuo en el tiempo de reacción son los siguientes:

1. La fatiga
2. Enfermedad provocada, alcohol, drogas, etc.
3. El estado emocional del individuo
4. El clima
5. La época del año
6. Las condiciones del tiempo
7. La altura del nivel del mar

CAPITULO II

ELECCION DE LA RUTA

Se entiende por ruta la franja de terreno, de ancho variable entre dos puntos obligados, dentro de la cual es factible hacer la localización de un camino, mientras mas detallados y precisos sean los estudios para determinar la ruta, el ancho de la franja será mas reducido.

Una vez justificada la construcción de una nueva carretera en base a la realización de estudios socioeconómicos, es necesario realizar una serie de trabajos preliminares que comprendan el estudio comparativo de todas las rutas posibles y convenientes, para que así seleccionar en cada caso, la que ofrezca las mayores ventajas económicas y sociales. Los siguientes factores tienen un efecto determinante en la localización y en la elección del tipo de carretera y son:

La Topografía.

La Geología.

La Hidrología.

El Drenaje

El Uso de la Tierra.

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

El Ing. localizador debe de contar con cartas Geográficas y Geológicas, sobre las cuales se pueda formar una idea de las características mas importantes de la región, sobre todo en lo que respecta a su Topografía, a su Hidrología y a la ubicación de las poblaciones. Auxiliandose con las cartas Geológicas existentes y con mapas que indiquen la potencialidad económica de la región, se dibujan sobre ella las rutas que pueden satisfacer el objetivo de comunicación deseado.

Especial cuidado debe tenerse en aquellos puntos obligados principales que guien el alineamiento general de la ruta, para ello la ruta en estudio se divide en tramos designados -- generalmente con los nombres de los pueblos extremos que unen o algun otro punto intermedio. Hay dos clases de puntos obligados: Por razones Topográficas como un Puerto en una cordillera o un estrechamiento de un río etc.

Por razones económicas Políticas o Sociales como un Centro de Producción, una Población importante etc.

Una vez representadas las posibles rutas en los mapas Geográficos, se inicia propiamente el trabajo de campo con reconocimientos del terreno los cuales pueden ser Aéreos, Terres

tres y una combinación de ambos.

RECONOCIMIENTO AEREO

Consiste en hacer tres reconocimientos con Avionetas y Helicópteros:

- a) El primer reconocimiento se efectua 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.

Para determinar el área o zona que se debe fotografiar se debe de hacer un reconocimiento en base a los siguiente:

Comprobar si la potencialidad de la zona concuerda -- con la supuesta en los estudios previos, que las poblaciones -- queden dentro de la zona de influencia de las rutas, verificar en el terreno si la ruta marcada en el plano es correcta, comprobar la clasificación general de rocas y suelos, la existencia de fallas y problemas de suelos, observar la Hidrografia -- 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 diferencias 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 efectua en Helicóptero y --
tiene por objeto comprobar en el terreno lo estudiado en --
las fotografías a escala 1:50,000 que se obtubieron del --
primer reconocimiento.

Se comprobara principalmente lo relacionado con los -
cruces de ríos apreciando mejor las características del terre-
no de cimentación y las condiciones hidráulicas en el lugar -
del cruce. Además se podrán obtener datos, el número aproxima-
do 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 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 volúmenes de materiales por mo--
ver en cada una, se elabora un presupuesto aproximado, 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 efec-
tuado en el Balplex y se realiza a lo largo de la poligo--
nal en estudio, se estudia el comportamiento de los ríos -

y de acuerdo con los datos anteriores se fija el lugar donde debe cruzarse.

RECONOCIMIENTO TERRESTRE

Este reconocimiento se hace cuando no es posible realizar el aéreo, y se lleva a cabo después de haber estudiado en las cartas Geográficas las diferentes rutas y estimar las cantidades de obra de cada una de ellas, eligiendo la más conveniente, pues por este procedimiento es poco practico analizar en el terreno todas las alternativas posibles.

Se realiza un estudio Geológico que permita definir las formaciones los contactos, las fallas y las fracturas, se marcan los puntos obligados auxiliados con estudios previos de planeación y las cartas Geográficas.

Una vez que se definieron los puntos obligados, el Ingeniero localizador mediante la brujula se servira para tomar el rumbo general de la línea que va a estudiar así como ríos, cañadas, caminos que pasen por él etc, con el aneroide verificará las cotas de los puntos obligados, puertos orográficos fondo de cañadas etc., con el clisímetro determina las pendientes que tendrá la ruta, con los binoculares podra observar las diferentes formaciones que se atraviezan a lo largo de la ruta y ver si es posible encontrar otros puntos en mejores con

ciones y con una cámara fotográfica, le permitirá contar con fotografías de los sitios que se considere importantes.

Durante el reconocimiento se deberán dejar señales sobre la ruta para que posteriormente puedan ser seguidas por el trazo de la preliminar

RECONOCIMIENTO COMBINADO.

Es una combinación de la terrestre y de la Aérea y se efectúa de la siguiente manera:

- A) Cuando no se dispone de fotografías aéreas en la zona y -- existe la posibilidad de recorrerla en avión o helicóptero este reconocimiento se hace semejante al primer reconoci-- miento del aéreo, con la diferencia de que al volar sobre la zona de las posibles rutas, habrá que definir desde el -- aire las mejores, marcándolas en las cartas Geográficas -- disponibles, para que posteriormente se recorran por tie-- rra siguiendo los procedimientos indicados en el reconoci-- miento terrestre.
- B) Cuando se cuenta con fotografías aérea de la zona y de mo-- mento no es posible continuar con el reconocimiento aéreo, en este caso se hará la fotointerpretación de las fotogra-- fías con que se cuenta, marcando en ellas las diferentes -- rutas posibles, eliminando aquellas que ofrescan menores -- ventajas, seleccionando las mejores. Si la línea llega a --

salirse de las fotografías disponibles, se utilizarán cartas Geográficas para completar lo faltante, a fin de que al efectuar el reconocimiento terrestre se tenga una idea clara de la situación general de la ruta.

La elección de la mejor ruta entre varias posibles es un problema de cuya solución depende el futuro de la carretera. Al comparar las ventajas de las rutas posibles, es preciso hallar el costo aproximado de construcción, operación y conservación, de la vía que se vaya a proyectar y compararlo con los beneficios probables que se deriven de ella, debe considerarse en la evaluación los perjuicios que se ocasionen por la obra. - Una vez establecidas las rutas probables es necesario comparar los costos anuales.

CAPITULO III
LOCALIZACION DE LA LINEA DEFINITIVA

En base a los trabajos realizados en la elección de la ruta o línea preliminar, para completar y definir la línea definitiva se requiere un levantamiento topográfico, ya sea utilizando los métodos convencionales terrestres o empleando las facilidades de la fotogrametría electrónica.

Para elegir el procedimiento a emplearse deben tomarse en cuenta los cuatro factores determinantes:

1. La vegetación
2. La configuración topográfica
3. El plazo de ejecución
4. La accesibilidad a la zona

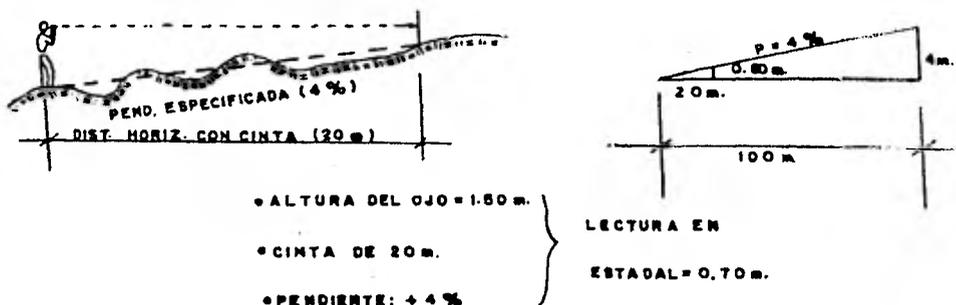
METODO CONVENCIONAL TERRESTRE.- Este estudio se hace por tramos entre puntos obligados consecutivos, siguiendo esta secuela general: Localización de la ruta entre puntos obligados y configuración de una faja de terreno según el eje de la ruta localizada.

En realidad el trabajo de localización comienza desde el establecimiento de los puntos obligados principales. Una vez definidos éstos se procede a la localización de los puntos obligados intermedios, dependientes de los accidentes topográficos, buscando el mejor acomodo en el terreno. Todo esto basado en las pendientes permisibles, alineamiento, economía del trazo, etc.

Una brigada de localización normalmente consta de: un localizador -trazador, un nivelador, un seccionador-dibujante, dos cadeneros, dos estadaleros, dos peones, y el personal auxiliar necesario.

El trabajo sobre el terreno consiste en ir marcando la línea a seguir en la dirección requerida, por los lugares más adecuados, buscando sobre el terreno puntos consecutivos, de tal modo que entre ellos se tenga una pendiente menor o igual a la máxima admisible, lo cual puede hacerse así:

Con el nivel de mano, cinta y estadal, conocida la altura del ojo del observador, se calcula lo que debe leerse en el estadal para que, a la longitud de la cinta, éste suba o baje la altura necesaria según la pendiente que se busque por ejemplo:



Cuando el terreno es muy accidentado donde no se pueda avanzar en tramos de la longitud de la cinta, se puede hacer con distancias horizontales cuales quiera según se pueda y calcular las lecturas correspondientes.

Con clisímetro que es un aparato semejante al nivel de mano pero con el nivel movable, para poder marcar en un círculo graduado el ángulo ó la pendiente que se necesite, y así al centrar la burbúja la visual tendrá la pendiente marcada, no se necesita medir distancias, y en estadal se leerá siempre la misma altura del ojo.

Una vez localizada así una serie de puntos que se vayan dando, la pendiente necesaria de una a otra se tendría, si se le uniera, una línea muy quebrada, que nos marca el camino general que debe seguirse. Pero como no es posible trazar una vía de comunicación según esa línea, debe entonces configu

rarse 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 por la localización encontrada.

La configuración de la faja se hace mediante un polígono de apoyo trazado por donde más convenga, dentro, o a veces fuera de la faja, el cual se nivela de perfil y se obtienen las secciones transversales cada 20 metros (si el terreno es muy uniforme puede seccionarse a cada cuarenta y sesenta metros). A éste polígono de apoyo se le llama preliminar y debe quedar perfectamente referenciada. Para poder después localizarla cuando se regresa al terreno a trazar el proyecto estudiado, para construirlo. El eje definitivo de la vía 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 levantados se dibuja la faja configurada con sus curvas de nivel.

METODO AEREO FOTOGRAMETRICO.- La base de la fotogrametría es la cámara fotográfica la cual es preciso que reúna condiciones especiales para que la perspectiva que se obtenga se acerque lo más que sea posible a la proyección de terreno natural.

Las condiciones de trabajo de los levantamientos fotogramétricos han hecho necesaria la construcción de cámaras especiales para éste fin, las cuales deben de contener los elementos necesarios para reconstruir en forma fija e invariable la perspectiva sobre el plano focal.

En cuanto a la dirección del eje principal las cámaras se pueden clasificar: de eje vertical, de eje horizontal, y de eje inclinado.

Cuando el eje de la cámara es sensiblemente vertical se obtienen fotografías verticales, cuando el ángulo entre el eje óptico y la dirección de la plomada es menor de cuatro grados de la vertical se consideran las fotografías como verticales.

Las cámaras de eje horizontal se utilizan únicamente en fotogrametría terrestre.

Con las cámaras de eje inclinado se obtienen las fotografías oblicuas, cuando el eje óptico de las lentes tiene intencionalmente una desviación angular respecto a la vertical.

Además de éstas cámaras se han ideado los sistemas trimetogón y bimetogón.

La superficie por levantar y la escala de las fotografías que se desean obtener son dos factores determinantes en la planeación de un vuelo para fines fotogramétricos. La superficie cubierta por una fotografía tomada con una cámara de eje vertical está en función de los elementos siguientes:

- f = Distancia focal
- F = Formato
- hv = Altura de vuelo

Como la distancia focal y formato son constantes para una misma cámara se tiene que el área fotografiada es sólo función de la altura de vuelo. La escala de fotografías obtenidas llamada también "Escala de vuelo" se obtiene de la relación.

$$E \text{ media} = \frac{hv}{f}$$

Las vistas en serie de una misma faja se obtienen de tal manera que el área contenida en dos fotografías se superpone y a cada exposición corresponde diferente posición de avión. A ésta superposición se le denomina longitudinal para diferenciarla de la transversal que se tiene entre fotografías de fajas adyacentes.

Para que se tenga la sobre posición longitudinal nece

saría se utiliza el intervalómetro que regula los disparos de la cámara y además determina el viraje o deriva del avión, para que la cámara pueda ser girada, a su correcta posición y tengamos la línea recta teórica del vuelo, a éste caso el instrumento suele llamarse intervalómetro derivarómetro.

Para regularizar la horizontalidad del vuelo se utiliza el altímetro común que resulta afectado por los cambios de temperatura y presión, por lo que se usa el estatoscopio como complemento, el cual permite detectar rápida y sensiblemente pequeñas vibraciones en la altura.

El método fotogramétrico electrónico para el proyecto de caminos, modificado en algunos aspectos para hacerlo más racional, con base en las experiencias obtenidas de su aplicación en nuestro medio y básicamente el proyecto se realiza en tres etapas:

- I. Estudio de rutas
- II. Proyecto preliminar
- III. Proyecto definitivo

- I. Estudio de rutas.- Comprende los trabajos efectuados en la elección de rutas vistos en el capítulo anterior.

II. Proyecto preliminar. Tiene como finalidad la obtención de la mejor línea de anteproyecto, a través de los conceptos siguientes:

- A. Fotografía area a escala 1:25 000
- B. Apoyo terrestre y aéreo triangulación
- C. Anteproyecto a escala 1:5 000 en balplex

La fotografía aérea a escala 1:25 000 consiste en que las líneas de vuelo se marcan sobre mosaicos fotográficos elaborados con el vuelo previo a escala 1:50 000, centrandolas a las líneas de ruta por estudiar.

Las principales especificaciones para éste vuelo son:

Sobre posición longitudinal 60 a 80%, sobre posición transversal 20 a 30%, deriva máxima 4°, balanceo máximo 3°, cabeceo máximo 3°.

El apoyo terrestre para aerotriangulación consiste generalmente en figuras de triangulación o poligonales, situadas a cada extremo de tramo aerotriangulación, aisladas planimetricamente pero ligadas en nivel o ligadas planimétrica o altimétricamente, mediante lados largos de poligonal y nivelación trigonométrica.

El apoyo terrestre se proyecta en las oficinas y es ejecutado por brigadas de control terrestre, cada una de las cuales consta de dos ingenieros, tres auxiliares técnicos, un chofer y siete peones en promedio. El equipo principal de cada brigada está constituido por: dos tránsitos de un segundo de lectura, equipo de poligonación, tres niveles automáticos, dos estaciones de telurómetro MRA-3 y dos estaciones de radio-receptor transmisor portátiles.

El apoyo terrestre se calcula con el auxilio de las computadoras electrónicas, obteniendo finalmente las coordenadas de los puntos de control que sirven para el desarrollo de la aerotriangulación.

La aerotriangulación se efectúa en autógrafo A-7 ó en triangulador Balplex, en el primer caso las compensaciones son analíticas y puede obtenerse mayor precisión que en el balplex, en el que las compensaciones se hacen gráficamente.

Para el anteproyecto a escala 1:5 000 se cuenta con equipos balplex 760 de tres proyectores el cual es ideal para interpretar el terreno, esbozar trazos, restituir lo necesario y leer con seguridad los perfiles de las diferentes alternativas, todo lo cual no es posible con los planos topográficos únicamente. Con la fotografía a escala 1:25 000, en este equipo se obtienen la restitución y la maqueta estereoscópica de anteproyecto a escala 1:5 000.

El anteproyecto debe afinarse al máximo para simplificar las siguientes etapas del proyecto; así, si este se sigue con brigadas de localización, o si se sigue por fotogrametría, bastará el trazo de la poligonal de referencia y el vuelo a escala 1:5 000 para elaborar los planos y efectuar las demás mediciones necesarias para el proyecto definitivo.

III. Proyecto definitivo. Se obtiene primero con un apoyo terrestre, poligonal de referencia el cual consiste en que los vértices de ese apoyo se sitúan alternativamente a los lados de la línea de anteproyecto, fuera de los cerros (como máximo a 50m. del centro de la línea) y distantes entre sí hasta cuatrocientos metros, la brigada de control se dedica previamente a señalar todos los vértices de la poligonal y los ángulos se miden con tránsito de un segundo de lectura y se controlan con orientaciones astronómicas.

Fotografía aérea a escala 1:5000.- Cuando la brigada a terminado el señalamiento del control se ejecuta el tercer levantamiento aerofotográfico, el que se proyecta en mosaicos fotográficos a escala 1:25 000 y consiste en líneas de vuelo centradas sobre las líneas de anteproyecto.

Las especificaciones para este vuelo fotográfico son las mismas del vuelo a escala 1:25 000.

Restitución de planos para proyecto definitivo, se hace en autografo A-8, generalmente a escala 1:2 000 con equidistancia vertical de dos metros, sin embargo, en algunos casos conviene restituirlos a escala 1:1000 para curvas de nivel a cada metro, sobre todo cuando se atraviesa zonas urbanizadas o de topografía muy accidentada. Esta escala también permite un mejor estudio del drenaje, inclusive la ubicación de los ejes de las obras.

El ancho de faja a restituir depende de la seguridad que se tenga de la posición de la línea de anteproyecto, sin embargo generalmente son suficientes para el proyecto del trazo unos doscientos metros a cada lado de la citada línea.

Una vez situada la línea definitiva se inicia la etapa del proyecto que con estudios precisos permiten definir las características geométricas del camino, las propiedades de los materiales que lo formarán y las condiciones de las corrientes que cruza.

Buscando la mayor economía posible en la construcción de la carretera, se procede al cálculo de los movimientos de terracerías por medio del diagrama denominado curva masa, asimismo se dan los procedimientos que deben seguirse durante la construcción.

CAPITULO IV
PROYECTOS DE LA LINEA DEFINITIVA

VELOCIDAD.- Su importancia como elemento básico para el proyecto, queda establecida por ser un parámetro en el cálculo de la mayoría de los demás elementos de proyecto.

Los factores que afectan la velocidad, son las limitaciones del conductor, las características de operación del vehículo, la presencia de otros vehículos, las condiciones ambientales, y las limitaciones de velocidad establecidas por dispositivos de control. Estos mismos factores hacen que la velocidad de cada uno de los vehículos varía a lo largo del camino. Esta disparidad en la velocidad ha conducido al uso de velocidades representativas; frecuentemente la velocidad representativa es la velocidad media.

La velocidad de proyecto, es la velocidad máxima a la cual los vehículos pueden circular con seguridad por un camino y se utiliza para determinar los elementos geométricos del mismo.

La selección de la velocidad de proyecto está influi-

da principalmente por la configuración topográfica del terreno, el tipo de camino, los volúmenes de tránsito y el uso de la tierra. Una vez seleccionada, todas las características propias del camino se deben condicionar a ella para obtener un proyecto equilibrado.

Al proyectar un tramo de un camino es conveniente, aunque no siempre factible, suponer un valor constante para la velocidad de proyecto.

Los cambios en la topografía pueden obligar a ser cambios en la velocidad de proyecto en determinados tramos.

Cuando el caso sea el anterior, la introducción de una velocidad de proyecto mayor o menor no se debe efectuar re pentinamente, sino sobre una distancia suficiente para permitir a los conductores cambiar su velocidad gradualmente, antes de llegar al tramo del camino con distinta velocidad de proyec to.

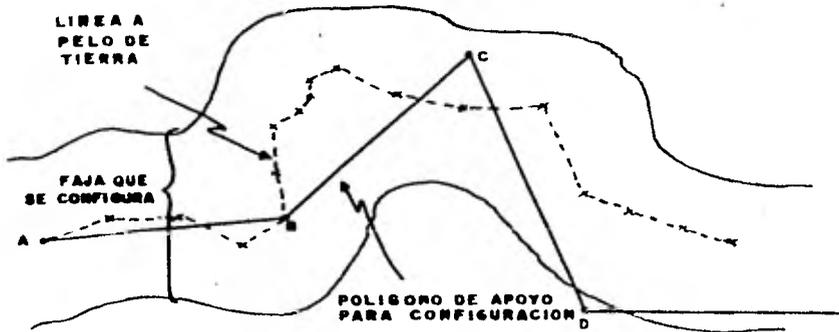
Se llega a la conclusión que donde los elementos físicos del camino son el principal control de la velocidad y donde la mayoría de los conductores estén condicionados a operar casi todo el tiempo bajo los límites de velocidad comunes y únicamente un porcentaje pequeño de los conductores operan sus vehículos a velocidades mayores, cuando el volumen es bajo y

todas las demás condiciones son favorables.

PROYECTO EN LA PLANTA DEL EJE DEL CAMINO. Lo que en el terreno se puede hacer con un clisímetro para llevar una línea con una pendiente dada llamada línea a pelo de tierra, puede hacerse en un plano utilizando un compás de puntas. 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 a esos puntos tenga la pendiente deseada.

Si se supone una equidistancia en el plano entre curvas de nivel de dos metros y una pendiente de seis por ciento; cada vez que se pase de una curva a otra se subirán o bajarán dos metros; por lo tanto la abertura entre las puntas del compás será igual $2/6$, o sea 33.33 metros. Con la misma escala conque está dibujado el plano se separan las puntas del compás y partiendo del punto inicial, se procede ascender o descender brincando de curva en curva. La unión de éstos puntos daría una línea quebrada que es la base para proyectar el trazado 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 posible lograr ésto, pero se procurará compensar a izquierda y derecha de la línea de proyecto la imaginaria del trazo a pelo de tierra para lograr una primera com

pensación longitudinal. 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.



LINEA A PELO DE TIERRA.- Es la línea quebrada que une la serie de puntos y va dando una pendiente necesaria de uno a otro, y nos marca el camino general que debe seguirse.

FACTORES QUE INFLUYEN A FORZAR UNA LINEA.- Una vez clasificada la vía y fijadas sus especificaciones se debe buscar una combinación de alineamientos que se adapten al terreno, planimetría y altimetría y cumplan los requisitos establecidos, entre estos factores se pueden citar:

- a) Requerimientos del derecho de vía.
- b) División de propiedades
- c) El efecto de la vía proyectada sobre otras existentes.

- d) Los cruces con ríos
- e) Intersección con otras vías
- f) Naturaleza geológica de los terrenos
- g) Previsiones para un buen drenaje

Alineamiento Horizontal

- a) La seguridad al tránsito
- b) La topografía condiciona el grado de curvatura y -
velocidad de proyecto
- c) La distancia de velocidad
- d) El alineamiento debe ser tan direccional como sea -
posible
- e) Curvatura máxima solo para velocidades determinadas
- f) Alineamientos uniformes sin quiebres bruscos
- g) Terraplenes altos y largos solo en curvas suaves -
y líneas rectas
- h) Evitar curvas inversas pues presentan cambios de -
dirección rápidos
- i) Evitar curvas sucesivas en la misma dirección cu
do existan tangentes cortas entre ellas
- j) Evitar tangentes muy largas
- k) Coordinación con el alineamiento vertical

Alineamiento Vertical

- a) La topografía del terreno influye al definir la -

subrasante en terreno plano la define el drenaje, en lo merio -
la sub-rasante es ondulada por costos y operación.

- b) La sub-rasante no debe tener cambios bruscos de -
pendiente.
- c) Evitar vados en curvas muy cortas
- d) Evitar curvas verticales sucesivas
- e) Hacer un perfil escalonado
- f) Hacer carriles adicionales en tramos con pendiente
sostenida
- g) Disponer tramos con pendientes fuertes sostenidas-
al principio cuando se trata de salvar desniveles apreciables.

ALINEAMIENTO HORIZONTAL.- Las tangentes son la pro--
yección sobre un plano horizontal de las rectas que unen las -
curvas. Al punto de intersección de la prolongación de dos -
tangentes consecutivas se le representa como PI, y al ángulo -
de deflección formado por la prolongación de una tangente y la
siguiente se le representará por Δ .

Como las tangentes van unidas entre sí por curvas, la
longitud de una tangente es la distancia comprendida entre el-
fin de la curva anterior y el principio de la siguiente.

La longitud máxima de una tangente por la inseguridad
que produce al conductor, por tal razón conviene limitar esta-

longitud, proyectando en su lugar alineamientos ondulados con curvas de gran radio.

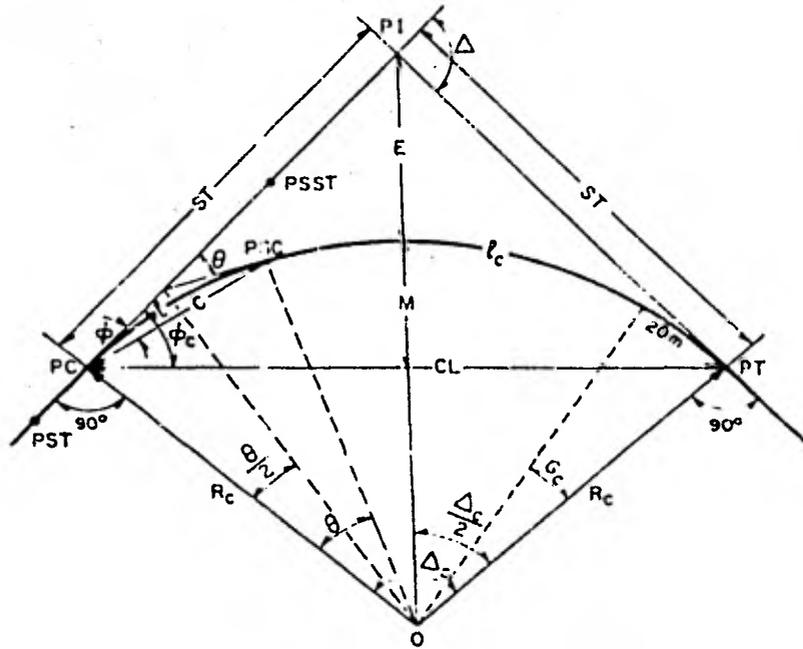
La longitud mínima de tangente entre dos curvas consecutivas está definida por la longitud necesaria para dar la sobre elevación y ampliación a esas curvas.

Las curvas circulares son los arcos de círculo que forman la proyección horizontal de las curvas empleadas para unir dos tangentes consecutivas; las curvas circulares pueden ser simples o compuestas, según se trate de un solo arco de círculo o de dos o más sucesivos, de diferente radio.

A) Curvas circulares simples. Cuando dos tangentes - están unidas entre sí por una sola curva circular ésta se denomina curva simple. En el sentido del cadenasamiento las curvas simples pueden ser hacia la izquierda o hacia la derecha.

Las curvas circulares simples tienen como elementos - característicos los mostrados en la siguiente figura:

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



- PI Punto de intersección de la prolongación de los tangentes
 PC Punto en donde comienza la curva circular simple
 PT Punto en donde termina la curva circular simple
 PST Punto sobre tangente
 PSST Punto sobre subtangente
 PSC Punto sobre la curva circular
 O Centro de la curva circular
- Δ Angulo de deflexión de las tangentes
 Δ_c Angulo central de la curva circular
 θ Angulo de deflexión a un PSC
 φ Angulo de una cuerda cualquiera
 φ_c Angulo de la cuerda larga
 G_c Grado de curvatura de la curva circular
- R_c Radio de la curva circular
 ST Subtangente
 E Externo
 M Ordenada media
 C Cuerda
 CL Cuerda larga
 l Longitud de un arco
 l_c Longitud de la curva circular

ELEMENTOS DE LA CURVA CIRCULAR SIMPLE

1. Grado de curvatura. Es el ángulo subtendido por un arco - de 20 metros, se representa con la letra G_c .

$$\frac{G_c}{20} = \frac{360^\circ}{2\pi R_c} \qquad G_c = \frac{1 \ 145.92}{R_c} \dots \dots \dots (1)$$

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

2. Radio de la curva. Es el radio de la curva circular y se simboliza como Δc de la expresión 1 se tiene:

$$R_c = \frac{1 \ 145.92}{G_c} \dots \dots \dots (2)$$

3. Ángulo central. Es el ángulo subtendido por la curva circular. Se simbolizá como R_c , en curvas circulares simples es igual a la deflexión de las tangentes.

4. Longitud de curva. Es la longitud del arco entre el PC y el PT y se representa como l_c .

$$\frac{l_c}{2\pi R_c} = \frac{\Delta c}{360^\circ} \qquad l_c = \frac{\pi \Delta c}{180^\circ} R_c$$

Pero teniendo en cuenta la expresión 2 se tendrá:

$$l_c = 20 \frac{\Delta c}{G_c} \dots \dots \dots (3)$$

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

$$St = Rc \tan \frac{\Delta c}{2} \dots \dots \dots (4)$$

6. Externa. Es la distancia mínima entre el PI y la curva y -
se representa con la letra E, en el triángulo rectángulo -
PI-O-PT, se tiene:

$$E = Rc \sec \frac{\Delta c}{2} - Rc = Rc (\sec \frac{\Delta c}{2} - 1) \dots \dots \dots (5)$$

7. Ordenada media. Es la longitud de la flecha en el punto -
medio de la curva. Se simboliza con la letra M. del trián-
gulo rectángulo PI-O-PT se tiene:

$$M = Rc - Rccos \frac{\Delta c}{2} = Rc \text{ sen ver } \frac{\Delta c}{2} \dots \dots \dots (6)$$

8. 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 le representa como θ . Se pue-
de establecer:

$$\frac{\theta}{1} = \frac{Gc}{20} \quad \theta = \frac{Gc1}{20} \dots \dots \dots (7)$$

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

$$C = 2Rc \operatorname{sen} \frac{\theta}{2} \dots \dots \dots (8)$$

Para la cuerda larga:

$$CL = 2Rc \operatorname{sen} \frac{\Delta c}{2} \dots \dots \dots (8')$$

10. Angulo de la cuerda. Es el ángulo comprendido entre la prolongación de la tangente y la cuerda considerada, se representa como ϕ . En el triángulo PC-O-PSC.

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

Y teniendo en cuenta la expresión 7.

$$\phi = \frac{Gc1}{40} \dots \dots \dots (9)$$

Para la cuerda larga:

$$\phi_c = \frac{Gc1c}{40}$$

Ejemplo de una curva circular simple con los siguientes datos.

$$\Delta = 82^\circ 24' \text{ derecha}$$

$$G = 5^\circ$$

$$P.L = 10 + 408.90$$

$$R = \frac{1145.92}{5} = 229.184\text{m.}$$

$$L.C = \frac{20\Delta}{C} = \frac{20 \times 82.40^\circ}{5} = 329.60$$

$$ST = R \cdot \text{TAN} \cdot \frac{\Delta}{2} = 229.184 \times \text{TAN} 41^\circ 12'$$

$$ST = 229.184 \times 0.8743 = 200.635\text{m}$$

$$\text{CAD P.C.} = \text{CAD. P.T.} - ST$$

$$\text{CAD P.C.} = 10 + 408.900 - (0 + 200.635) = 10 + 208.27$$

$$\text{CAD. P.T.} = \text{CAD. P.C.} + L.C.$$

$$\text{CAD. P.T.} = 10 + 208.265 + (329.60) = 10 + 537.87$$

Para el cálculo de las deflexiones usando cuerdas de 20m cuando se tiene una curva de radio pequeño se usan cuerdas de 10 ó 5 m.

Deflexión por cuerda de 20 metros

$$S_{20} = \frac{G}{2} = \frac{5}{2} = 2^\circ 30'$$

Deflexión por metro

$$S_m = 1.5g = 7' 30''$$

Calculamos la deflexión de la primera estación cerrada o sea La 10 + 220

$$\text{Def.} = 20 + 220 - (10 + 208.27) \times 7.5' = 1.28^\circ$$

Las deflexiones de las estaciones siguientes sumando sucesivamente la deflexión por 20 mts. hasta llegar a la estación 10+520 y la deflexión del P.T. se calcula de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{DEFL. P.T.} &= \text{DEFL. (10+520)} + 10 + 537.87 - (10-520) 7.5' = \\ &= \text{DEFL. (10+520)} + 2^\circ 14' \end{aligned}$$

Este valor debe ser igual a : $\frac{\Delta}{2}$

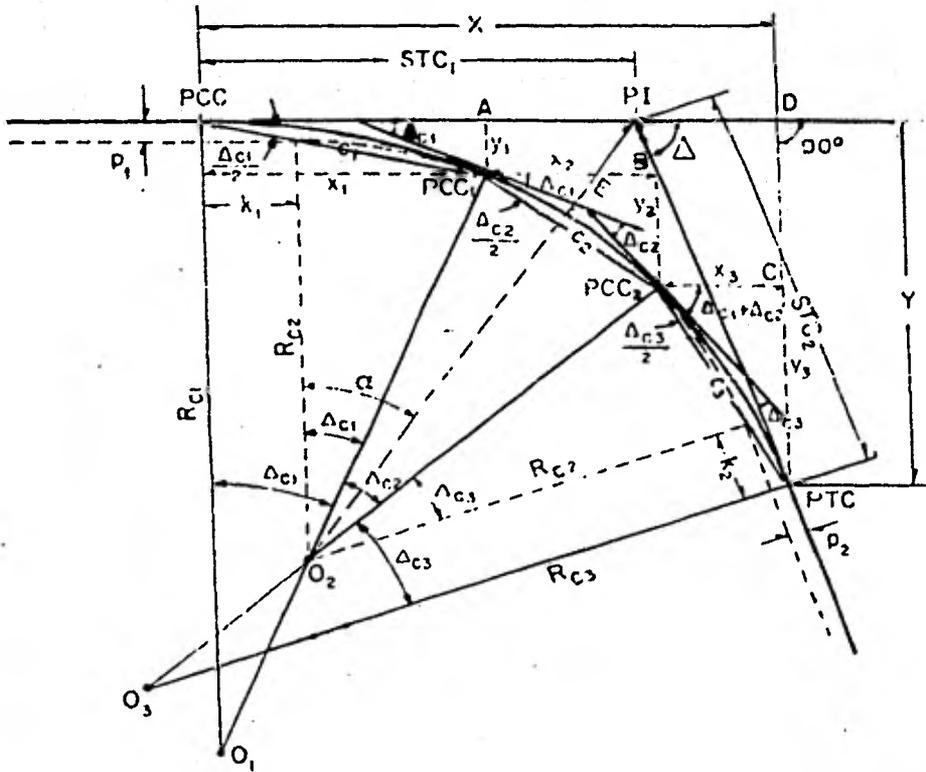
REGISTRO

ESTACION	P.V.	DEFLEXION		
P.T. = 10+537.87		41° 12'	= $\frac{\Delta}{2}$	
	+520	38° 58'		
	+500	36° 28'		
	+480	33° 58'		
	+460	31° 28'		
	+440	28° 58'		
	+420	26° 28'		
	+400	23° 58'		
	+380	21° 28'		
	+360	18° 58'		
	+340	16° 28'		
	+320	13° 58'		
	+300	11° 28'		
	+280	8° 58'		
	+260	6° 28'		
	+240	3° 58'		
	+220	1° 28'		
P.C. = 10+208.27				

B) Curvas circulares compuestas. Son aquellas que -
están formadas por dos o mas curvas circulares simples del -
mismo sentido y de diferente radio, o de diferente sentido y -
cualquier radio, pero siempre con un punto de tangencia comun-
entre dos consecutivas. Cuando son del mismo sentido se llaman
compuestas directas y cuando son de sentido contrario, compues-
tas inversas.

En cambio debe evitarse este tipo de curvas, porque -
introducen cambios de curva peligrosos; sin embargo, en inter-
secciones pueden emplearse siempre y cuando las relaciones en-
tre dos radios consecutivos no sobrepase la cantidad de 2.0 -
y se resuelva satisfactoriamente la transición de la sobreele-
vación.

Los principales elementos de la curva circular compues-
ta se ilustran con una curva de tres centros como se muestra -
en la figura.



- PI Punto de intersección de las tangentes
 PCC Punto donde se inicia la curva circular compuesta
 PTC Punto donde termina la curva circular compuesta
 PCC₁, PCC₂ Puntos de curvatura compuesta, o según los puntos en donde termina una curva circular simple y empieza otra
 O₁, O₂, O₃ Centros de las curvas circulares simples que integran la curva circular compuesta

- Δ Angulo de deflexión entre las tangentes
 Δ_{c1}, Δ_{c2}, Δ_{c3} Angulos centrales de las curvas circulares simples
 R_{c1}, R_{c2}, R_{c3} Radios de cada una de las curvas circulares simples
 STC₁, STC₂ Subtangentes de la curva circular compuesta
 P₁, P₂, k₁, k₂ Desplazamientos de la curva central para curva compuesta de tres centros

FIGURA.— ELEMENTOS DE LA CURVA CIRCULAR COMPUESTA

Para el cálculo se utilizan los elementos de las curvas circulares simples que la integran y los resultados obtenidos pueden extrapolarse para curvas de más de tres centros.

Operaciones que se hacen para trazar una curva circular: Se centra el tránsito en el PC y después de nivelado se visa con 0 el PI o bien el punto anterior sobre la tangente, pero visando en sentido inverso.

Se pone la primer deflexión y se mide la distancia correspondiente a la primera estación sobre dicha deflexión.

Se pone la siguiente lectura y desde el punto anterior se miden 20 metros hasta que el cadenero de adelante esté en la dirección del anteojo y así sucesivamente.

En curvas de una longitud considerable, es conveniente trazarlas en ambos sentidos, es decir, a partir del PC se traza hasta la mitad de la misma y a partir del PT la otra mitad.

Cuando el tránsito se centra en el PT para trazar la curva, se visa el PI estando el limbo marcando el $\frac{\Delta}{2}$ y se van marcando las lecturas que marca el registro correspondiente, esto es que las mismas deflexiones nos sirvan para trazarla desde el PC o PT (e inclusive desde cualquier punto interme--

dio, como veremos más adelante), teniendo unicamente en cuenta que cuando se encuentre centrado el aparato en el PC y visado el PI, el limbo debe de estar en ceros y cuando se encuentre el tránsito centrado en el PT y visado el PI el limbo deberá marcar. $\frac{\Delta}{2}$

Cuando no se tiene visibilidad para trazar la curva del PC o del PT, es necesario centrar el aparato en puntos intermedios, (de preferencia en estación cerrada). Al centrar el aparato en puntos intermedios, se visa en posición inversa el PC estando el limbo en ceros se da vuelta de campana y se continua trazando la curva con las mismas deflexiones anotadas en el registro.

No es necesario visar el PC sino que se puede visar cualquier otro punto de la curva, haciendo unicamente que el limbo marque la deflexión que le corresponda al punto que se está visando.

CURVAS DE TRANSICION O ESPIRALES.- El objeto fundamental que se persigue con el trazo de las curvas de transición es pasar gradualmente de la tangente a la curva circular. En el caso que hemos considerado ligamos dos tangentes con un arco de curva simple, lo que quiere decir que en el PC y en el PT hay un paso brusco. En la tangente teníamos un radio infinito y de ahí pasamos al radio de curvatura que es un número -

finito de metros ocurriendo todo en un solo punto.

El paso brusco de las tangentes a las curvas, tiene muchos inconvenientes, porque en las curvas es preciso dar cierta sobreelevación al lado exterior para contrarestar la fuerza centrífuga y esa sobreelevación no puede darse bruscamente.

La variación gradual del radio simultáneamente con la de la sobreelevación hace que se contrareste efectivamente la fuerza centrífuga que es función inversa del radio.

En la tangente tenemos 0° de curvatura y supongamos que en la curva principal tenemos 10° de curvatura, es conveniente que exista una transición de 0° a 10° .

La curva espiral es una curva cuyo radio y cuya curvatura van variando gradualmente punto por punto. Desde luego que en el terreno trazamos una curva que si bien es cierto no cumple matemáticamente con su definición, en realidad en lugar de hacer que la variación de la curvatura sea continua, la hacemos variar por escalones por decir, tal como se haría cuando al tratar de salvar una diferencia de niveles no se construyera una rampa sino una escalera.

Si pasamos de la tangente a la curva por escalones,

simplemente trazamos arcos de longitud constante y curvatura - creciente y el problema cae dentro del método que para el trazo de curvas circulares hemos expuesto, porque se tendrán tramos de curvas simples.

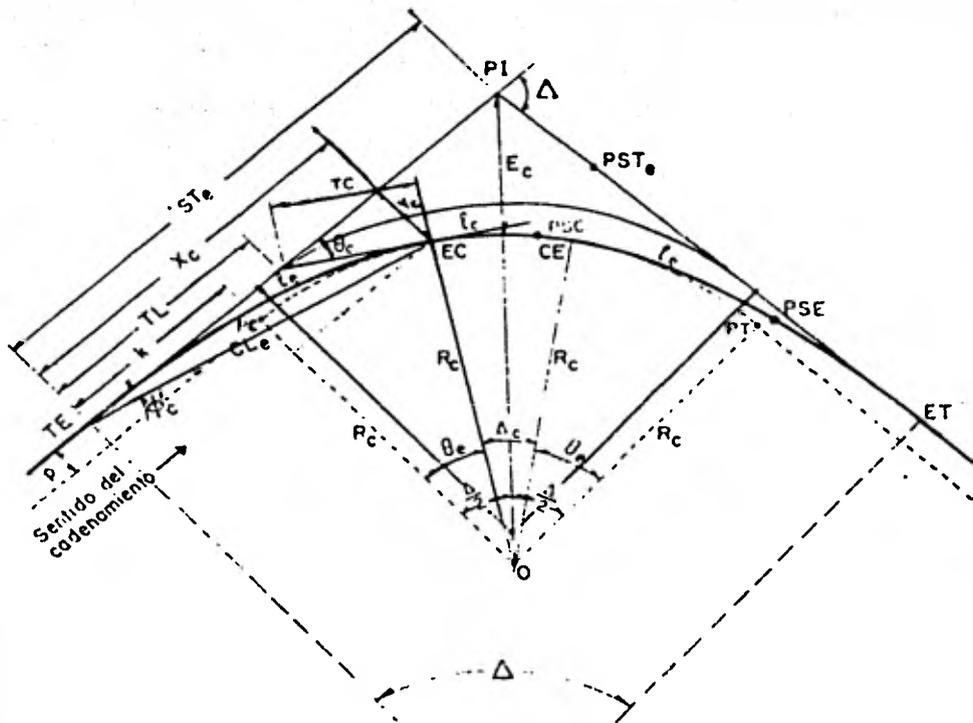
Vamos a estudiar la curva espiral o de transición formada por arcos de curvas simples la cual consta de una espiral de entrada, una curva simple y una espiral de salida. Cuando las espirales de entrada y salida tienen la misma longitud la curva es simétrica en caso contrario es asimétrica, a continuación en la figura siguiente se muestran los elementos de una curva simétrica.

1° caso general

Curva simple con espirales asimétricas

$$\begin{aligned} TST_1 &= \overline{CA} + \overline{AB} - \overline{TB} \\ &= T_1 + D_1 \text{TANG } 1/2 \Sigma - (d_1 - d_2) \text{csc} \Sigma \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} TST_2 &= TH + HF + FI \\ &= T_2 + D_2 \text{TANG } 1/2 \Sigma - (d_2 - d_1) \text{csc} \Sigma \end{aligned} \quad (2)$$



- PI Punto de intersección de las tangentes
 TE Punto donde termina la tangente y empieza la espiral
 EC Punto donde termina la espiral y empieza la curva circular
 CE Punto donde termina la curva circular y empieza la espiral
 ET Punto donde termina la espiral y empieza la tangente
 PSC Punto sobre la curva circular
 PSE Punto sobre la espiral
 PST_e Punto sobre la subtangente

- Δ Ángulo de deflexión de las tangentes
 Δ_c Ángulo central de la curva circular
 θ_e Deflexión de la espiral
 ϕ_c Ángulo de la cuerda larga de la espiral

- ST_e Subtangente
 X_c, Y_c Coordenadas del EC o del CE
 k, p Coordenadas del PC o del PT (Desplazamiento)
 TL Tangente larga
 TC Tangente corta
 Cl_e Cuerda larga de la espiral
 l_e Externa
 R_c Radio de la curva circular
 l_e Longitud de la espiral de entrada o salida
 l_c Longitud de la curva circular

FIGURA .— ELEMENTOS DE LA CURVA CIRCULAR CON ESPIRALES

Casos particulares

a) Curva simple con espirales simétricas

$$T_1 = T_2 ; d_1 = d_2 ; D_1 = D_2$$

De la fórmula (1); $TST = T + D \text{ TANG } 1/2 \Sigma$

b) Curva simple con espiral en un solo lado:

$$T_1, d_1, D_1; T_2 = 0 ; d_2 = 0 ; D_2 = R$$

de la fórmula (1) $TST = T + D \text{ TANG } 1/2 \Sigma - d \text{ csc} \Sigma$

de la fórmula (2) $ST = R \text{ TANG } 1/2 \Sigma + d \text{ cos} \Sigma$

Ejemplo:

Datos: $PI = 82 + 218.40$

$\Delta = 72^\circ 18' D$

$G = 6^\circ$

$VAR = 1^\circ \times 10 \text{ mts.}; \text{ espirales simetricas}$

$$1. TST = D \text{ TANG } \frac{\Delta}{2} + T$$

DE TABLAS

$$D = 191.836; \quad \frac{\Delta}{2} = 36^\circ 09'$$

$$\text{TANG } \frac{\Delta}{2} = \text{TANG } 36^\circ 09' = 0.73055$$

$$T = 24.972 \quad (\text{DE TABLAS})$$

$$TST = 191.836 \times 0.73055 + 24.972 = 165.118$$

2. Longitud

$$L_t = 2 \ell + L$$

$$\text{Cuerdas para } \ell = 10 \text{ mts.}$$

$$\text{Cuerdas para } L = 20 \text{ mts.}$$

$$\ell = \frac{40}{G} ; S = 7^\circ 30' ; G = 6^\circ 00'$$

$$\ell = \frac{40 \times 7.5}{6} = 50 ; = 72^\circ 18' - 15^\circ = 57^\circ 18'$$

$$L = \frac{A}{G} \times 20 = \frac{57^\circ 18'}{60} \times 20 = 191 \text{ mts.}$$

$$L_T = 191 + 100 = 291.00$$

3. $PC = 82 + 218.240$

$$\begin{array}{r} - 165.118 \\ 82 + 053.122 \end{array}$$

$$PC = 82 + 053.122$$

$$PT = 82 + 053.122$$

$$\begin{array}{r} + 291.000 \\ 82 + 344.122 \end{array}$$

$$PT = 82 + 344.122$$

Alineamiento Vertical.- Las tangentes se caracterizan por su longitud y su pendiente y están limitadas por dos curvas sucesivas, la longitud es la distancia entre el fin de la curva anterior y el principio de la siguiente medida horizontalmente y la pendiente es la relación entre el desnivel y la distancia entre dos puntos de la misma.

La pendiente gobernadora; es la pendiente media que teóricamente puede darse a la línea subrasante para dominar un desnivel determinado en función de las características de 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 pendiente máxima; es la mayor pendiente que se permite en el proyecto, queda determinada por el volumen y la composición del tránsito previsto y la configuración del terreno.

La pendiente mínima; se fija para permitir el drenaje, en los terraplenes puede ser nula y en los cortes se recomienda 0.5% mínima para garantizar el buen funcionamiento de las cunetas. La longitud crítica de una tangente; es la longitud máxima en la que un camión cargado pueda ascender sin reducir su velocidad mas allá de un límite previamente establecido, queda determinada por el vehículo de proyecto, la configuración del terreno, el volumen y la composición del tránsito.

Las curvas verticales son las que enlazan dos tangentes consecutivas del alineamiento vertical, el punto común de una tangente y una curva vertical en el inicio de esta, se representa como PCV y como PTV el punto común de la tangente y la curva al final de esta.

Basandose en la forma de la curva, la condición óptima para un vehículo, corresponde a un movimiento cuya componente horizontal de la velocidad sea constante, esto es:

$$V_x = \frac{dx}{dt} = C_1$$

Por lo que la componente horizontal de la aceleración:

$$A_x = \frac{dV_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = 0$$

Si llamamos U a la velocidad del vehículo al entrar a la curva, se tendrá que para $t=0$, $V_x = U_x$ por lo que:

$$U_x = \frac{dx}{dt}$$

integrando: $X = U_x t + C_2$

si $t = 0$, $X = 0$ y $C_2 = 0$; por lo que

$$t = \frac{X}{U_x}$$

por otra parte: $A_y = \frac{dV_y}{dt} = -g$

despejando dV_y e integrando: $V_y = -gt + C_3$

si $t = 0$, $V_y = U_y$ y $C_3 = U_y$, por lo que:

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

integrando: $y = -\frac{gt^2}{2} + U_y t$;

como $t = \frac{x}{U_x}$

$$y = -\frac{gx^2}{2U_x^2} + \frac{U_y x}{U_x}$$

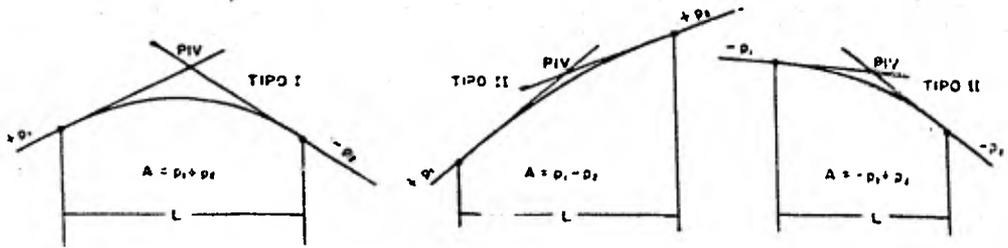
Pero: $\frac{U_y}{U_x} = P$

En donde P es la pendiente de la tangente de entrada y:

$$-\frac{g}{2U_x^2} = K \quad \text{en donde } K = \text{cte.}$$

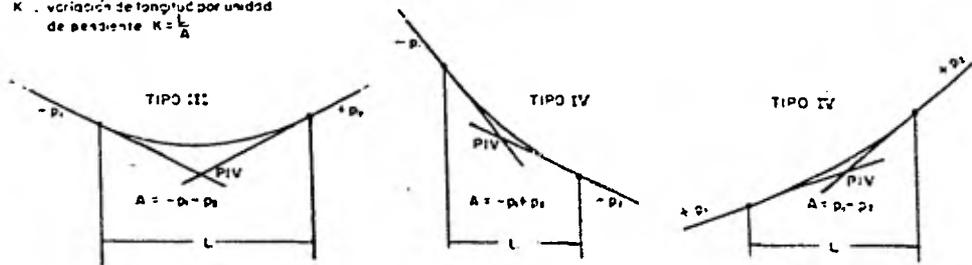
por lo que $y = Kx^2 + Px$

La cual es la expresión de la parábola que se emplea en las curvas verticales, las cuales pueden tener concavidad hacia arriba o hacia abajo, recibiendo el nombre de curvas en columpio o en cresta respectivamente como se muestra en la siguiente figura.



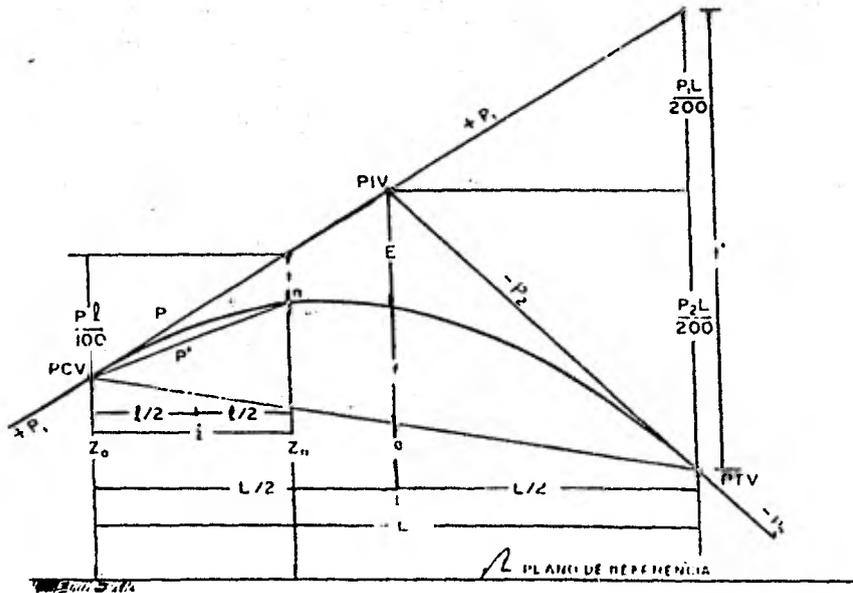
CURVAS VERTICALES EN CRESTA

p_1 = pendiente de entrada
 p_2 = pendiente de salida
 A = diferencia de pendientes
 L = Longitud de la curva
 K = variación de longitud por unidad de pendiente $K = \frac{L}{A}$



CURVAS VERTICALES EN COLUMPIO

Los elementos de una curva vertical son los mostrados en la siguiente figura.



- PIV — Punto de intersección de las tangentes.
 PCV — Punto en donde comienza la curva vertical.
 PTV — Punto en donde termina la curva vertical.
 n — Punto cualquiera sobre la curva.
 P_1 — Pendiente de la tangente de entrada en por ciento.
 P_2 — Pendiente de la tangente de salida en por ciento.
 P — Pendiente en un punto cualquiera de la curva en por ciento.
 P' — Pendiente de una cuerda a un punto cualquiera en por ciento.
 A — Diferencia algebraica entre las pendientes de la tangente de entrada y la de salida.
 L — Longitud de la curva.
 E — L^{ta}erna.
 i — Flecha.
 l — Longitud de curva a un punto cualquiera.
 τ — Desviación respecto a la tangente de un punto cualquiera.
 K — Variación de longitud por unidad de pendiente, $K = L/A$.
 Z_0 — Elevación del PCV.
 Z_n — Elevación de un punto cualquiera.

FIGURA.— ELEMENTOS DE LAS CURVAS VERTICALES

Y se calculan como sigue:

- Longitud; es la distancia entre el PCV y el PTV, para determinarla existen cuatro criterios:
- 1º Criterio de Comodidad; se aplica al proyecto de curvas - verticales en columpio donde interviene la fuerza centrífuga

en el vehículo y se debe cumplir que: $L \geq 3.28 V^2 A$

y si se expresa V en Km/hr y A por ciento:

$$K = \frac{L}{A} \geq \frac{V^2}{395}$$

Donde:

K = es el recíproco de la variación de pendiente por unidad de longitud

V = Velocidad del vehículo

2º Criterio de drenaje; se aplica al proyecto de curvas verticales en cresta o en columpio, cuando están alojadas en corte, debe cumplirse:

$$K = \frac{L}{A} \leq 43$$

3º Criterio de apariencia; se aplica cuando la visibilidad es completa o sea en las curvas en columpio, para evitar un cambio súbito de pendiente y debe cumplirse que:

$$K = \frac{L}{A} \geq 30$$

4º Criterio de seguridad; se aplica en cresta y columpio; la longitud debe ser tal, que en toda la curva la distancia de visibilidad debe ser mayor o igual que la deparada o la de rebase, se calcula: para curvas en cresta;

$$D > L \quad L = 2D - \frac{C_1}{A}$$

$$D < L \quad L = \frac{AD^2}{C_1}$$

para curvas en columpio;

$$D > L \quad L = 2D - \frac{C_2 + 3.5D}{A}$$

$$D < L \quad L = \frac{AD^2}{C_2 + 3.5D}$$

Donde:

C_1, C_2 = Constantes que dependen de la altura del ojo del conductor o altura de los faros y de la altura del obstáculo o del vehículo

D = Distancia de visibilidad de parada o rebase en m.

- 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. Puede establecerse la siguiente proporción:

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

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

$$\therefore P = P_1 - \frac{A\ell}{L}$$

- 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:

$$P' = \frac{P_1 + P}{2}$$

y teniendo en cuenta que:

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

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

de donde:

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

- Desviación respecto a la tangente (T); es la diferencia de ordenadas entre la prolongación de la tangente y la curva, partiendo de la propiedad de la parábola que establece:

$$T = a\ell^2$$

pero en el PTV: $T' = aL^2$

$$T' = \frac{P_1 L}{200} + \frac{P_2 L}{200} = \frac{L}{200} (P_1 + P_2) = \frac{AL}{200}$$

$$\frac{AL}{200} = aL^2 \quad \text{de donde } a = \frac{A}{200L}$$

y finalmente:

$$T = \frac{A}{200L} \ell^2$$

- Externa (E); es la distancia entre el PIV y la curva, medida verticalmente de la ecuación anterior:

$$E = \frac{A}{200L} \left(\frac{L}{2}\right)^2$$

$$E = \frac{AL}{800}$$

- Flecha (f); es la distancia entre la curva y la cuerda PCV-PTV medida verticalmente, de la figura (anterior) se tiene

$$f = \frac{P_2 L}{200} - E - e = \frac{P_2 L}{200} - \frac{AL}{800} - e$$

e = distancia de la pendiente de la curva PTV-PCV multiplicada por $\frac{L}{2}$ aplicando la ecuación

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

$$e = - \left(\frac{P_1}{100} - \frac{A}{200L} L \right) \frac{L}{2} = - \frac{P_1 L}{200} + \frac{AL}{400}$$

de donde:

$$f = \frac{P_2 L}{200} - \frac{AL}{800} + \frac{P_1 L}{200} - \frac{AL}{400} = \frac{P_1 + P_2}{200} L - \frac{3AL}{800} =$$

$$\left(\frac{1}{200} - \frac{3}{800} \right) AL$$

$$f = \frac{AL}{800}$$

- Elevación de un punto cualquiera de la curva (Z_n); de la figura (anterior)

$$Z_n = Z_o - \frac{P_1 \ell}{100} - T$$

sustituyendo el valor de T y agrupando

$$Z_n = Z_o + \left(\frac{P_1}{100} - \frac{A\ell}{200L} \right) \ell$$

y expresando a ℓ y L en estaciones de 20m y llamando n y N a las longitudes ℓ y L en estaciones se tendrá:

$$Z_n = Z_o + \left(\frac{P_1}{5} - \frac{A}{10N} n \right) n$$

DISTANCIA DE VISIBILIDAD.- Se llama distancia de visibilidad a la longitud de carretera que un conductor ve continuamente de la de él, cuando las condiciones atmosféricas y del tránsito son favorables se consideran dos distancias de velocidad: distancia de visibilidad de parada y distancia de velocidad de rebase.

La distancia de visibilidad de parada (D_p) es la suma de la distancia recorrida por el vehículo desde el instante que el conductor ve el objeto hasta que coloca su pie en el pedal del freno (d), distancia recorrida por el vehículo durante la aplicación de los frenos (d') y se expresa:

$$D_p = d + d'$$

La distancia de reacción se calcula:

$$d = K v t$$

Donde:

K = Factor de conversión de Km/HR a m/seg igual a 0.278

t = Tiempo de reacción (seg)

V = Velocidad del vehículo (Km/HR)

La distancia de frenado se calcula:

$$d' = \frac{v^2}{254 (f+p)}$$

Donde:

V = Velocidad del vehículo (m/seg)

f = Coeficiente de fricción longitudinal

p = Pendiente de la carretera

Después de numerosas experiencias para proyecto la AASHO a determinado que deben emplearse los siguientes valores:

tiempo de reacción (t) = 2.5 seg

Coeficiente de fricción longitudinal (f) = 0.40 para V = 30Km/HR
0.29 para V = 110 Km/HR que corresponden a pavimentos mojados.

La distancia de visibilidad de rebase (D_r) es cuando la distancia de visibilidad en un tramo de carretera es suficiente 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.

No es posible establecer criterios rígidos para determinar la frecuencia y longitud de los tramos de rebase que debe tener una carretera, ya que depende de variables, tales como el volumen de tránsito la configuración topográfica, la velocidad de proyecto, el costo y el nivel de servicio deseado. En 1958, la Secretaría de Obras Públicas, basada en un número limitado de observaciones, recomendó 500 metros como límite para la distancia de visibilidad de rebase, a velocidad de proyecto de 110 Km/HR.

Para velocidades menores de 110 Km/HR las distancias de velocidad de rebase se reducirán proporcionalmente esto es:

$$D_r = \frac{500}{110} V = 4.545 V$$

Donde:

D_r = Distancia mínima de velocidad

V = Velocidad de proyecto en Km/HR.

Concluyendo se puede decir que:

La distancia de visibilidad de parada: Es la mínima distancia de seguridad que se requiere para que el conductor de un vehículo transitando a la velocidad de proyecto empiece a distinguir un objeto de 10 cm. colocado sobre el camino y pueda parar antes de llegar a él.

La distancia de visibilidad de rebase: En la mínima distancia necesaria para que el conductor de un vehículo que va a rebasar a otro distinga a un tercero que viene a una velocidad igual que a la de proyecto en sentido contrario y que pueda ejecutar la maniobra de rebase con seguridad.

PARTES INTEGRANTES Y ESPECIFICACIONES GEOMETRICAS DE UN CAMINO.- Dentro de las partes integrantes de un camino se tienen:

- Corona; es la superficie del camino terminado que queda comprendido entre los hombros del camino, o sean las aristas superiores de los taludes del terraplen o las interiores de la cuneta, los elementos que definen la corona son:
 - a) 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, esta representada por un punto.

b) **Pendiente transversal;** es la pendiente que se da a la corona normal a su eje y se presenta en tres formas:

- 1) Como bombeo; es la pendiente que se da a la corona en las tangentes del alineamiento horizontal hacia uno y otro de la rasante para evitar la acumulación del agua sobre el camino, los valores de esta pendiente que se emplean se dan en función del tipo de superficie de rodamiento.

TIPO DE SUPERFICIE DE RODAMIENTO	BOMBEO
MUY BUENA	SUPERFICIE DE CONCRETO HIDRAULICO O ASFALTICO, TENDIDO CON EXTENDEDORAS MECANICAS. 0.010 A 0.020
BUENA	SUPERFICIE DE MESCLA ASFALTICA TENDIDA CON MOTOCONFORMADORAS CARPETA DE RIEGO. 0.015 A 0.030
REGULAR O MALA	SUPERFICIE DE TIERRA O GRAVA 0.020 A 0.040

- 2) Como sobreelevación; es 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 y se calcula con la siguiente expresión:

$$S = 0.00785 \frac{V^2}{R} \mu$$

Donde:

S - Sobreelevación

V - Velocidad del vehículo en Km/HR

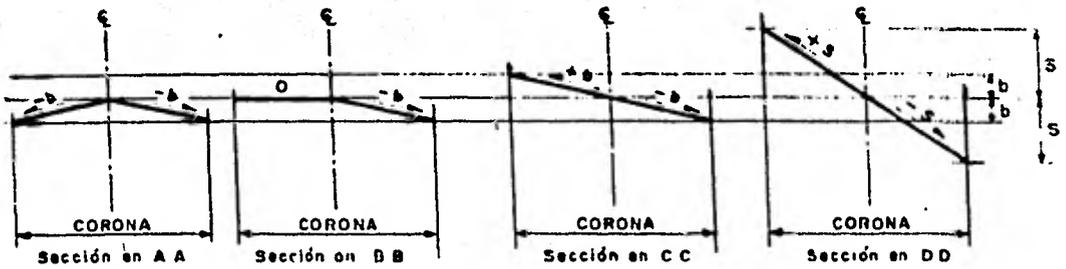
R - Radio de la curva en m

μ - Coeficiente de fricción lateral

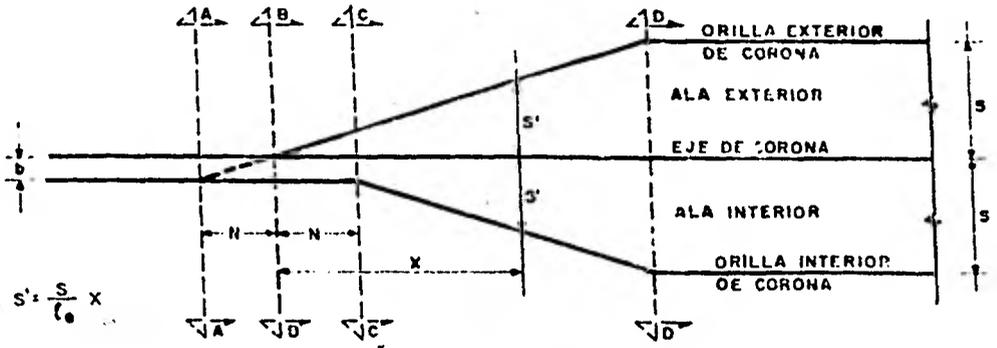
- 3) Como transición del Bombeo a la sobreelevación, se requiere cambiar la pendiente de la corona, el cual se hace gradualmente en toda la longitud de la espiral de transición o sobre las tangentes contiguas a la curva, para este último caso se recomienda dar parte de la transición en las tangentes y parte sobre la curva circular.

Para pasar del bombeo a la sobreelevación, se tiene tres procedimientos. 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.

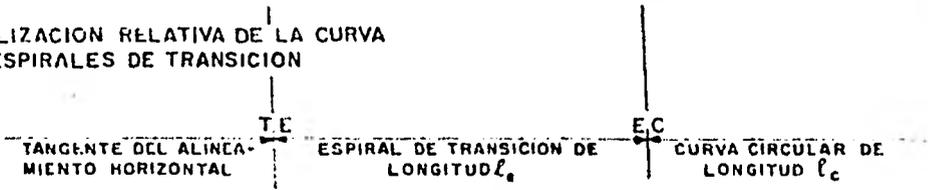
SECCIONES TRANSVERSALES



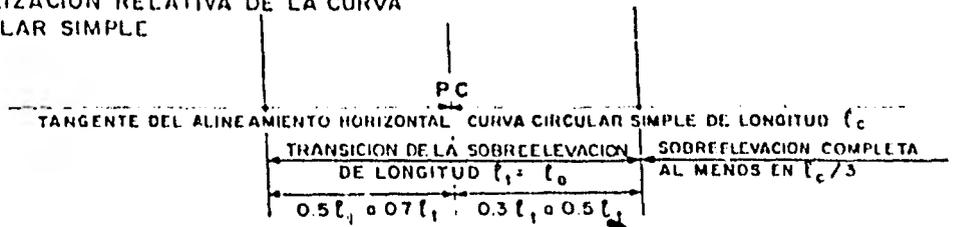
VARIACION DE LA SOBREELEVACION



LOCALIZACION RELATIVA DE LA CURVA CON ESPIRALES DE TRANSICION



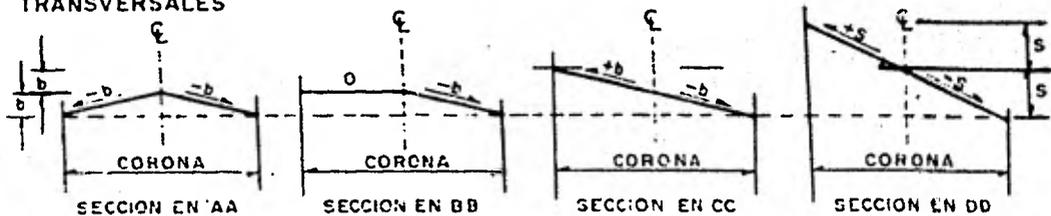
LOCALIZACION RELATIVA DE LA CURVA CIRCULAR SIMPLE



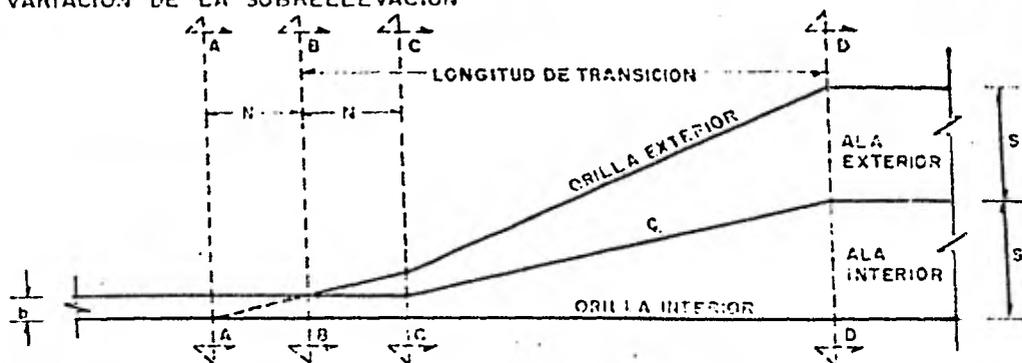
TRANSICION DE LA SECCION EN TANGENTE A LA SECCION EN CURVA GIRANDO SOBRE EL EJE DE CORONA

SECCIONES TRANSVERSALES

GIRO SOBRE LA ORILLA INTERIOR

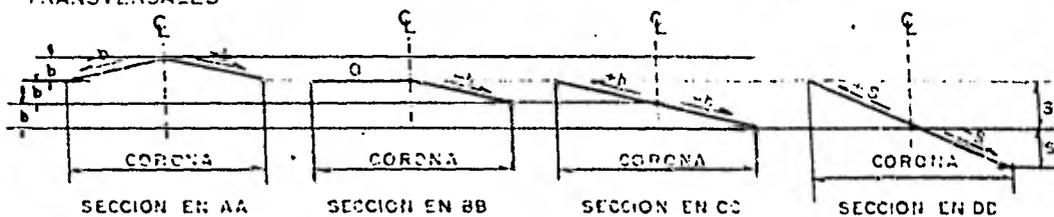


VARIACION DE LA SOBREELEVACION

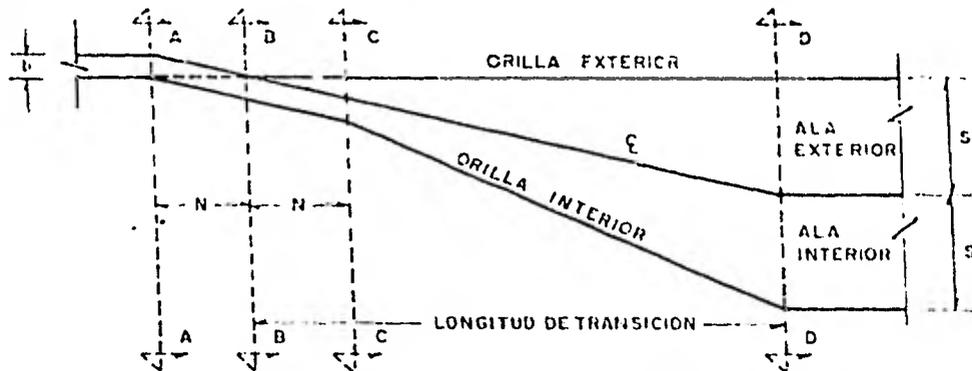


SECCIONES TRANSVERSALES

GIRO SOBRE LA ORILLA EXTERIOR



VARIACION DE LA SOBREELEVACION



TRANSICION DE LA SECCION EN TANGENTE A LA SECCION EN CURVA
GIRANDO SOBRE UNA ORILLA DE LA CORONA

- c) La calzada; es la parte de la corona destinada al tránsito de vehículos y constituida por uno o mas carriles, se entiende por carril a la faja de ancho suficiente para la circulación de vehículos, los anchos usuales son de 2.75m, 3.05m, 3.35m y 3.65m, la calzada es llamada también carpeta asfáltica. Se llama ampliación, al ancho adicional - que se da en una curva horizontal de la calzada respecto al ancho en tangente ya que los vehículos ocupan un ancho mayor en la curva horizontal que cuando circula sobre una tangente.
- b) Los acotamientos; son las fajas contiguas a la calzada, - comprendidas entre sus orillas y las líneas definidas por los hombros del camino.
- Subcorona; es la superficie que limita a las terracerias y - sobre la que se apoyan las capas del pavimento, en sección - transversal se ve como una línea.
- Terracerias; es el volumen de material que hay que cortar - o terraplenar para formar el camino hasta la subcorona, la - diferencia de cotas entre el terreno natural y la subcorona - define los espesores de corte o terraplén en cada punto de - la sección.
- Pavimento; es la capa o capas de material seleccionado y - tratado, comprendidas entre la subcorona y la corona, - -

tiene por objeto de soportar las cargas inducidas por el tránsito y repartirlas de manera que no causen deformaciones perjudiciales a las terracerías, al mismo tiempo proporciona una superficie de rodamiento adecuada al tránsito. Los pavimentos están formados generalmente por sub-base, la base y la carpeta.

- Subrasante; es la proyección sobre un plano vertical del desarrollo del eje de la subcorona, en la sección transversal es un punto y cuya diferencia con la rasante, nos determina el espesor del pavimento.
- Cunetas; son zanjas que se construyen en los tramos en corte a uno y otro lado de la corona, contiguas a los hombros, con el objeto de recibir en ellas el agua que escurre por la corona y los taludes del corte, normalmente su sección es triangular con un ancho de 1.00 m medido horizontalmente del hombro de la corona al fondo de la cuneta, su talud es generalmente de 3:1, la longitud de la cuneta esta limitada por su capacidad hidráulica, pues no debe permitirse que el agua rebase su sección y se extienda por el acotamiento, por lo que deberá limitarse su longitud colocando alcantarillas de alivio.
- Contracunetas; son zanjas de sección trapezoidal, que se excavan arriba de la línea de ceros de un corte, para interseparar

tar los escurrimientos superficiales del terreno natural, -
son construidas paralelamente a la carretera.

- Talud; es la inclinación del paramento de los cortes o de -
los terraplenes, expresado numericamente por el recíproco -
de la pendiente.

- Guarniciones; son elementos parcialmente enterrados, comun--
mente de concreto hidráulico, generalmente se emplean para -
delimitar camellones y delinear la orilla del pavimento.

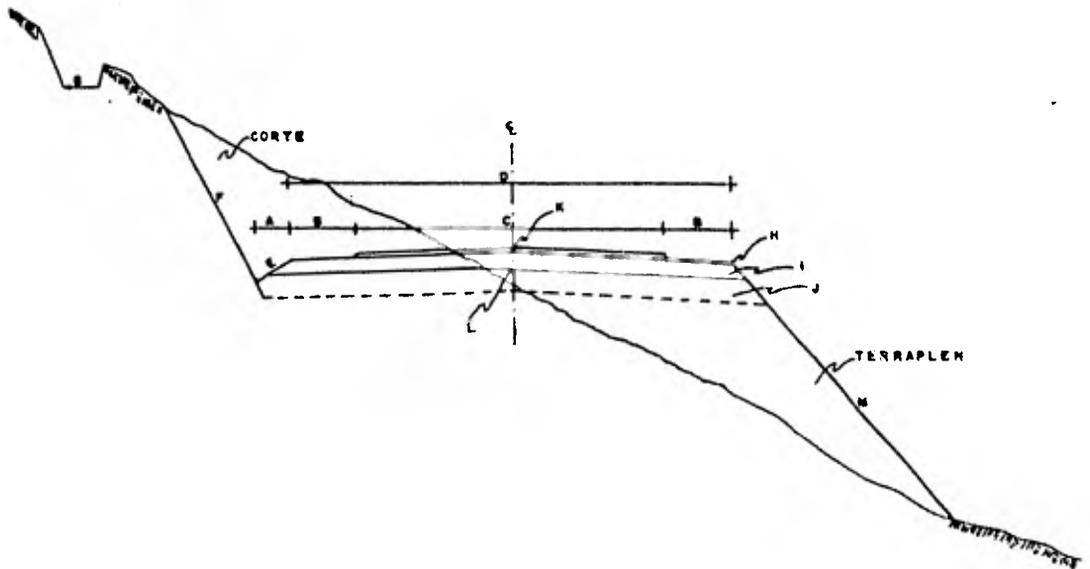
- Bordillos; son elementos generalmente de concreto asfáltico-
que se construyen sobre los acotamientos junto a los hombros
de los terraplenes, a fin de encauzar el agua que escurre -
por la corona.

- Camellones; son fajas separadoras a las que se construyen -
guarniciones laterales y entre ellas se coloca material para
obtener un nivel superior a la carpeta asfáltica, estos camel
lones pueden ser centrales o laterales, su ancho mínimo es-
de 1.20m.

- Derecho de vía de una carretera; es una faja que se requiere
para la construcción, conservación, reconstrucción, amplia--
ción, protección y en general, para el uso adecuado de esa -
vía y de sus servicios auxiliares, su ancho será el requeri-
do para satisfacer esas necesidades.

En forma funcional se fijan las dimensiones recomendables para caminos, en función de los volúmenes de tránsito que se esperan de la vida económica del mismo.

Para otras características del camino se han fijado - igualmente las limitaciones recomendables, siempre en función del uso del camino, de la velocidad y del tipo de vehículos -- que lo utilizarán.



- A.- Ancho de cuneta
- B.- Ancho de acotamiento
- C.- Ancho de calzada
- D.- Ancho de corona
- E.- Talud de Cuneta
- F.- Talud del corte
- G.- Contracuneta
- H.- Hombro
- I.- Pavimento
- J.- Capa subrasante
- K.- Rasante
- L.- Sub-rasante
- M.- Talud del terraplen

CAPITULO V
TERRACERIAS

PERFIL DE LA SUBRASANTE.- Al iniciarse su estudio - hay que analizar:

El alineamiento horizontal, el perfil longitudinal,-- las secciones transversales del terreno, los datos relativos a la calidad de los materiales y la elevación mínima que requieren para dar cabida a las estructuras.

La subrasante económica es aquella que ocasiona un -- menor costo en la obra determinandola unicamente por el costo de construcción por lo tanto hay que tomar en cuenta que:

- A.- La subrasante debe cumplir con las especificaciones de -- proyecto Geométricas dadas.
- B.- El alineamiento horizontal es definitivo, sin embargo ha-- bra casos en que se requiera modificarlo localmente.
- C.- La subrasante debe permitir alojar las alcantarillas, -- puentes y pasos a desnivel, y su elevación debe ser nece-- saria para evitar humedades perjudiciales a las terrace

rias o al pavimento, causadas por humedad excesiva en el terreno natural.

Los elementos que definen el proyecto de la subrasante económica son los siguientes:

- 1.- Condiciones Topográficas; De acuerdo con su configuración se consideran tres tipos de terreno: Plano, Lomerío y Montañoso.

En terreno plano el proyecto de la subrasante será generalmente en terraplen, sensiblemente paralelo al terreno, -- con la altura suficiente para evitar la humedad del suelo natural y de los escurrimientos laminares en él, así como para dar cabida a las alcantarillas, puentes y pasos a desnivel. Los terraplenes estarán formados con material producto de préstamo, ya sea lateral o de banco. El proyecto de tramos con visibilidad de rebase generalmente no presentan dificultad, tanto en el alineamiento vertical como el horizontal.

En terreno montañoso debido a la configuración topográfica, la formación de terracerías se obtiene mediante la excavación de grandes volúmenes, el proyecto de la subrasante -- queda condicionada generalmente a la pendiente transversal del terreno y el análisis de las secciones transversales en zonas críticas o en balcón.

En lomerío, se estudiará la subrasante combinando las pendientes especificadas, obteniendo un alineamiento vertical ondulado, que en general permitirá aprovechar el material producto de los cortes, para formar los terraplenes contiguos, -- los pasos a desnivel y puentes, son característicos de este tipo de terreno. Cuando se considera la distancia de visibilidad de rebase en el alineamiento vertical, se ocasiona un incremento en el volumen de tierras a mover.

- 2.- Condiciones Geotécnicas; es un factor muy importante para lograr el proyecto de la subrasante ya que la calidad de los materiales que se encuentran en la zona donde se localiza el camino además del empleo que tendrán en la formación de las terracerías, servirán de apoyo al camino, y limitaran la elevación de la subrasante en ocasiones.

Los materiales de terracerías se clasifican en A, B y C, y por el tratamiento que van a tener en la formación de los terraplenes se clasifican en materiales compactables y no compactables.

Material tipo A; puede ser atacado con pico, pala de mano, escrepa o pala mecánica de cualquier capacidad, además son suelos poco o nada cementados, con materiales hasta de 7.5 cm.

Material tipo B; requiere ser atacado con arado o explosivo ligero, las piedras sueltas mayores de 7.5 y menores de 75.0 cm son consideradas dentro de este tipo.

Material Tipo C; solamente puede ser atacado mediante explosivos, y requiere para su remoción el uso de pala mecánica de gran capacidad.

El material se considera compactable cuando es posible controlar su compactación por alguna de las pruebas de laboratorio, como la proctor, procter etc., en caso contrario se considera no compactable.

Para el proyecto de la subrasante se deben conocer --- principalmente las propiedades de los materiales que intervendrán en la formación de las terracerías, los datos relativos a su clasificación para fines de presupuesto y el tratamiento a darles.

3.- Subrasante Mínima; Esta definida por la elevación mínima correspondiente a puntos determinados del camino que debe sujetarse el estudio de la subrasante económica. Los elementos -- que fijan estas elevaciones mínimas son:

- Obras Menores
- Puentes
- Zonas de Inundación
- Intersecciones

4.- Costo de las terracerias; Para obtener la economía máxima, la subrasante se debe apegar a los siguientes conceptos:

A.- Costos Unitarios:

Excavación en Corte

Excavación en Préstamo

Compactación en el Terraplén del Material de Corte

Compactación en el Terraplén del Material de Préstamo

Sobrecarreo del Material de Corte a Terraplén.

Sobrecarreo del Material de Corte a Desperdicio

Sobrecarreo del Material de Préstamo a Terraplén

Costo del Terreno Afectado para préstamos desmonte y despalme, Dividido entre el volumen de terracerias extraidos del mismo.

B.- Coeficiente de variabilidad volumétrica:

Del Material de Corte

Del Material de Préstamo

C.- Relaciones:

Entre la variación de los volúmenes de corte y terraplén, al mover la subrasante a su posición original.

Entre los costos unitarios de terraplén formados con material producto de corte y con material obtenido de préstamo.

Entre los costos que significa el acarreo del material de corte para formar el terraplén y su compactación de este y el que significa la extracción del material de corte y el acarreo para desperdiciarlo.

- D.- Distancia económica de sobre-acarreo: Es la distancia -- económicamente posible para el transporte del material -- producto de corte en la formación de terraplenes y esta -- dada por la expresión siguiente:

$$DME = \frac{(P_p + ad) - P_c}{P_{sa}} + AL$$

Donde:

- DME = Distancia máxima de sobreacarreo económico.
 ad = Costo unitario de sobreacarreo del material de corte de desperdicio.
 P_c = Precio unitario de la compactación en el terraplén del material producto del corte.
 AL = Acarreo libre del material, cuyo costo esta incluido en el precio de excavación
 P_p = Costo unitario de terraplén formado con material producto de préstamo.
 P_{sa} = Precio unitario del sobreacarreo del material de corte.

CUBICACION DE TERRACERIAS.- Para obtener el calculo de los volúmenes de tierra, es necesario obtener la elevación de la subrasante tanto en las estaciones cerradas como en las intermedias en que se presentan cambios en la pendiente del terreno, también es necesario calcular la elevación de los puntos principales de las curvas horizontales, en los que la sección transversal sufre un cambio motivado por la sobreelevación y la ampliación.

Obtenida la elevación de la subrasante cada una de las elevaciones mencionadas, se determina el espesor correspondiente dado por la diferencia entre las elevaciones del terreno y de la subrasante en base al proyecto de las secciones de construcción.

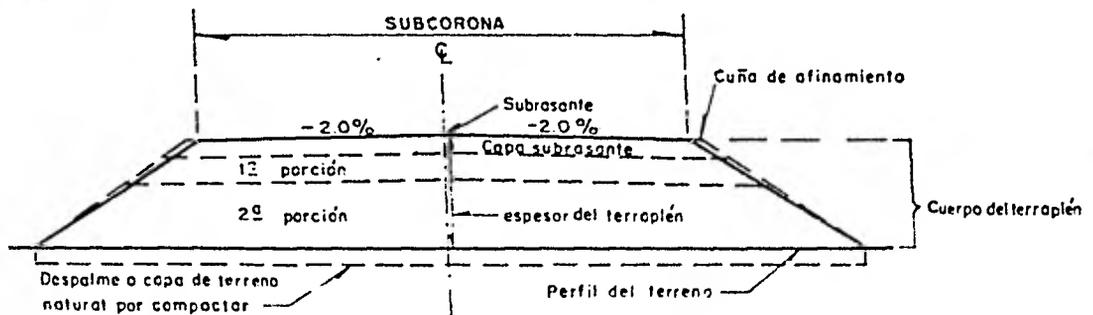
El proyecto de secciones consiste en la representación gráfica de las secciones transversales que contienen los datos propios del diseño geométrico como:

- 1.- Espesor de corte o terraplén
- 2.- Ancho de corona
- 3.- Ancho de calzada
- 4.- Ancho de acotamientos
- 5.- Ampliación de Curvas.
- 6.- Pendiente transversal
- 7.- Longitud de transición

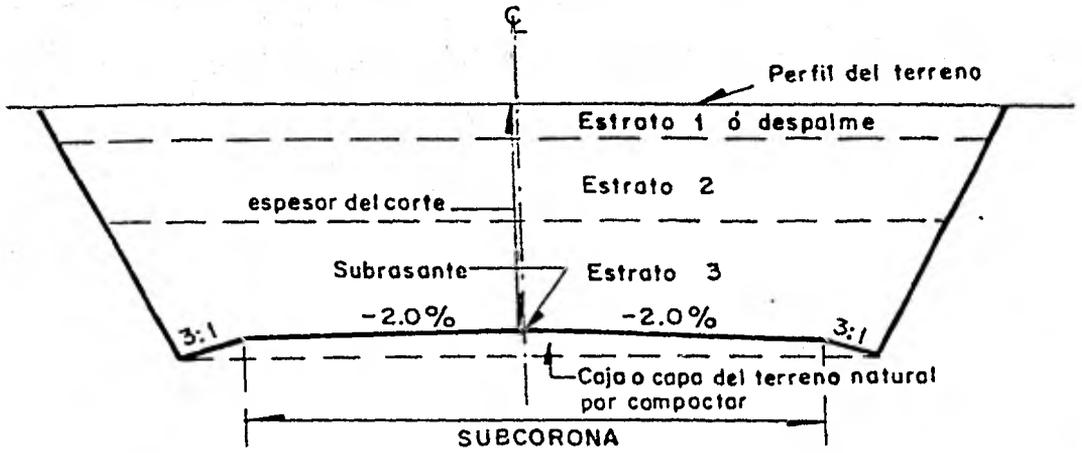
- 8.- Espesor de pavimento
- 9.- Ancho de subcorona.
- 10.- Talud de corte o de terraplén
- 11.- Dimensiones de la cuneta

Y los datos correspondientes al empleo y tratamiento-
de los materiales que formarán las terracerías como:

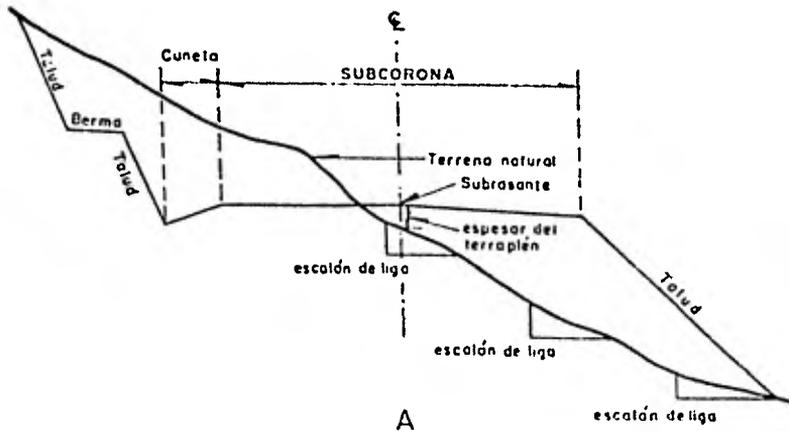
- 1.- Despalse
- 2.- Compactación del terreno natural
- 3.- Escalón de liga
- 4.- Cuerpo del terraplén
- 5.- Capa subrasante
- 6.- Cuña de afinamiento
- 7.- Muro de retención
- 8.- Berma
- 9.- Estratos en corte
- 10.- Caja en corte



SECCION DE CONSTRUCCION DE UN TERRAPLEN EN TANGENTE



SECCION DE CONSTRUCCION DE UN CORTE EN TANGENTE

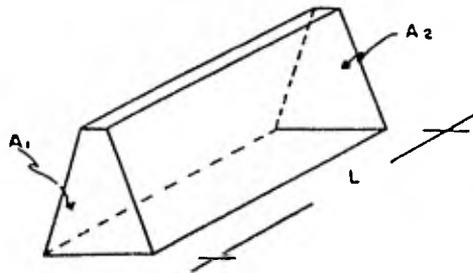


El calculo del volumen se hace en base con las áreas medidas en las secciones de construcción y los movimientos de los materiales se analizan mediante la curva masa.

Para determinar las áreas tanto en corte como en terraplén, existen tres procedimientos comunes empleados:

- A) Método del Planímetro
- B) Método Gráfico
- C) Método Analítico

Una vez que se han determinado las áreas de las secciones de construcción, se procede al calculo de los volúmenes de tierras. Para ello es necesario suponer que el camino es ta formado por una serie de prismoides tanto en corte como en terraplén. Cada uno de estos prismoides esta limitado en sus extremos por dos superficies paralelas verticales representadas por las secciones de construcción y lateralmente por los planos de los taludes, de la subcorona y del terreno natural.



Entonces se tendrá:

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

Donde:

A_1 = Area de Sección atrás

A_2 = Area de Sección adelante

Esta expresión es conocida como fórmula de las áreas-medias y que por su simplicidad es muy útil para el cálculo de volúmenes, pero considerando el mayor número de secciones posibles. Es norma considerar secciones en las estaciones cerradas de 20 m., en los puntos principales de las curvas del alineamiento horizontal y en donde ocurren cambios notables en la pendiente longitudinal o transversal del terreno.

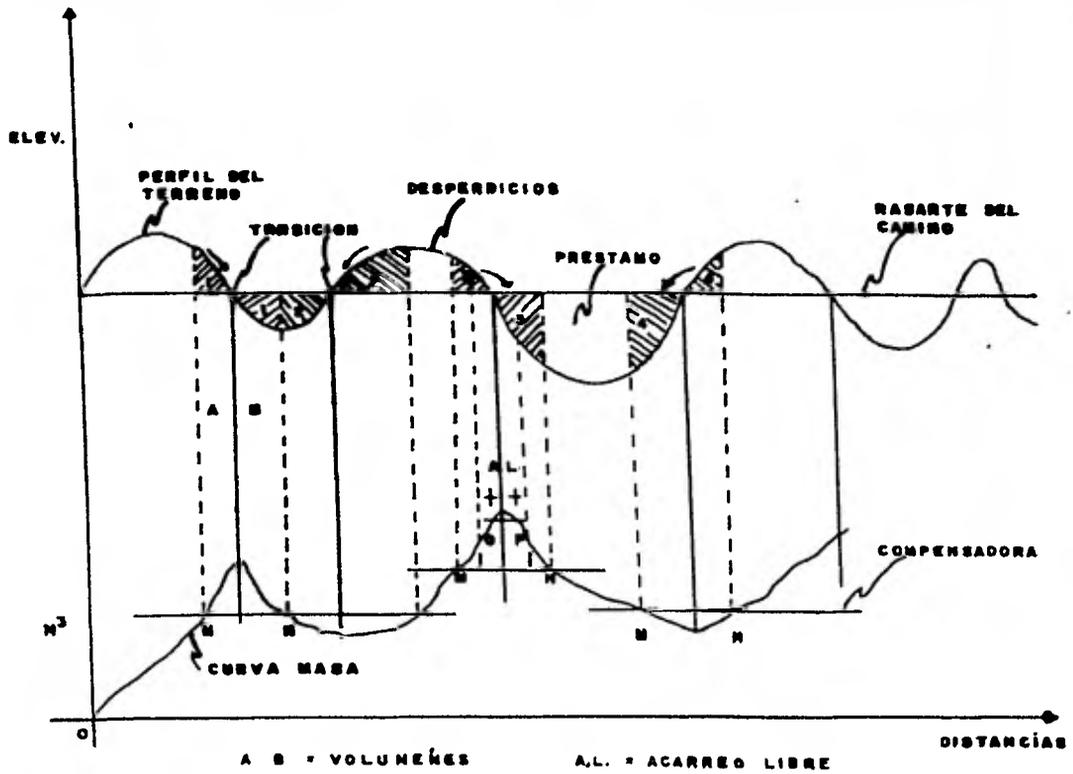
El material ya sea de corte o de préstamos empleado en la formación de terraplenes, experimenta un cambio de volumen que se llama "Coeficiente de variabilidad volumétrica" y es la relación que existe entre el peso volumétrico del material en su estado natural y el peso volumétrico que ese mismo material tiene al formar parte del terraplén. Este coeficiente se aplica al volumen del material en su estado natural para obtener su volumen en el terraplén.

- C_{VV} 1 - Cuando 1 m^3 de terraplén se construya con una cantidad menor obtenido en el corte o préstamo.
- C_{VV} 1 - Cuando 1 m^3 de terraplén requiere un volumen mayor de material constutivo.

La ordenada de curva masa en una estación determinada es la suma algebraica de los volúmenes de terraplén y de corte, estos últimos afectados por su coeficiente de variabilidad volumétrica, considerados los volúmenes desde un origen hasta -- esa estación; se establece que los volúmenes de corte son positivos y los de terraplén negativos.

Estas ordenadas servirán para dibujar el diagrama de masas en un sistema de coordenadas rectangulares.

MOVIMIENTOS DE TERRACERIAS. Para determinar los movimientos de terracerias y obtener su costo mínimo, el diagrama de masas es el instrumento con que se cuenta; es la curva resultante de unir todos los puntos dados por las ordenadas de curva masa, obtenidos de acuerdo en lo establecido anteriormente.



M-N = Distancia total de Acarreos

O-P = Distancia media de Acarreos

A) Características de la curva de masa:

- 1.- Cuando la curva de masas es ascendente en el terreno tendremos un corte.
- 2.- Cuando la curva de masas es descendente en el terreno tendremos un terraplén.

- 3.- Cuando en la curva de masas encontremos un mínimo nos representara en el terreno natural una transición de terraplén a corte.
- 4.- Cuando en la curva de masas encontremos un máximo en el terreno natural nos representara una transición de corte a terraplén.
- 5.- Cualquier línea horizontal (paralela al eje de las abscisas) que corte cuando menos en dos puntos a nuestra curva de masas nos representará una compensación de volúmenes en el terreno natural entre los puntos que corta.

B) Determinación de Acarreos:

- 1.- Acarreo libre; Es la distancia mínima requerida por el equipo que lleva a cabo la extracción, carga y descarga del material y se efectua dentro de una distancia de 20 m.
- 2.- Sobre acarreo en m^3 - estación; cuando la distancia entre los centros de gravedad esta comprendida entre 20 y 120 m.
- 3.- Distancia media de sobreacarreos; para poder cuantificar los movimientos de terracerias, es necesario establecer la distancia de sobre acarreo y la porción del volumen que hay que transportar más allá del límite establecido por acarreo libre.

La distancia media de sobreacarreos se obtiene con base en la propiedad de la curva masa que dice que las áreas de los contornos cerrados, comprendidos entre el diagrama y la compensadora, representan el monto de los acarreos, es decir, un volumen por una distancia. Si el área de estas figuras se divide entre la ordenada de las mismas, que representara un volumen, se obtendrá como resultado una distancia, que restandole el acarreo libre, dara la distancia media de sobreacarreo.

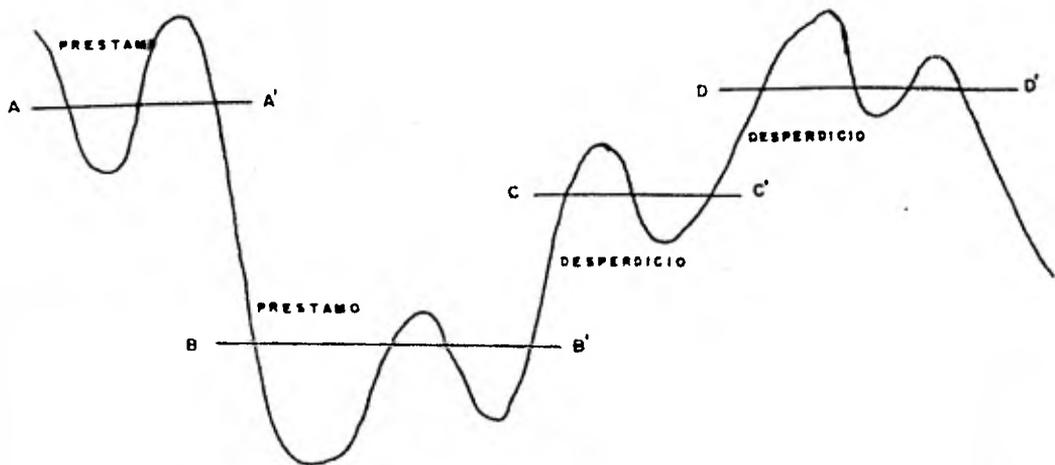
C) Posición económica de la compensadora: En un tramo, la compensadora que corta el mayor número de veces a la curva de masas y que produce los movimientos de terracerías mas económicos, recibe el nombre de compensadora general.

Es conveniente obtener una sola compensadora general para un tramo de gran longitud; sin embargo, la economía buscada obliga la mayor parte de las veces, a que la compensadora no sea una línea continua, sino que debe interrumpirse en ciertos puntos para reiniciarla en otros situados arriba o abajo de la anterior lo que origina tramos que no están compensados longitudinalmente y cuyos volúmenes son la diferencia de las ordenadas de las compensadoras.

Generalmente, los préstamos se originan por exceso de volumen de terraplén y los desperdicios por exceso de volumen

de corte, pero pueden coexistir préstamos y desperdicios.

En el estudio de la compensación longitudinal se presentan cuatro casos dependiendo de la ubicación de la compensadora general.



Como se aprecia en la figura la compensadora puede quedar ubicada entre préstamos como la A-A', entre préstamos y desperdicio como la B-B', entre desperdicios como C-C' y entre desperdicio y préstamo como la D-D'

CAPITULO VI

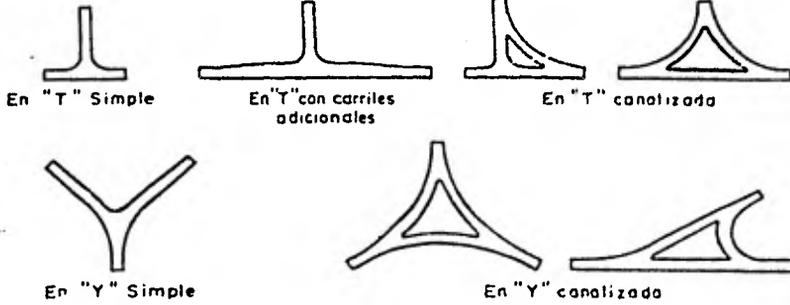
ESTRUCTURAS ESPECIALES

En este capítulo se hablará de las especificaciones y características generales de las estructuras especiales en donde concurren dos o mas vías y que sirven para enlazar los movimientos de tránsito en la dirección debida y evitar los conflictos, así como de permitir la mejor visibilidad y mayor seguridad a los usuarios de los caminos. Estas estructuras especiales pueden servir para salvar obstaculos naturales como una serrania o una montaña en la que suele recurrirse a viaductos y túneles.

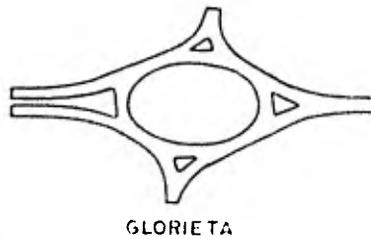
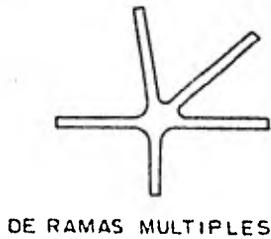
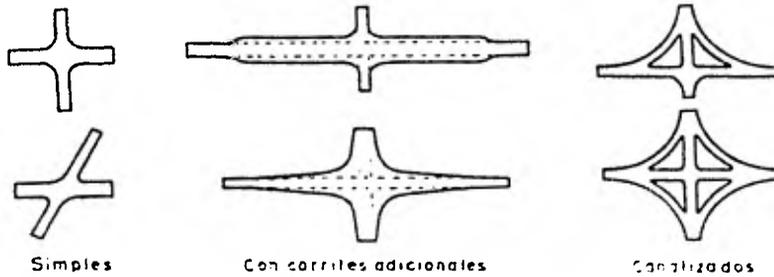
ENTROQUES.- Se llama entronque, a la zona en donde dos o mas caminos se cruzan o unen, permitiendo la mezcla de las corrientes de tránsito. Los entronques pueden ser a nivel y a desnivel: los entronques a nivel son los que permiten al conductor efectuar oportunamente las maniobras necesarias para la incorporación o cruce de las corrientes de tránsito.

Existen varios tipos de entronques a nivel y son:

DE TRES RAMAS



DE CUATRO RAMAS



Entre los principales factores que intervienen en la selección del tipo y tamaño del entronque se tiene:

- Volumen horario de proyecto de los caminos que se intersecan
- Velocidad de proyecto
- Características de tránsito
- Volúmenes de tránsito, actuales y futuros
- Condición locales
- El costo del derecho de vía
- Apariencia a la vista del conductor

Los entronques presentan áreas de conflicto y constituyen por consiguiente peligros potenciales, por lo tanto es conveniente tanto desde el punto de vista de la seguridad como de la economía, que:

- Los caminos se crucen en un ángulo lo mas próximo a 90°
- Se eviten los entronques en curvas cerradas
- Se eviten pendientes mayores del 3% en los entronques
- Se eviten maniobras erróneas, colocando señalamientos y -- construyendo isletas canalizadoras que encaucen a los vehículos, también marcas adicionales sobre el pavimento, semaforos de destello etc.

Entronques a desnivel; son necesarios en las intersecciones en donde un entronque a nivel no tiene la capacidad suficiente para alojar los movimientos de frente sin interrupciones y los movimientos de vuelta que no interfieran con el tránsito directo.

Ventajas de un entronque a desnivel:

- A.- La capacidad de la rama para el tránsito directo es igual a la capacidad del camino.
- B.- Mayor seguridad al tránsito directo y al que da vuelta a la izquierda.
- C.- Las paradas y los cambios de velocidad se eliminan para el tránsito directo.
- D.- Adaptación a casi todos los ángulos y posiciones de los caminos que se intersectan.
- E.- Adaptación a la construcción por etapas.
- F.- Parte esencial de las vías rápidas y las autopistas.

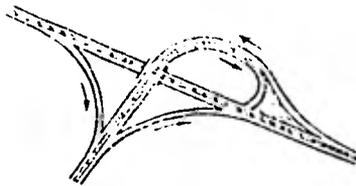
Desventajas de un entronque a desnivel:

- A.- El alto costo en zona plana.
- B.- No son totalmente seguros en cuanto a la operación del tránsito.
- C.- Involucra crestas y columpios inconvenientes en el perfil de uno o de los dos caminos que se intersectan.

Factores que intervienen en el estudio de un entronque a desnivel:

- Volúmenes de tránsito y su operación.
- Las condiciones del lugar (topografía, propiedades vecinas etc).
- El tipo de camino y disposición al futuro.
- Seguridad y derecho de vía
- Factores económicos

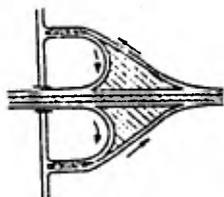
Diferentes tipos de entronques a desnivel:



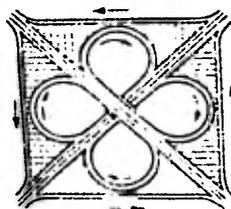
A - "T" O TROMPETA



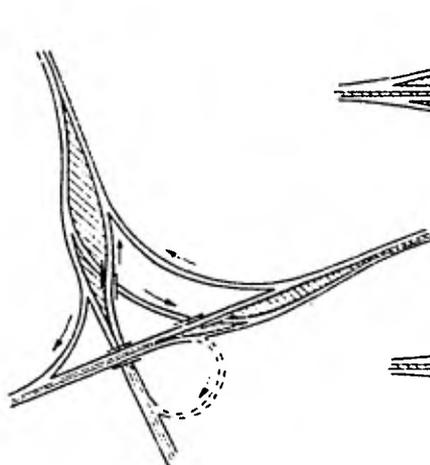
B - "Y" O REGIONAL



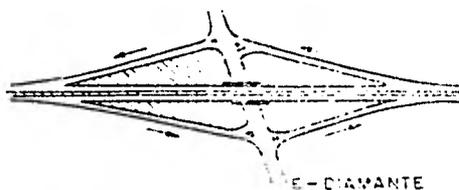
C.- TREBOL PARCIAL



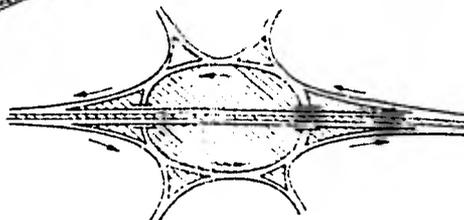
D.- TREBOL



F.- DIRECCIONAL



E.- DIAMANTE



G.- GUECETA

Las especificaciones geométricas de la estructura deben ser congruentes con las de la carretera, para evitar cualquier posible sensación de restricción.

Se debe evitar cualquier curva horizontal o vertical pronunciada.

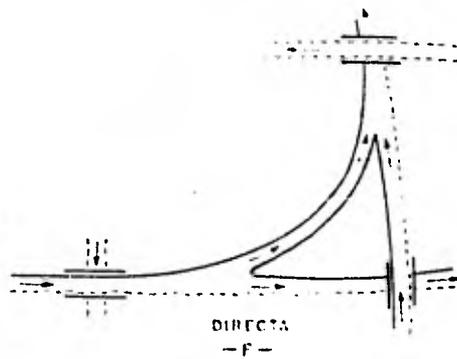
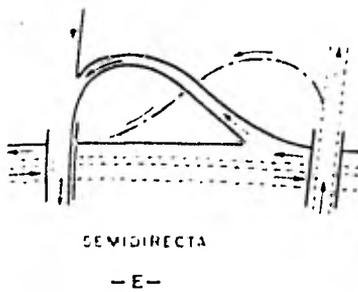
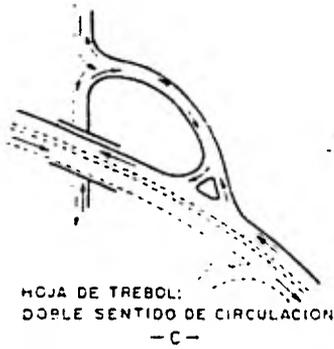
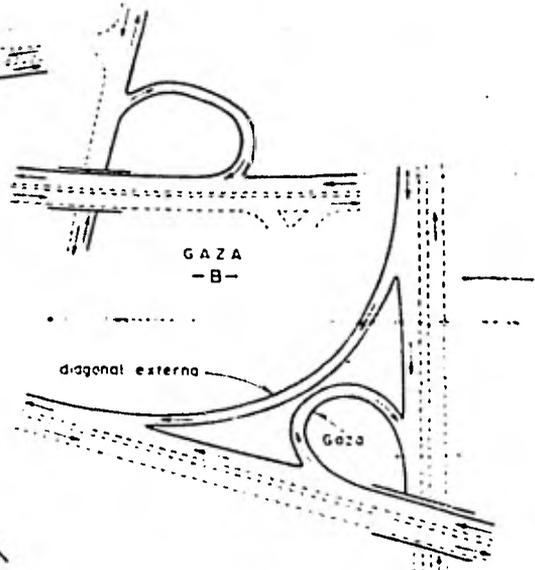
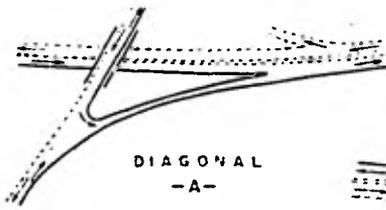
Se debe evitar que las curvas horizontales se inicien muy cerca de curvas verticales pronunciadas ya sea en cresta o en columpio.

Se debe evitar pendientes que obligue a los vehfculos-pesados a disminuir apreciablemente su velocidad.

La distancia de visibilidad en las carreteras a través de un entronque a desnivel debe ser cuando menos igual a la distancia de visibilidad de parada y de preferencia mayor.

Rampas.- El termino rampa incluye todas las disposiciones y tamaños de enlaces que conectan dos ramas de intersección a desnivel. A cada vfa que sale o llega a una intersección y forma parte de ella se le llama rama de la intersección.

A.- Tipos de Rampas:



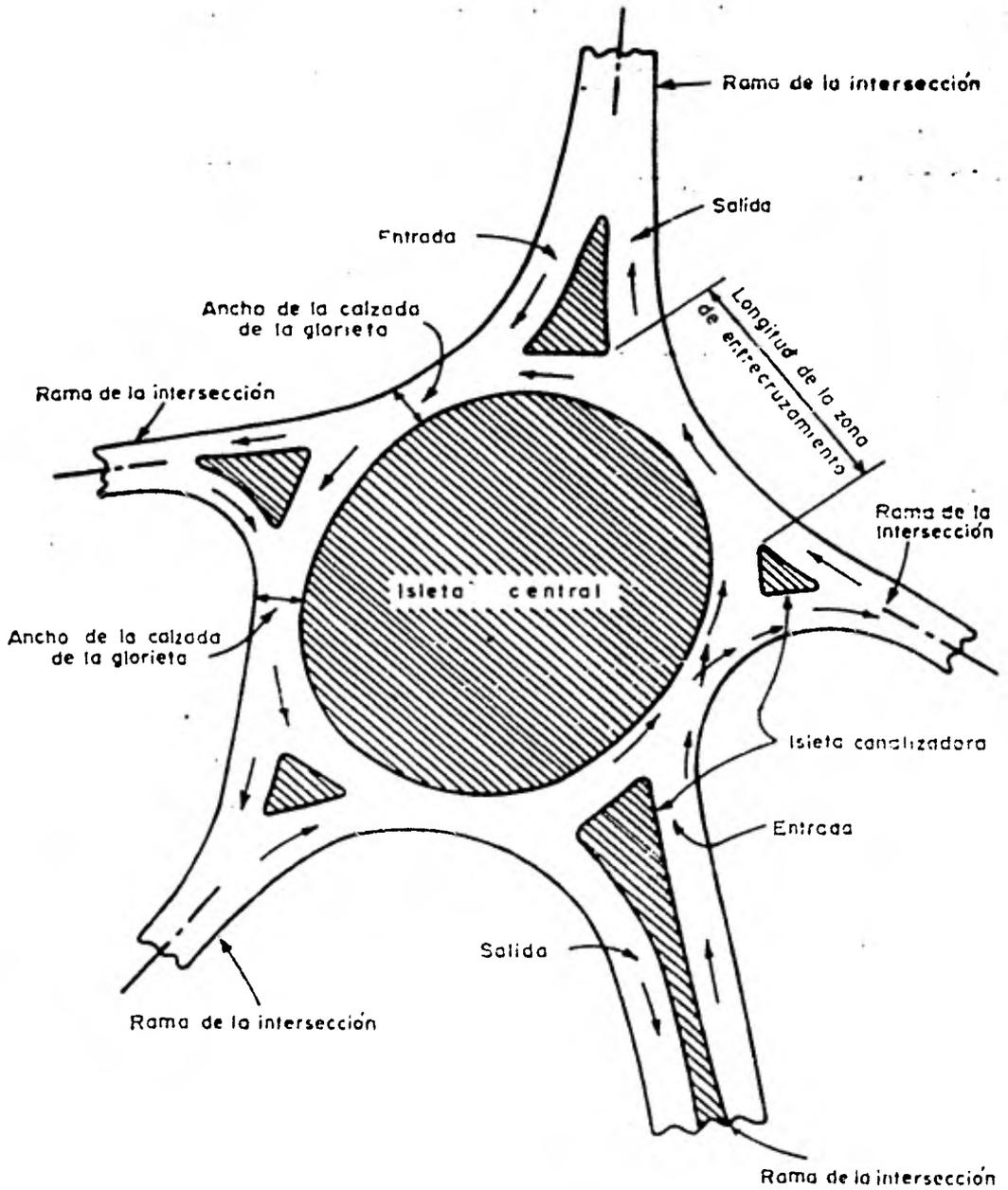
B.- Distancia entre extremos de rampas sucesivas; usando tiempos de decisión y maniobra de 5 a 10 seg. tenemos la siguiente tabla.

Velocidad Proyecto, en km/hr	30 a 40	50 a 60	70 a 80	90 a 100	110
Velocidad de Marcha, en km/hr	28 a 37	46 a 55	63 a 71	79 a 80	92
<u>Distancia L, en Metros</u>					
Minima	40.00	60.00	90.00	110.00	130.00
Deseable	100.00	150.00	200.00	240.00	260.00

C.- Velocidad de proyecto; en la tabla siguiente se indican los valores de la velocidad de proyecto en los extremos de las rampas para los diferentes valores de la velocidad de proyecto de los caminos que se intersectan.

Velocidad de proyecto en la carretera en km/hr	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Velocidad de Proyecto en los Extremos de la Rampa km/hr	30	40	45	55	65	70	80	85	90

GLORIETAS.- Son una forma especial de los entronques a nivel y se utilizan los siguientes terminos:



6.- No son adecuadas en los lugares de movimiento grande de peatones.

Ventajas de una Glorieta:

- 1.- Requieren grandes dimensiones cuando los caminos que forman la circulación en un solo sentido dentro de las glorietas da como resultado un movimiento de tránsito continuo y ordenado.
 - 2.- Los movimientos usuales de cruces oblicuos de los entronques a nivel general para el proyecto de las glorietas, hacen que a nivel se reemplaza por entrecruzamientos.
 - 3.- Todas las vueltas se efectúan con facilidad.
 - 4.- Son adecuadas para entronques de cinco o más ramas.
- 5.- Es de menor costo que un entronque a desnivel.

Desventajas de una Glorieta:

- 1.- Su capacidad es menor a la de un entronque correctamente canalizado.
- 2.- Su operación no es satisfactoria cuando el volumen de tránsito de circulación alrededor de la isleta central, la anchura de la glorieta, del número y ubicación de las ramas de ingreso y de las longitudes de entrecruzamiento requeridas.
- 3.- Son más costosas que los entronques a nivel debido a que ocupan una mayor superficie de rodamiento y mayor derecho de vía.
- 4.- Debido a la gran área que ocupan, impiden su uso en zonas congestionadas.
- 5.- Restricción topográfica debido a que se requiere una zona plana.

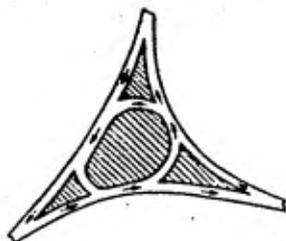
tradas y salidas, afectan directamente la operación en la glorieta.

Las pendientes en las glorietas no deberán exceder de 3%, dentro de una glorieta, la totalidad de las isletas estarán limitadas por guarniciones, para mejorar la visibilidad y servir como barrera parcial.

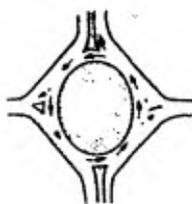
El paisaje de las glorietas deberá ser una parte integral del proyecto, la esencia del control del tránsito en las glorietas radica en la reducción de velocidad, mas la indicación de la trayectoria que deben seguir los vehículos, -- por lo tanto un paisaje ayuda a la obtención de estos objetivos, en estos paisajes se debe evitar las plantas porque -- constituyen un obstáculo lateral a la visual.

Es deseable que se tenga en las glorietas una iluminación propia y permanente así como de señales efectivas durante el día y la noche.

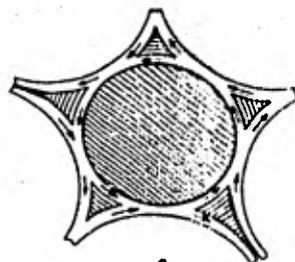
Tipos de Glorieta:



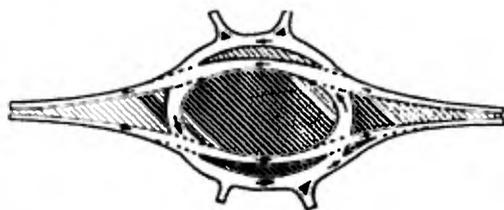
-A-
TRES RAMAS



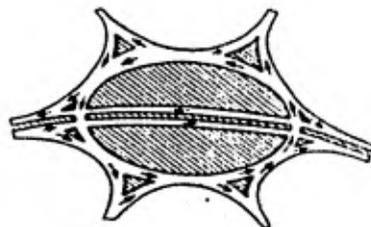
-B-
CUATRO RAMAS



-C-
CINCO RAMAS



-D-
RAMAS MÚLTIPLES



-E-

PASOS A NIVEL Y A DESNIVEL

Pasos a nivel; es el cruzamiento a una misma elevación de un camino con personas, animales u otra vía terrestre.

A) Pasos para peatones; consiste en proporcionar unas fajas de

seguridad marcadas en el pavimento por medio de rayas blancas continuas, con un ancho variable entre 0.15 m y 0.25 m; la raya del lado donde se aproximan los vehículos deberá ser más ancha hasta de 0.60 m; las rayas deberán ser transversales a la vía de circulación con una separación mayor de 1.80 m.

- B) Pasos para ganado; consiste en instalar cercas en el límite del derecho de vía que permitan el paso en puntos específicos por medio de puertas que será abierta por la persona encargada del ganado cuando se quiera pasar al otro lado de la carretera.
- C) Pasos para maquinaria agrícola; estos deben permitirse solo donde el vehículo disponga del tiempo requerido para frenar antes de llegar al vehículo agrícola.
- D) Pasos para vehículos; deberá cumplirse con las condiciones de visibilidad a fin de garantizar la seguridad del paso, además que la pendiente sea suave y este al mismo nivel en el cruce y sus vecindades tanto en el camino principal como en el de cruce.
- E) Pasos para ferrocarril; el cruce debe ser a nivel, en ángulo recto, cumplir con el alineamiento vertical y horizontal, la sección transversal y la distancia de visibilidad de parada. Los dispositivos de control y señales deberán ser claramente visible a una distancia por lo menos igual a la distancia de visibilidad de parada requerida, propor-

cionar un triangulo de visibilidad libre de obstaculos para que el conductor del vehiculo persiva el paso del tren.

Paso a desnivel; es el cruzamiento a diferente elevación de un camino con personas, animales u otra vía terrestre, sin obstaculizar el transito continuo y simultaneo.

Los pasos a Desnivel pueden ser de dos Tipos:

- A) Pasos superiores; son aquellos en que la vía principal pasa arriba de otra vía de comunicación terrestre.
- B) Pasos inferiores; son aquellos en que la vía principal pasa abajo de otra vía de comunicación terrestre.

La estructura de separación de niveles debe de adaptarse a las vías que se cruzan, en los alineamientos verticales, horizontales y las secciones transversales de estas.

Aspectos para decidir si debe ser paso superior o inferior:

- 1.- En paso inferior se advierte facilmente la presencia de la estructura.
- 2.- El paso superior es mas estetico y los conductores tienen una sensación minima de restricción.

- 3.- Cuando no haya ventajas para elegir un paso superior o un inferior en terreno montañoso o con lomerío debe preferirse el tipo que proporcione la mayor distancia de visibilidad en el camino principal.
- 4.- Un paso superior ofrece las mejores posibilidades para la construcción por etapas, tanto del camino como de la estructura.
- 5.- Pueden eliminarse problemas de drenaje en un paso superior sin alterar la pendiente del camino secundario.
- 6.- Un paso superior requiere de un ancho general más grande por lo que las dimensiones de la estructura serán mayores por lo que dependerá la elección del costo de la estructura.
- 7.- Un paso inferior puede ser más ventajoso en donde el camino principal puede construirse apegándose al terreno natural sin cambios bruscos de pendiente, lo cual significa una economía de terracerías y de pavimento.
- 8.- Cuando un camino nuevo cruza otro que lleva un gran volumen de tránsito, un paso superior para el camino nuevo -- causará menos perjuicios al camino existente y menos molestias a los usuarios, además de que generalmente no requiere construir una desviación.

SEÑALES.- Existen tres tipos básicos de señales, que son:

- a) Preventivas
- b) Restrictivas
- c) Informativas

Señales preventivas; son aquellas destinadas a prevenir un accidente. Su finalidad es darle al usuario un aviso anticipado de la existencia de un peligro potencial. La forma aceptada es la de un cuadrado, sus colores deben ser: Fondo amarillo, con símbolo y ribete negros.

Señales restrictivas; son aquellas que tienen la finalidad de expresar en el camino la existencia de alguna prohibición o limitación reglamentaria, su forma será rectangular y deberá ser colocada con la dimensión mayor en forma vertical, sus colores deberán ser: Fondo blanco, círculo rojo, símbolo, letras y ribete negros, cuando existe prohibición total, otra banda roja cruzará en diagonal y estará sobre puesta al símbolo al que se refiera la prohibición.

Señales informativas; tienen como finalidad proporcionar alguna información al usuario, ya sea de tipo turístico, direccional etc. su forma será rectangular y deberán ser colocadas en sentido horizontal, sus colores deberán ser: Fondo --

blanco, con letras y ribete negro, además - no tienen limitaciones en su tamaño y se recomienda que no tenga mas de tres renglones de texto.

SEÑALES PREVENTIVAS



SEÑALES RESTRICTIVAS



SR-6



SR-7



SR-8



SR-9



SR-10



SR-11



SR-12



SR-13



SR-14



SR-15



SR-16



SR-17



SR-18



SR-19



SR-20



SR-21



SR-22



SR-23



SR-24



SR-25



SR-26



SR-27



SR-28



SR-29



SR-30



SR-31



SR-32



SR-33



SR-34

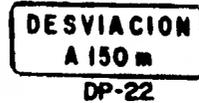
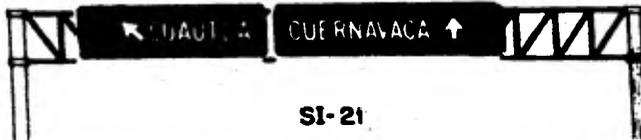
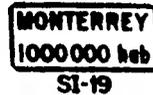
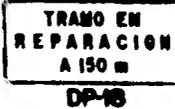
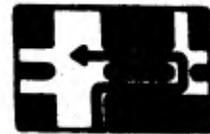
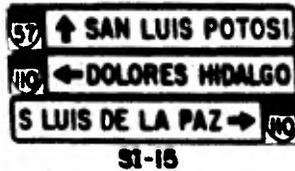
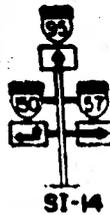
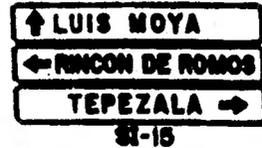


SR-35

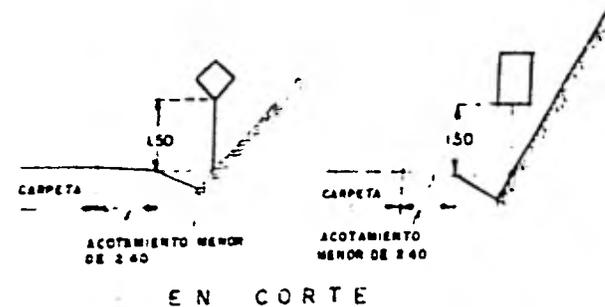
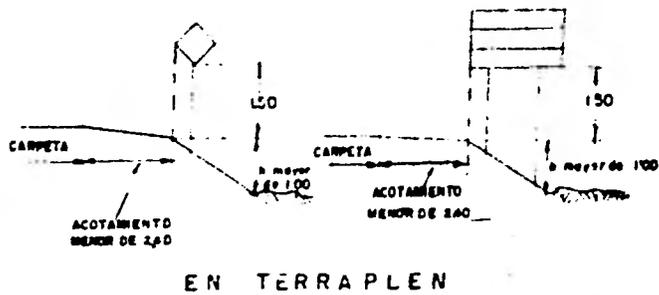
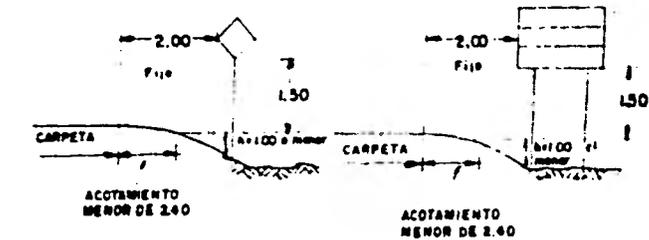


SR-36

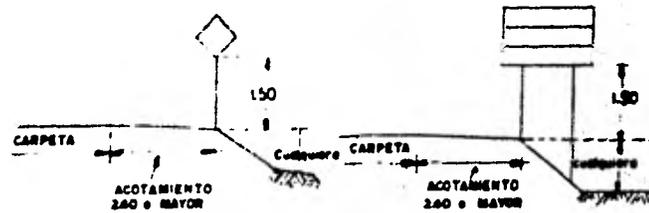
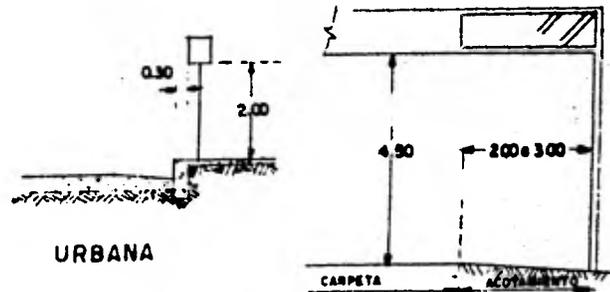
SEÑALES INFORMATIVAS



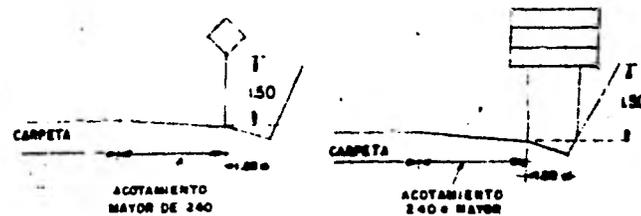
ALTURA Y DISTANCIA LATERAL DE LAS SEÑALES.



EN CORTE



EN TERRAPLEN



EN CORTE

NOTA. DIMENSIONES EN METROS.

TUNELES.- Los tuneles carreteros ofrecen ciertas peculiaridades o sea que necesitan una fuerte ventilación para depurar el aire, manteniendolo en buenas condiciones tanto de visibilidad como de salubridad. Como consecuencia de esta necesidad, la sección excavada ha de ser mucho mayor que la estricta para el galibo, porque hay que instalar superior o inferiormente las conducciones de aire viciado y puro, aparte de las correspondientes a los circuitos electricos y de control.

Estos tuneles deben estar alumbrados y señalizados: - los tramos extremos han de tener una iluminación mucho mas intensa que el resto del tunel para habituar a los conductores - al cambio de la luz natural exterior a la artificial interior, - en tuneles rectos y largos, es necesario quebrar la planta o el perfil longitudinal cerca de los extremos para evitar a los conductores el efecto psicologico que produce al estar viendo durante todo el tiempo del recorrido el punto luminoso de la boca de salida.

Hay dos tipos de tuneles: Los que atraviesan obstaculos orograficos y los que cruzan inferiormente cursos de agua.

CAPITULO VII
DRENAJE DE CAMINOS

Drenaje es el conjunto de obras necesarias para reducir los perjuicios que provoca el agua que llega a las diferentes partes de una obra vial y dar salida a aquella cuyo acceso al camino sea inevitable. El agua llega a los caminos por: -
a) Precipitación directa, b) Por escurrimiento del terreno adyacente, c) Por creciente de ríos o arroyos, d) Por infiltración através del sub-suelo de camino.

Para que un camino tenga buen drenaje debe evitarse - que: a) El agua escurra en cantidades excesivas por el camino- destruyendo el pavimento y originando la formación de charcos- o baches, b) Que el agua de las cunetas laterales remoje y re blandesca los terraplenes originando asentamientos con el consiguiente perjuicio de revestimientos y pavimentos, c) Que los cortes se saturen de agua con peligro de derrumbes o deslisa- mientos de dichos cortes o del camino, d) Que el agua de arro- yos y hondonadas sea remansado por los terraplenes con el peli- gro de deslavarlos o destruirlos, e) Que el agua subterránea- sature la sub-rasante y reduzca la capacidad de carga del sue- lo y destruya el camino.

El drenaje debe preverse y estudiarse desde la localización misma del camino. Así pues el ingeniero siempre tratará de localizar el camino en suelos estables, permeables y naturalmente drenados

DRENAJE SUPERFICIAL.- El drenaje superficial, suele dividirse en transversal y longitudinal.

El drenaje longitudinal comprende :

Cunetas.- Son zanjas que se hacen a ambos lados del camino con el único objeto de recibir el agua pluvial de la mitad del camino (o de todo él en las curvas), y el agua que escurre por los cortes del camino y a veces también la que escurre en pequeñas áreas adyacentes.

Al pasar las cunetas del corte al terraplen, se prolongan a lo largo del pie del terraplen o sea siguiendo una dirección paralela a la intersección del terraplén con el terreno natural, dejando una berma o vanqueta conveniente entre dicho pie y el borde de la zanja o cuneta.

Ordinariamente las cunetas se proyectan para que den capacidad a fuertes aguaceros de 10 a 20 minutos de duración, generalmente se considera suficientemente seguro proyectar las cunetas para que tomen el 70 al 80% de la precipitación plu---

vial de la mitad del ancho total de la corona.

La practica actual es hacer las cunetas en forma de V con un tirante de 30 cms. Abajo de la subrasante y lleva la misma pendiente del camino. Se ha seguido la costumbre de zampear con mortero de cemento en proporción 1:8 y en casos muy especiales de concreto.

Guarniciones.- Son bordos (trapezoidales) ubicados en los hombros del terraplén que encausan el escurrimiento superficial y evitar la erosión de los taludes.

Las guarniciones que generalmente se construyen a lo largo de los caminos y ambos lados en tramos rectos y se interrumpen en curvas puesto que el agua superficial drena hacia la cuneta o hacia la parte interior del camino en donde se construyen guarniciones, estas pueden construirse de: Concreto hidraulico, concreto asfaltico, mezcla de arena y FR3, mampostería de suelo cemento, todo dependiendo de la importancia del camino. La sección mas usual es trapesoidal y son de 15x30x20 para concreto hidraulico, de 12x15x15 para concreto asfáltico y las de mampostería pueden tener dimensiones diferentes. .

Como complemento a las guarniciones se construirán -- lavaderos que podran ser de mampostería o concreto y en algunos casos metálicos; se construyen de 30 cm. de ancho cada bor

do en forma en U y de 50 cm. de altura, y en el caso de concreto de 0.10 m de ancho los bordos y de 30 cm de piso y para lavaderos metálicos se usan medios tubos. Los lavaderos deberán construirse generalmente de 100 a 150 metros uno de otro.

Contra-Cunetas:.- Son pequeños canales que se construyen a un lado del camino y únicamente en la parte superior de éste, para evitar que llegue a las cunetas más agua que -- aquella para la cual está proyectada.

Las contracunetas deberán construirse más o menos normales a la pendiente del terreno con el fin de evitar que llegue al camino el agua que corre por los taludes de los cortes. Cuando el camino sigue la dirección de la pendiente del terreno no son necesarias las cunetas.

El área hidráulica de las contra-cunetas se determinan también en función del área por drenar y de la precipitación. Por ser obras que conducen mayor gasto que las cunetas, tienen mayor sección. En material muy compacto, usualmente la sección está formada por una base de 0.50 m de ancho con taludes de 1x1.

Drenaje Superficial Transversal.- Este tipo de drenaje tiene por objeto dar paso al agua que por no poder desviarse en otra forma, tiene que cruzar de uno a otro lado del camino. Ordinariamente se denominan "Obras de Arte" y comprenden los puentes y las alcantarillas.

Los puentes, son estructuras mas o menos grandes (de mas de 6 m. de claro) que se usan para salvar un obstaculo natural.

Las alcantarillas, son estructuras pequeñas de menos de 6.00 m que se usan para dar paso al agua de pequeños arroyos o al agua de lluvia a través del camino

La diferencia precisa que más distingue a los puentes de las alcantarillas, es que éstas llevan colchón de tierra y los puentes no.

Alcantarillas.- Una alcantarilla consiste en dos partes: El cañón y 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 la erosión alrededor del barril, para guiar la corriente y para evitar que el terraplen invada el canal. No obstante, los muros de cabeza se pueden omitir alargando el cañón.

Las alcantarillas se pueden clasificar de la siguiente forma:

a) Alcantarillas de tubo.- Estas tienen el cañon hecho con alguno de los siguiente materiales: Concreto reforzado y metal corrugado (lámina de acero), todos estos tipos son adecuados para ser cimentados en todo tipo de terreno. En general son económicos para pequeñas áreas de drenajes en ciertos casos, también resultan económicos para grandes áreas de drenaje empleando tubos o bateria de tubos al máximo tamaño disponible.

Tubos de concreto.- Estos son los mas durables. Se hacen de concreto reforzado y colocan ya sea a tope o machimbros.

Tubos de lámina corrugada.- Tienen como grandes cualidades, su facilidad de instalación y el poder usar inmediatamente, lo que hace que su empleo sea lógico y económico en ciertos lugares.

b) Alcantarillas de Cajón.- Los dos tipos generalmente favorecidos de alcantarillas de cajón, son el de tipos de fondo y lados de concreto simple con cubierta de concreto reforzado y el tipo de cajón reforzado en sus cuatro lados

c) Alcantarillas de Bóveda.- Son los tipos más indicados -- cuando el terraplén es alto y la cimentación firme. Las bóvedas son semejantes a las alcantarillas de cajón, salvo que las cubiertas van en arco. Se usan arcos de mampostería, de concreto simple o de concreto reforzado. Se usan cuando las condiciones de apariencia lo requieren o cuando resultan económicas por disponer de materiales a la mano.

En las alcantarillas de cajón y bóvedas se construyen partes suplementarias, aguas arriba y aguas abajo de la estructura para evitar la erosión del terraplén, formando un ángulo determinado con el eje de la alcantarilla. A estas partes suplementarias se les da el nombre de aleros.

Las alcantarillas se localizan en el fondo de un cauce, bien sea arroyo o canal, procurando no forzar los cauces -- con objeto de hacerlos normales, porque éstos encarecen la conservación, no debiendo tratar de reducir el número de alcantarillas, concentrando en una sola el agua proveniente de una cuneta larga es decir que conviene construir varias alcantarillas pequeñas que llevan mejor función que una alcantarilla -- grande.

Area Hidraulica necesaria

a) Por comparación.- Se aplica cuando se trata de construir una nueva alcantarilla en un lugar donde ya habia otra alcantarilla existente en el mismo arroyo. En este caso, sirven de bases las huellas visibles o los informes de los lugareños, relativos al nivel mas alto alcanzado por el agua durante un periodo de tiempo razonable, en la alcantarilla existente.

b) Procedimiento Empírico.- Consiste en emplear una formula por medio de la cual se calcula el área hidraulica de la alcantarilla en función del área por drenar y las características de la cuenca. Este procedimiento es el único aplicable si no existe ninguna estructura y especialmente cuando no hay datos respecto al gasto máximo del arroyo, no de la precipitación pluvial

Generalmente se usan las fórmulas de talbot para calcular el área hidraulica.

$$a = 0.183 c \sqrt{\Delta^3}$$

a = Area hidraulica que deberá tener la alcantarilla

Δ = Superficie por drenar en hectáreas.

c = Coeficiente que depende de las características topográficas del terreno (0.20 > c < 1.00 de plano a montañoso).

c) Procedimiento de Sección y Pendiente.- Este método reporta datos exactos, cuando el cauce es bien definido y las huellas de los niveles extraordinarios sean claras y precisas: - que corresponden realmente a la creciente máxima y que se escoja un coeficiente de rugosidad adecuada a las características del arroyo.

El gasto máximo se calcula en función de la pendiente hidráulica que es aproximadamente igual a la del fondo del arroyo y de los elementos hidráulicos de la sección: Área hidráulica, perímetro mojado, pendiente y coeficiente de rugosidad. Obteniéndose primeramente la velocidad en función de los parámetros mencionados anteriormente y el gasto por medio de la ecuación de continuidad ($Q = v\Delta$).

d) Procedimiento racional, mediante la precipitación pluvial-este método es aplicable cuando se cuenta con datos de precipitación. En este método la alcantarilla se proyecta de tal manera que pueda dar paso a una cantidad de agua determinada por el excurrimiento probable de agua de lluvia.

Las formulas mas usuales son:

Burkli-ziegler.- Empleada para un aguacero intenso en una área tributaria pequeña (menos de 250 Has.).

$$Q = 0.22 CA h \sqrt{\frac{S}{\Delta}}$$

Q = gasto de la alcantarilla en M³/seg, aportado por cada hectárea tributaria.

El coeficiente "C" depende de la clase de terreno que forma la cuenca o área tributaria de la alcantarilla. Usando ordinariamente el coeficiente C = 0.25 que es suficientemente liberal.

h = precipitación en cm/hora correspondiente al aguacero más intenso (de 10 minutos de duración total).

S = pendiente del terreno en metros por Km.

Δ = número de hectareas tributarias.

Fórmula de Dikens.- para calcular el gasto máximo, debido a una lluvia de 24 horas de duración en una área grande o sea de 0.25 Km² a 250 Km².

$$Q = 0.01386 c \sqrt{A^3}$$

Q = Gasto de la alcantarilla en m³/seg aportado por toda el área.

A = Area tributaria en Km.²

El coeficiente "C" depende de la clase de terreno y de la altura total de lluvia en 24 horas.

La costumbre que se sigue para el cálculo de alcantarillas es la de proporcionar el área hidráulica, de modo que de preferencia nunca trabaje como conducto lleno, porque ello supone que el nivel del agua se eleva a la entrada de la alcantarilla, lo que producirá inundaciones de los terraplenes adyacentes. El proyecto hidráulico de una alcantarilla se refiere al cálculo de un tubo corto ya que su longitud es menor de 50 veces su diámetro.

Es conveniente que una alcantarilla tenga la misma pendiente que el lecho de río, si tiene una pendiente mayor tiende a azolverse en el extremo inferior (aguas abajo) y si tiene una pendiente menor tiende a azolverse en el extremo superior (agua arriba).

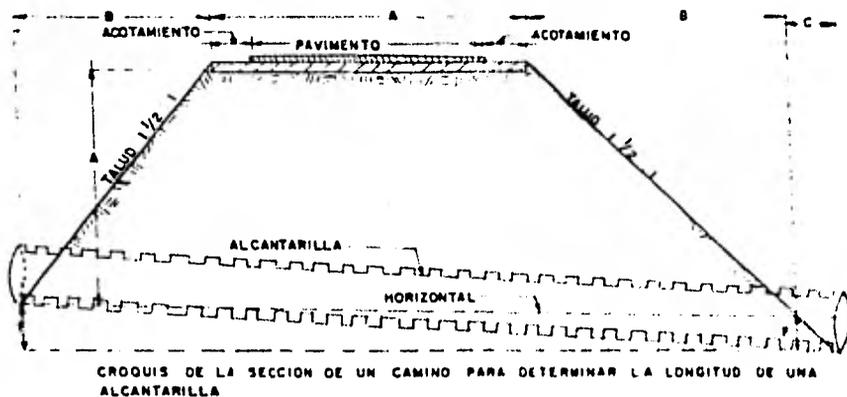
El colchón mínimo para que las alcantarillas no sufran deterioro por los esfuerzos tan grandes transmitidos por el tránsito es de 60 cm.

La longitud que debe tener una alcantarilla depende del ancho de la corona del camino, de la altura de terraplen, del talud del mismo, de la pendiente de la alcantarilla y del envejecimiento del mismo.

El cañón de la alcantarilla debe ser lo suficientemen-
te largo para que no corra el peligro de obstruirse en sus ex-
tremos con material del terraplen que se deslave durante las -
lluvias.

La altura de los aleros va en disminución hacia su extre-
mo. Esa disminución depende del ángulo de los aleros y del --
talud natural del terreno:

La mejor manera de determinar la longitud de una al--
cantarilla es hacerlo mediante un croquis de la sección trans-
versal del tarraplen y un plano perfil de la corriente como se
muestra en la siguiente figura.



El proyecto de las alcantarillas casi siempre se reduce a tomarlas de las tablas de proyectos tipo de la SAHOP, en las cuales bienen anotadas las dimensiones generales de cada tipo de alcantarilla y lo que se hace es adaptarlas para cada caso en particular.

Los puentes son estructuras para dar paso a una obra-vial sobre agua o sobre una depresión natural o artificial, -- estas estructuras generalmente se apoyan sobre pilas o pilotes-- para evitar que la cimentación sea afectada por la erocion causada por las corrientes de agua.

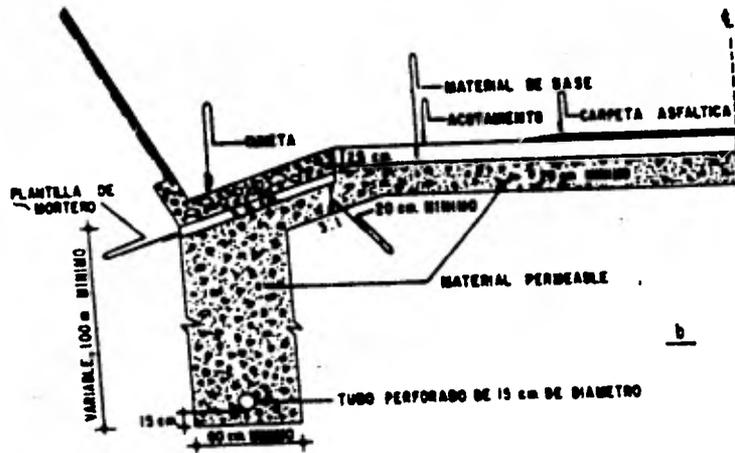
Este tipo de obras tienen una longitud mayor de 6 metros y la superficie de rodamiento esta alojada directamente -- sobre la estructura sin haber necesidad de colchón.

DRENAJE SUBTERRANEO.-- La estabilidad de los cortes, terraplenes y pavimentos de una carretera depende fuertemente-- del buen control que se tenga de los flujos de agua existentes en el interior de las masas del suelo.

Los diferentes métodos que hasta la fecha se han usado para controlar las condiciones de flujo del agua en terracerías y para mejorar las condiciones de estabilidad en cortes, terraplénés y pavimentos, pueden agruparse en los siguientes tipos principales:

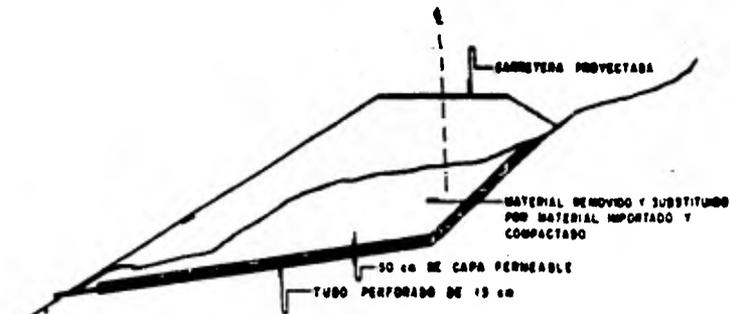
a) Subdrenes de zanjas y capas permeables.- Consisten en una zanja de profundidad adecuada (se ha llegado frecuentemente a tres o cuatro metros) prevista de un tubo perforado en su fondo y rellena de material filtrante; el agua colectada se desaloja por el tubo de gravedad a algún bajo o cañada en que su carga sea ya inofensiva.

El diámetro del tubo perforado es del orden de 15 cm. y se coloca sobre una plantilla de material permeable del orden de 15 cm. de espesor. Estos subdrenes se construyen longitudinalmente al camino, en sus acotamientos y al pie de los cortes; es frecuente su ubicación bajo las cunetas impermeabilizadas.- Su efecto es desviar las aguas que aflorarían por el talud del corte o en la corona del camino, bajo el pavimento, captando-- las, con lo que se modifica favorablemente la dirección de las fuerzas de filtración, al proporcionar una salida mas expedita y se protege debidamente la estructura del pavimento.



Sub-drina y sub-base permeable

b) Construcción de una capa permeable con remoción -- del material.- Cuando existe una capa saturada de suelo de mala calidad y de un espesor relativamente pequeño (por ejemplo, no mayor de 4 ó 5 m.) y abajo de ella hay materiales de mucha -- mejor calidad, puede pensarse en remover totalmente el suelo -- malo en una faja bajo el camino por construir y en un ancho -- conveniente. La excavación para la remoción podrá entonces re -- cubrirse con una capa de 50 cm A 1.0 m. de material permeable -- que actúe como subdrna de la zona; esta capa deberá estar pre -- vista de tubería perforada de captación y de tubería de desfo -- gue. Posteriormente la excavación se rellenará con material -- de buenas características debidamente compactado; sobre este -- podrá construirse el terraplén proyectado.



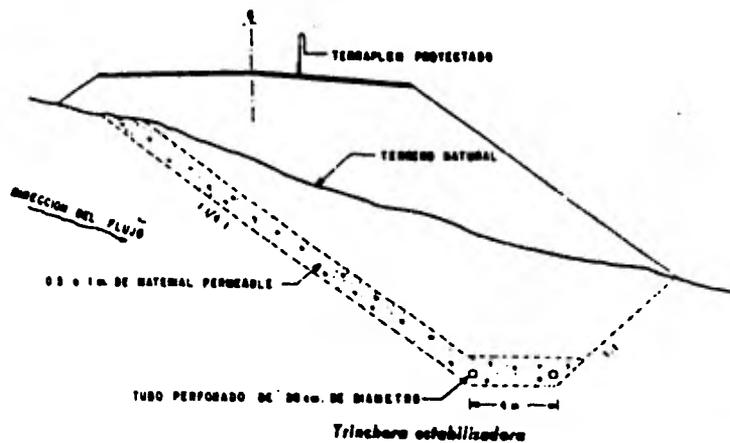
NOTA EN EL EXTREMO DE SALIDA EL TUBO NO DEBERA ESTAR PERFORADO
 Remoción de material blando y colocación de una capa permeable bajo terraplén

c) Trincheras estabilizadoras.- Cuando en una ladera existe flujo de agua y esta formada por grandes espesores de materiales cuya estabilidad se ve amenazada por él y sobre esa ladera ha de construirse un terraplén, la remoción de los materiales malos y substitución por otros mejores resulta ya difícil y, desde luego antieconomica. En estos casos puede pensarse que basta captar el flujo y eliminar el agua en una zona bajo el terraplén y profundidad y ancho suficiente para garantizar la estabilidad local de terraplén.

La captación se logra construyendo una trinchera excavada bajo el lugar en que se construirá el terraplén.

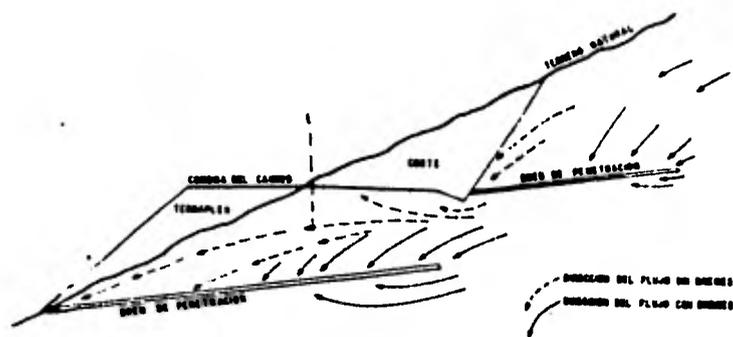
El talud aguas arriba de la trinchera y su fondo deberá recubrirse con una capa de material filtrante de 50 cm a 1m de espesor, provista de tubería perforada para captación y otra, colocada transversalmente, para desfogue. Posteriormente

te la trinchera deberá rellenarse con material compactándose debidamente, pudiéndose emplear para ello el mismo producto de la excavación. La inclinación de los taludes de la trinchera-debera ser suficiente paragarantizar su estabilidad durante su-construcción.



d) Drenes transversales de penetración.- Son tube---
 rías perforadas que penetran en el terreno natural en dirección
 transversal a la de la carretera para captar las aguas inter--
 nas y para abatir las presiones neutrales. Son especialmente -
 indicados tanto para mejorar la estabilidad de cortes como la-
 del terreno de cimentación de terraplénés. Se construyen efec-
 tuando primeramente una perforación de 7.5 a 10 cm. de diámetro,
 luego se coloca en ella un tubo de acero perforado de 5 cm, de

diámetro, generalmente cubierto de asfalto, para protección contra corrosión, o galvanizado. La longitud de los drenes de penetración son muy variables, pero pueden llegar a 100 m. o más; su inclinación con la horizontal suele variar desde 3 a 20%. - Los drenes se conectan a un colector exterior, que es un tubo de unos 20 cm de diámetro y que se encarga de eliminar las - - aguas a donde ya no sean perjudiciales.

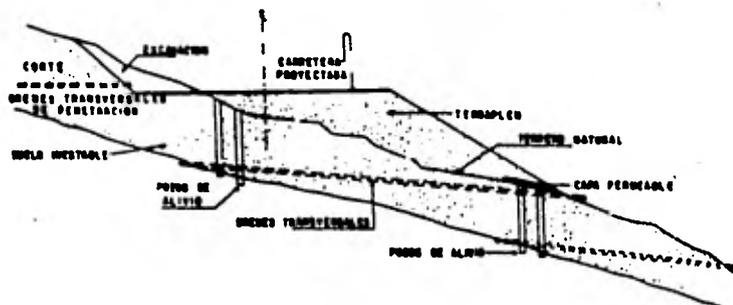


Esquema de la influencia de los drenes transversales de penetración en un corte en balcón

e) Pozos de Alivio.- Son perforaciones verticales -- del orden de 60 cm. de diámetro, dentro de las cuales se coloca un tubo perforado de 15 cm de diámetro o algo similar; el espacio entre el tubo y las paredes de la perforación se rellena con un material filtrante. Las profundidades han llegado-

a ser hasta de 20 m y se colocan en la zona en que se capte el flujo perjudicial o sea ladera arriba de la zona en que se colocará el terraplén y proximo a éste los pozos de alivio deberán de tener un sistema colector que eliminen las aguas que -- se captan.

El espaciamiento entre pozos de alivio es muy variable, dependiendo del caso que se trate y lo mismo puede decirse del número de hileras en que se dispongan; es frecuente un espaciamiento entre 5 y 10 m. y una disposición en dos hileras traslapadas.



Pozos de alivio combinados con drenes transversales de penetración

f) Galerías filtrantes. Su uso es particularmente -- justificado cuando la zona inestable es de grandes proporcio-- nes.

La galería filtrante, en esencia, no es más que un --

tunel de sección adecuada para permitir su propia excavación y localización en la parte que se considere mas eficiente para captar los flujos de agua perjudiciales para la estabilidad -- del talud o del suelo de cimentación del terraplen considerado. El revestimiento de la galería debe ser permeable al grado de permitir su trabajo como dren; frecuentemente, la excavación realizada requiere ademe provisional o no, se rellena simplemente con material filtrante en el que se aloja un tubo perforado de las dimensiones adecuadas, de manera que el material rellene el espacio entre el suelo y las paredes de la excavación; tambien es frecuente disponer drenes de tubos perforados saliendo radialmente de la galería, a fin de captar mas eficientemente las aguas y aumentar la zona de influencia para el abatimiento de las presiones naturales.

CAPITULO VIII
CONSTRUCCION DE CAMINOS

La construcción de caminos contempla las siguientes etapas:

- I) Desmante
- II) Despalme
- III) Drenaje
- IV) Construcción de terracerias
- V) Control de Calidad

I) DESMONTE. Consiste en limpiar la vegetación existente en el derecho de vía y en las áreas destinadas a bancos, comprende la ejecución de las operaciones siguientes:

Tala = Cortar árboles y arbustos

Roza = Quitar la maleza, hierba y residuos de las siembras

Desenraice = Sacar los troncos con raíces

Limpia y quema = estibar el producto del desmante y quemarlo.

II) DESPALME. Consiste en la remoción de la capa superficial del terreno natural en los sitios destinados a bancos, cortes y terraplén, esta remoción se hace en el caso de desplante de terraplén a una profundidad fijada y dentro de los 500 mts.-contiguos adelante de cada frente de ataque de las terracerías.

III) DRENAJE. Como se mencionó en el capítulo anterior el drenaje debe preverse para su construcción una vez que se localizó en el terreno el camino y deberá procurarse por todos los medios que sea adecuado y eficiente.

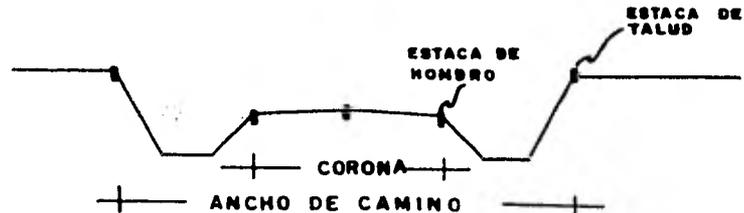
IV) CONSTRUCCION DE TERRACERIAS. Previo al inicio de los trabajos de construcción, se traza la vía del camino mediante estacas en los puntos característicos, como el eje de trazado, los datos de corte y terraplén, el extremo de las pendientes y rampas, los vértices de las curvas y los puntos que definen las secciones transversales y movimiento de tierras.

Las primeras estacas se ponen en la línea central, en las que marcan la profundidad del corte o la altura del terraplén, y las estacas de talud o ceros 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 terraplén altos.

Cuando el nivel de terracerías se va aproximando a la --

subrasante son necesarias mas estacas y se colocan 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.

TERRAPLEN EN CORTE



TERRAPLEN A PRESTAMO



FACTORES FUNDAMENTALES QUE DETERMINAN EL PROCESO CONSTRUCTIVO.-

A) Especificaciones.- La construcción de terracerfas, de-
berá apegarse a ciertas especificaciones y normas editadas y apro-
badas antes de la realización del proyecto.

Estas especificaciones son adoptadas, y en ellas se deta-
llan las condiciones que deben satisfacerse durante la ejecución-

de los trabajos y los materiales empleados, además indicarán la forma de medición y pago, y deslindaran los derechos y obligaciones del contratista por el tiempo que dure la obra, ejemplo de estas especificaciones en nuestro país:

Especificaciones generales de construcción de carreteras de la SAHOP. Normas generales y técnicas de construcción de la SRH. etc.

B) Ejecución de las excavaciones.

- Excavaciones a media ladera se atacan en la línea, con máquinas que trabajan unas junto a las otras perpendicularmente al eje de la plataforma. Siempre que es posible, los materiales se utilizan en el mismo perfil, con el objeto de reducir al mínimo el transporte y lograr con esto una solución económica. Si la pendiente transversal del terreno es grande, se producen frentes de excavación muy grandes, entonces las excavaciones se hacen en varios escalones.

- Las trincheras de pequeña altura de 1.50 a 2.00 m, en el caso de movimiento de tierras a mano, y hasta 6 metros en el caso de movimiento de tierras mecanizados, se pueden atacar a plena anchura, las máquinas mas adecuadas en este caso, son la retroexcavadoras.

- Las trincheras profundas pueden atacarse, en escalones de 1.25 a 2.00 m. de altura, en la totalidad de la anchura, eliminando los materiales de excavación por un extremo en una cuneta lateral mediante camiones. Si los movimientos de tierra son hechos con máquinas, la trinchera se ataca también por capas, pero la cuneta lateral no es necesaria o sea que las máquinas de excavación, circulan sobre el mismo plano que las máquinas de transporte.

Cortes.- Como cortes se considera a las excavaciones -- realizadas en el terreno natural y pueden ser excavación en corte, en ampliación o abatimiento de taludes, en derrumbes y en rebajes de terraplenes con objeto de formar los terraplenes, los -- taludes, las cunetas y la subrasante.

Las excavaciones en los cortes se ejecutarán procurando seguir un sistema de ataque que facilite el drenaje del corte.

Para formar la capa subrasante la excavación se hará con una profundidad de 0.30 m. abajo del nivel de subrasante dependiendo del tipo de material, esta excavación se hará bajo toda la sección de la cama. Cuando se considere necesario, esta dimensión de sobre excavación podrá ser aumentada.

El nivel definitivo de la subrasante se obtendrá relleno

nando la cama de corte con material adecuado.

Al construir los terraplénés y para evitar los deslizamientos en laderas lisas con pendientes transversales mayores del 25% se construirán escalones de liga dentro del área donde se proyecten terraplénés. Los escaiones tendrán una plantilla de 3.50-m. mínimo cuando se excaven en material A o B y 1.0 m en material C, aunque esta dimensión puede variar dependiendo del equipo disponible. Con objeto de lograr el grado de compactación fijado en toda la sección del terraplén, los terraplénés se construirán con una corona mas ancha que la teorica del proyecto ya que no es posible tener la compactación en las orillas. Además se construirá una cuña de sobre ancho adicional o talud diferente que se encontrará con el talud de proyecto en el punto de los cerros.

Terraplén con préstamos.- Los préstamos son excavaciones que se ejecutan en los lugares fijados a fin de obtener los materiales para formar los terraplénés no compensados. Los préstamos pueden ser laterales y/o de banco, los primeros se emplean justo frente donde se construirán los terraplénés y puede estar paralelos a 20, 40 o 60 m.

Los pasos para la construcción del terraplén con préstamo son:

Extracción de los materias en los préstamos

Carga

Acarreo

Colocación del material en el lugar

Compactación

Recorte de cuñas

Afinamiento del Material

Los terraplénés se construirán por capas sensiblemente horizontales en todo el ancho de la sección y de un espesor aproximado uniforme de 20 a 30 cms. y en el caso de rocas fragmentadas el espesor de las capas será el mínimo que permita el tamaño mayor del material.

En la ampliación de coronas de terraplenes ya construidos o en elevaciones de subrasante en términos generales se recortará horizontalmente la parte superior del terraplén hasta la profundidad que se fije vaciando el producto de ese corte a los lados del terraplén ya construido compactando ese material debidamente y posteriormente se seguirá construyendo ese terraplén hasta la altura proyecto por capas que necesariamente deberán ser compactadas.

Para dar por terminada la construcción de un terraplén incluyendo su afinamiento se verificará su alineamiento, el perfil, seccionamiento, anchura y acabado dentro de ciertas tolerancias.

C) Mediciones cualitativas de las terracerías:

Pruebas de laboratorio.

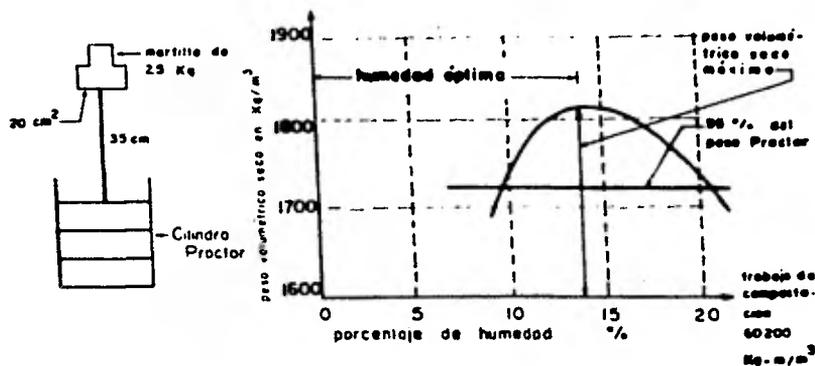
Prueba proctor.- Es una correspondencia entre el peso - volumétrico seco de un suelo compactado y su resistencia, establecida por R.R. proctor. El equipo para hacer pruebas de compactación es económico y sencillo y se realiza como sigue:

Se toma una muestra representativa del suelo a compactar, de humedad conocida.

Se toma un cilindro de 4 pulgadas de diámetro por 4 1/2-pulgadas de altura, se llena en tres capas aproximadamente iguales con material de prueba. Cada capa, se compacta con 25 golpes de un martillo de 2.5 Kg. con un área de contacto de 20 cm². el que se deja caer desde una altura de 35 cm. 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 grado de humedad, con lo que se obtiene pares de valores humedad-peso volumétrico seco. Con estos pares de valores, se dibuja una gráfica, donde se observa que hay un cierto contenido de humedad-

para el cual el peso volumétrico es máximo, este peso se conoce como peso volumétrico seco máximo (P.V.S.M.), o peso proctor, y el contenido de humedad, como "Humedad Óptima".



PRUEBA PROCTOR

Por ejemplo, si el proyectista especifica 95% proctor en el caso de la gráfica tenemos:

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

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

es decir, el constructor deberá obtener un peso volumétrico seco mínimo de 1729 Kg/m³ en ese material.

Prueba Porter.- Consiste en tomar una muestra del material a probar y se seca.

Se pasa por la malla de 1" y se determina el porcentaje en peso, retenido en la malla, si el porcentaje es menor del 15% se usará para la prueba el material que paso la malla, si el porcentaje es mayor del 15% se prepara, del material original, una muestra que pase la malla de 1" y que sea retenida en la malla -- No. 4 de esta muestra, se pesa un tanto igual al peso del retenido y se agrega al material que paso la malla de 1", con este nuevo material, se procede a la prueba a 4 Kg. de la muestra así preparada, se le incorpora una cantidad de agua conocida y se homogeniza el material.

Con este material se llena en tres capas, un molde metálico de 6" de diámetro por 8" de altura con el fondo perforado. -- Cada capa se pica 25 veces con una varilla de 5/8" de diámetro -- por 30 cm. de longitud, con punta de bala.

Se aplica la carga gradualmente de tal manera que en 5 minutos se alcance una presión de 140.6 Kg/cm^2 , la cual debe mantenerse durante un minuto, e inmediatamente se descarga en forma gradual durante un minuto, si al llegar a la carga máxima no se humedece la base del molde, la humedad ensayada es inferior a la -- óptima.

Se prosigue por tanteos hasta que la base del molde humedezca hasta alcanzar la carga máxima.

La humedad de esta 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 Kg/m^3 , y el diseñador 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 de Campo

Método de la medida física de peso y volumen.- Sirve para medir en la obra si se ha alcanzado el peso volumétrico especificado. El principal problema radica en la determinación de la humedad para poder calcular el peso volumétrico seco en función del peso volumétrico húmedo, que es el que se obtiene en las pruebas de campo. Este método se lleva a cabo como sigue:

Se excava un agujero de 10 a 15 cm. de diámetro a la misma profundidad de la capa por probar.

El material excavado es cuidadosamente recogido y pesado, se seca para determinar la humedad y el peso volumétrico seco.

El volumen del agujero es medido. El método usado generalmente es llenandolo con una arena de peso volumétrico constante, que se tiene en un recipiente graduado.

Conocidos el peso seco de la muestra y el volumen del -- agujero, se calcula el peso volumétrico seco de la muestra, que -- debe ser igual o mayor que el peso volumétrico seco especificado.

Método Nuclear.- Consiste en un bloque de plomo que con tiene un isotopo radiactivo y un tubo Geiger.

El bloque de plomo se coloca sobre la capa a probar, el número de partfculas que llegan al tubo Geiger, esta en función -- de la masa del material que tiene que atravezar, es decir, es fun ción del peso volumétrico. Entonces la medida del indicador debe compararse con otra medida hecha en una capa que tenga el peso vo lumétrico especificado.

Estos aparatos necesitan frecuentemente calibración, no-- siempre hay una indicación clara cuando el aparato no funciona -- bien y su exactitud varia con el tipo de suelo.

Tres o cuatro pasadas del equipo de compactación con fre cuencia hacen llegar el material cerca del peso volumétrico espe-- cificado, tendiendo y compactando la siguiente capa se puede al-- canzar la compactación especificada debido al esfuerzo de compac--

tación que se trasmite a través de la capa superior. Haciendo las pruebas en la segunda cara de arriba hacia abajo, se puede evitar pasadas innecesarias.

D) Estabilidad de Taludes.- Los taludes son cualquier superficie inclinada con respecto a la horizontal que adopte la forma del terreno, se dividen en naturales (laderas) y artificiales (cortes y terraplenes), para el estudio de las carreteras se tratará de los taludes artificiales.

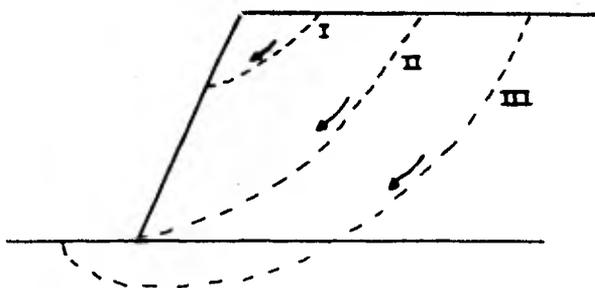
Tipos y Causas de fallas más comunes:

1) Falla por deslizamiento superficial; solo ocurre en capas superiores a causa de la falta de presión normal confinante que allí existe y a causa de los movimientos lentos.

2) Falla por movimiento del cuerpo del talud; estas son fallas de tipo curvas, debido a movimientos bruscos que afectan a masas considerables de suelo, con superficies de falla que penetran profundamente en su cuerpo. Dentro de este tipo existen dos tipos:

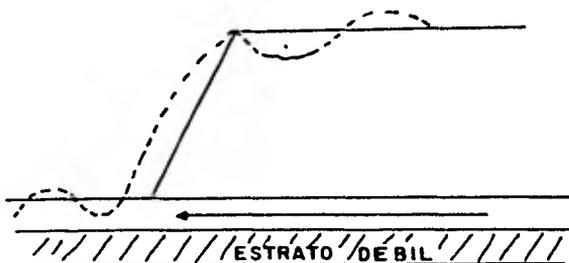
Falla por rotación; en donde el cuerpo del talud tiende a girar.

Falla por traslación; ocurren a lo largo de superficies débiles



Falla por Rotación

- I - Local
- II - Por el pie del Talud
- III - De Base

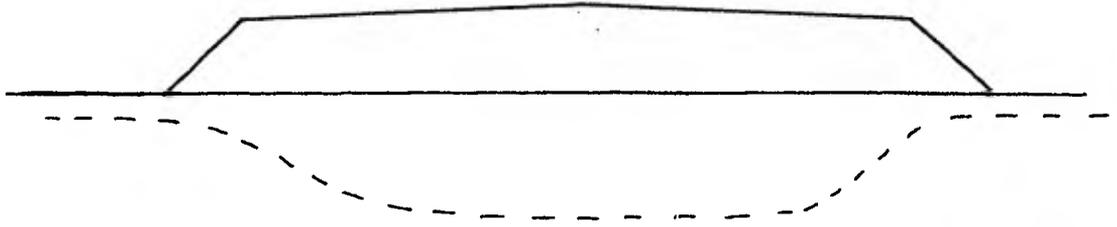


Falla por traslación - sobre un plano debil

3) Falla por licuación; ocurren cuando en la zona del deslizamiento el suelo pasa rápidamente de una condición más o menos firme a la correspondiente a una suspensión, con pérdida casi total de resistencia al esfuerzo cortante.

4) Falla por erosión; estas son también fallas de tipo superficial provocadas por arrastre de viento, agua, etc.

5) Falla por capacidad de carga en el terreno de cimentación; estas fallas son cuando la cimentación sufre hundimiento o expansiones y ponen en peligro la función de la estructura.



Para determinar el análisis de estabilidad estructural se usan métodos como por ejemplo el método sueco en el que se utiliza la hipótesis de falla circular y distintos procedimientos para resolver el problema con cada tipo de suelo (puramente cohesivos, con cohesión y fricción, estratificados).

Métodos para Mejorar la Estabilidad de Taludes:

1) Tender taludes, es conveniente solo cuando se presten las condiciones (en suelo friccionante es óptima y en cohesivo - es escasa o nula).

2) Empleo de bermas laterales o frontales, son rellenos laterales al frente del talud, se contrarresta el momento motor del talud y aumenta el momento resistente, por lo tanto aumenta el factor de seguridad.

3) Empleo de materiales ligeros, se trata de colocar como material de terraplén suelos de peso específico bajo, que por lo tanto, den bajos momentos motores.

4) Empleo de materiales estabilizantes, el fin de la solución es mejorar las cualidades de resistencia del suelo mezclando productos químicos, asfálticos, etc.

5) Empleo de muros de retención, protege a las tendencias de deslismientos, se debe tener cuidado que quede cimentado bajo la zona movilizada por la falla hipotética del talud, además se debe reunir las condiciones de drenaje (filtros de material permeable).

6) Precauciones de drenaje; se debe tomar precauciones de drenaje como cunetas, contracunetas, tuberías de filtración para así evitar las fallas por empuje del escurrimiento.

E) Atacabilidad: La naturaleza del terreno condiciona en gran importancia para determinar el método de trabajo por adoptar, el tipo de máquinas a emplear, el rendimiento de estas y el precio del movimiento de tierras, de acuerdo a la dificultad que presentan para su extracción y carga los materiales se clasifican en tres tipos:

Material A

Material B

Material C

Material A; es el blando o suelto, que puede ser eficiente

temente excavado con escrepa de capacidad adecuada para ser jalado con tractor de orugas, de 90 a 110 caballos de potencia en la barra. Además se consideran como material A, los suelos poco o nada cementados con partículas hasta de 7.5 centímetros, ejemplo limos, arenas, etc.

Material B; es el que por la dificultad de extracción y carga, solo puede ser eficientemente excavado por tractor de --- orugas con cochilla de inclinación variable, de 140 a 160 caballos de potencia en la barra, o con cargador de orugas de capacidad mínima de un metro cúbico, sin el uso de explosivos, además se consideran como material B, las piedras sueltas menores de 75 cm. y mayores de 7.5 cm, ejemplo rocas muy alteradas, conglomerados medianamente cementados, areniscas blandas y tepetate.

Material C; es el que por su dificultad de extracción, solo puede ser excavado mediante el empleo de explosivos o mediante el uso de tractores equipados, además se considera material C, las piedras sueltas con una dimensión mayor de 75 cm, por ejemplo, rocas basálticas, areniscas y conglomerados fuertemente cementados, calizas, riolitas, granitos y andesitas sanas.

Para clasificar el material se tomará en cuenta la dificultad que haya presentado para su extracción y determinar si corresponde a cualquier de los tipos A, B, o C, siempre se mencionarán los tres tipos de materiales para determinar claramente de --

cual se trata en la siguiente forma: 20-30-50 que quiere decir - 20% de material A, 30% de material B y 50% de material C y quiere decir que cada material se clasificara por separado y en proporción a su volumen se clasificara el total, por ejemplo cuando el volumen por clasificar este formado por material C alternando con bolsas de otros de menor clasificación en proporción tal que el material C constituya por lo menos el 75% de volumen total, el conjunto se considerara como material C.

V) CONTROL DE CALIDAD; Durante la Ejecución de los trabajos y paralelamente debe llevarse el control de calidad, mediante el muestreo y la ejecución de ciertas pruebas de laboratorio y campo mencionadas anteriormente.

CAPITULO IX
PAVIMENTOS

Generalidades.- El problema de la ejecución de obras de pavimentación que garantice la posibilidad de tránsito de vehículos de transporte es, en realidad, tan antiguo como el hombre mismo. Las civilizaciones clásicas de medio oriente, egipto, china, etc. Y los imperios inca y maya dejaron evidencias históricas de mucho interés respecto a redes incipientes de caminos, con un grado de desarrollo sorprendente.

Sin embargo, el verdadero auge del pavimento, en el sentido actual de la palabra, ha tenido lugar con la aparición del automóvil.

Los pavimentos romanos consistían de grandes bloques rosos con buen acomodo, directamente apoyados en el terreno natural y, en muchos casos se han conservado hasta la actualidad, los incas y los mayas construyeron sus caminos aglutinando los bloques de piedra con morteros naturales y afinando la superficie. Tresguet inicio la constitución de pavimentos por capas ordenadas según el tamaño de sus partículas constitutivas.

Las fuertes cargas actuales, su velocidad de tránsito, - el número de sus repeticiones, etc. hicieron que en la actualidad las técnicas de construcción de pavimentos hayan sufrido una evolución muy rápida, con una definida tendencia, infortunadamente no siempre acompañada por el éxito, a adquirir cada vez mejores bases teóricas que refuercen, justifiquen y permitan aplicar con buen - criterio.

Por lo tanto se entenderá por pavimento la capa o conjunto de capas comprendidas entre la subrasante y la superficie de - rodamiento de una obra vial, cuya finalidad es proporcionar una - superficie de rodamiento uniforme, resistente al tránsito de los - vehículos, el intemperismo producido por los agentes naturales y - a cualquier otro agente perjudicial. Como función estructural un pavimento tiene la de transmitir adecuadamente los esfuerzos a la subrasante, de modo que esta no se deforme de manera perjudicial.

Por subrasante se entiende la superficie de una terra-- cería terminada (siendo esta última el conjunto de cortes y terra-- plenes de un obra vial.)

Existen actualmente dos tipos básicos de pavimentos:
Rígidos y flexibles.

Los pavimentos rígidos están formados por una losa de -- concreto hidráulico, con recubrimiento bituminoso o sin él, apoya

da sobre la subrasante o sobre una capa de material seleccionado- (sub - base). Los concretos usados son de resistencia relativa- mente alta generalmente comprendida entre 210 kg/cm^2 y 350 kg/cm^2 a los 28 días. En general, se usa concreto simple y ocasionalmen- te, reforzado.

Los pavimentos flexibles estan formados por una carpe- ta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub-base; la calidad de estas capas es descendente ha- cia abajo como se muestra en un corte típico de un pavimento fle- xible en un terraplen en la siguiente figura.



Sección típica de un pavimento flexible en terraplén

En general, cualquier suelo natural es aprovechable para terracería; se exceptúan los suelos muy orgánicos o aquellos cuyo rebote elástico sea importante y, por lo tanto produzcan deforma- ciones excesivas a las capas subpryacentes.

Un pavimento está formado por diversas capas de mejor ca- lidad y de mayor costo cuanto mas cercana se encuentran a la su- perficie de rodamiento; ello es principalmente, por la mayor in- tensidad de los esfuerzos que les son transmitidos.

Para cumplir sus funciones, un pavimento debe satisfacer dos condiciones básicas; ofrecer una buena y resistente superficie de rodamiento, con la rugosidad necesaria para garantizar buena fricción con las llantas de los vehículos y con el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos; en segundo lugar, debe poseer la resistencia apropiada y las características mecánicas convenientes para soportar las cargas impuestas por el tránsito sin falla y deformaciones que no sean permanentes y que garanticen un tráfico en buenas condiciones. Un pavimento debe ser capaz de soportar los ataques del intemperismo.

Pavimentos Flexibles (funciones de las distintas capas)

Las principales funciones de la sub-base de un pavimento flexible es el de caracter económico. Se trata de formar el espesor requerido del pavimento con el material más barato posible. - Todo el espesor podría construirse con un material de alta calidad, como el usado en la base, pero se prefiere hacer aquella más delgada y sustituirla en parte por una sub-base de menor calidad aun cuando esto traiga consigo un aumento en el espesor total del pavimento.

Otra función de la sub-base es la de actuar como dren para desalojar el agua que se infiltre al pavimento y para impedir la ascensión capilar hacia la base de agua procedente de la tierra.

La función fundamental de la base de un pavimento consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a la sub-base y a la subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada. La base en muchos casos debe drenar también el agua que se introduzca a través de la carpeta o por los acotamientos del pavimento, así como impedir la ascensión capilar.

La carpeta debe proporcionar una superficie de rodamiento adecuada, con textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tráfico. Hasta donde sea posible debe evitar el paso del agua al interior del pavimento.

Pavimentos rígidos (función de las distintas capas)

Base, sus funciones son análogas a las de una sub-base en un pavimento flexible y sirve también para tener una superficie uniforme que sirva de apoyo a la losa y facilite su colado; protege también a la losa de cambios volumétricos en la subrasante que de otra manera inducirían esfuerzos adicionales a aquella.

Las funciones de la losa en el pavimento rígido son las mismas de la de la carpeta en el flexible, más la función estructural de soportar y transmitir en el nivel adecuado los esfuerzos que se le apliquen.

Los factores que, independientemente del método y calidad del diseño de un pavimento, afectan en forma predominante a este, pueden considerarse en los siguientes tres grupos:

a) Características de los materiales que constituyen la terracería y la capa subrasante, juegan un papel fundamental en el comportamiento y espesor requerido de un pavimento flexible e influyen poco en el espesor de la losa, pero bastante en su comportamiento en un pavimento rígido. Por ello la determinación de las características del suelo que formará la terracería y la capa subrasante, en su caso es vital y es preciso conocer por lo tanto las características de los materiales con que se formará la terracería. Hay dos modos clásicos de obtener material para este fin: por préstamo lateral y por préstamo de banco; en el primer caso el material de los terraplenes se obtiene de excavaciones laterales poco profundas a lo largo del camino y a relativa distancia de éste; en el segundo caso naturalmente casi siempre más costoso el material se acarrea de algún lugar donde exista en la cantidad y calidad requeridas (el caso de terracerías compensadas longitudinalmente, en el que se forma un terraplén con material que proviene de un corte próximo, para fines de la presente explicación puede considerarse una variante del segundo caso.

b) El clima es un factor que afecta a los pavimentos -- siendo uno de los principales la precipitación pluvial, ya -- -- por su acción directa o por elevación de aguas freáticas, frecuen

temente el proyectista se ve obligado al diseño y construcción de estructuras adicionales de drenaje, aparte del drenaje normal que nunca podra faltar en la obra vial o al diseño especial para pavimentos.

La temperatura y las variaciones abruptas afectan los diseños sobre todo en losas de concreto, pues inducen esfuerzos muy importantes en tales estructuras.

c) El tránsito produce las cargas a que el pavimento va a estar sujeto. Respecto al diseño de pavimentos interesa conocer las magnitudes de esas cargas, las presiones del inflado de las llantas así como su área de contacto, su disposición y arreglo en el vehículo, la frecuencia y número de repeticiones de las cargas y las velocidades de aplicación.

La velocidad de aplicación de las cargas ejerce influencia sobre el pavimento. En general, las cargas estáticas o lentas ejercen peores efectos que las rápidas.

Pruebas especiales en la tecnología de pavimentos.- Actualmente se ha desarrollado algunas pruebas especiales en las que se fundan métodos de diseño determinados. De ellas se menciona a continuación la de valor relativo de soporte (C.B.R.), la de la placa y las pruebas triaxiales.

La prueba de 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 correspondientes a diferentes cargas. Es frecuente el uso de placas de 76.2 cm (30 pulg) de diámetro o de placas de area igual al contacto de una llanta.

Y muchas otras con las cuales se tendría para un curso completo.

METODOS DE DISEÑO PARA PAVIMENTOS.—

Los metodos de diseño que han desarrollado hasta la fecha, para determinar los espesores requeridos, en las diferentes capas de un pavimento para un camino distan de ser satisfactorios. De hecho puede decirse que no existe uno al que no puedan hacerse serias objeciones de carácter teórico. Por esta razón en la técnica de los pavimentos existen muy rígidas especificaciones respecto a la calidad de los materiales que vayan a ser usados en sub-base, bases y carpetas.

Estas especificaciones se refieren a granulometría, con-

tenido de finos y actividad de éstos, compactación, resistencia al desgaste y al intemperismo, adherencia con los productos bituminosos y otras características. La experiencia a demostrado, que si los materiales son satisfactorios y de buena calidad se puede garantizar un buen comportamiento de los pavimentos.

Los métodos de diseño actualmente en uso son de tres tipos:

a) Métodos de base teóricas, que se han apoyado en hipótesis simplificadoras que no satisfacen a la realidad de los pavimentos, las cuales consideran el sistema formado por capas homogéneas isótropas y linealmente elásticas, cualidades que no son propias de los pavimentos y que complica matemáticamente el diseño.

b) Métodos semiempíricos, que aplican los resultados de alguna teoría más o menos modificada a las condiciones derivadas de una prueba de laboratorio específica.

c) Métodos empíricos, apoyados únicamente en la observación y experiencia de gentes capacitadas en los pavimentos, esto hace que no todos los métodos funcionen adecuadamente pues estos funcionan de acuerdo a la región, clima, materiales etc., en donde se desarrollaron dichos métodos.

El instituto de ingeniería de la U.N.A.M., ha elaborado un método de diseño, basado en estudios y pruebas realizadas en la pista circular del propio instituto y en tramos experimentales de carreteras.

En la elaboración del método de diseño se tomaron en cuenta las siguientes variables:

1.- ESTRUCTURALES.- Incluyen características relativas de cada una de las capas que constituyen la carretera (espesores, resistencia y deformabilidad) en las condiciones esperadas de servicio.

2.- DE CARGA.- Se refiere a las variables relacionadas con el tránsito medio diario anual, tasa de crecimiento anual, cargas por eje sencillo o tandem, histograma de la distribución del tránsito en la sección transversal del camino, y el criterio de falla del pavimento.

3.- DE CLIMA Y CONDICIONES REGIONALES.- Las características de los materiales que constituyen la carretera, dependen la temperatura, nivel freático, geología, topografía y régimen de precipitación media anual.

Para simplificar esta información, y en base a fundamentos experimentales e hipótesis del criterio de diseño, el instituto propuso las gráficas para las diferentes alternati--

vas de diseño de pavimentos flexibles.

La gráfica (A.1) se emplea para estimar coeficientes de daño por tránsito, con relación al eje sencillo equivalente de 8.2 ton., presión de inflado de 5.8 kg/cm^2 y radio del área cargada de 15 cm.

Esta gráfica se aplicará para obtener coeficientes de daño en aquellos en que los vehículos que transitarán por determinada sección de carretera, presentan características diferentes a las que se describen en la figura (A.2), la cual nos proporciona los coeficientes de daño por tránsito para vehículos típicos de la red nacional, y se emplea, una vez que se cuenta con el volumen de tránsito actual y su clasificación por tipo de vehículos, para obtener el tránsito acumulado en la vida de diseño se utiliza esta gráfica junto a la de la figura (A.3).

La grafica (A.3) se aplica para obtener el número de ejes acumulados en el período de diseño, haciendo intervenir la tasa de crecimiento anual del tránsito y el período de diseño.

La tabla de la figura(A.4) se usa para el manejo de datos de diseño mencionados anteriormente.

La grafica de la figura (A.5) se utiliza para el diseño estructural de carreteras con pavimento flexible, para un nivel de rechazo de 2.5 en la escala de 0-5 de índice de servicio actual y de condiciones normales, o sea que se estima que su nivel de rechazo se alcance al tenerse un índice de servi--cio actual de 2.5, en carreteras de importancia.

La grafica de la figura (A.7) se usa para el diseño estructural de carreteras con pavimento flexible para nivel de rechazo entre 2.0 y 2.5 en escala de 0-5 índice de servicio actual, o sea que se estima que su nivel de rechazo del pavi--mento se alcance cuando se tenga un índice de servicio actual entre 2.0 y 2.5, en caminos secundarios.

Una vez determinados los valores relativos de soporte en los materiales que constituyen las distintas capas que integran la sección estructural, se procede a calcular el valor relativo de soporte crítico que se utiliza en la figura (A.5) y en la (A.7)

Tratando estadísticamente los valores obtenidos en cada caso y adoptando el nivel de confianza recomendado según la importancia de la carretera; este valor de soporte crítico será igual a:

$$\overline{VRS}_z = \bar{vrs} (1 - cv)$$

\widehat{VRS}_Z - Valor relativo de soporte crítico esperado en el campo en la capa colocada a la profundidad Z.

\overline{VRS}_Z - Valor promedio de las determinaciones de VRS, a la misma profundidad Z.

C - Factor que depende del nivel de confianza establecido.

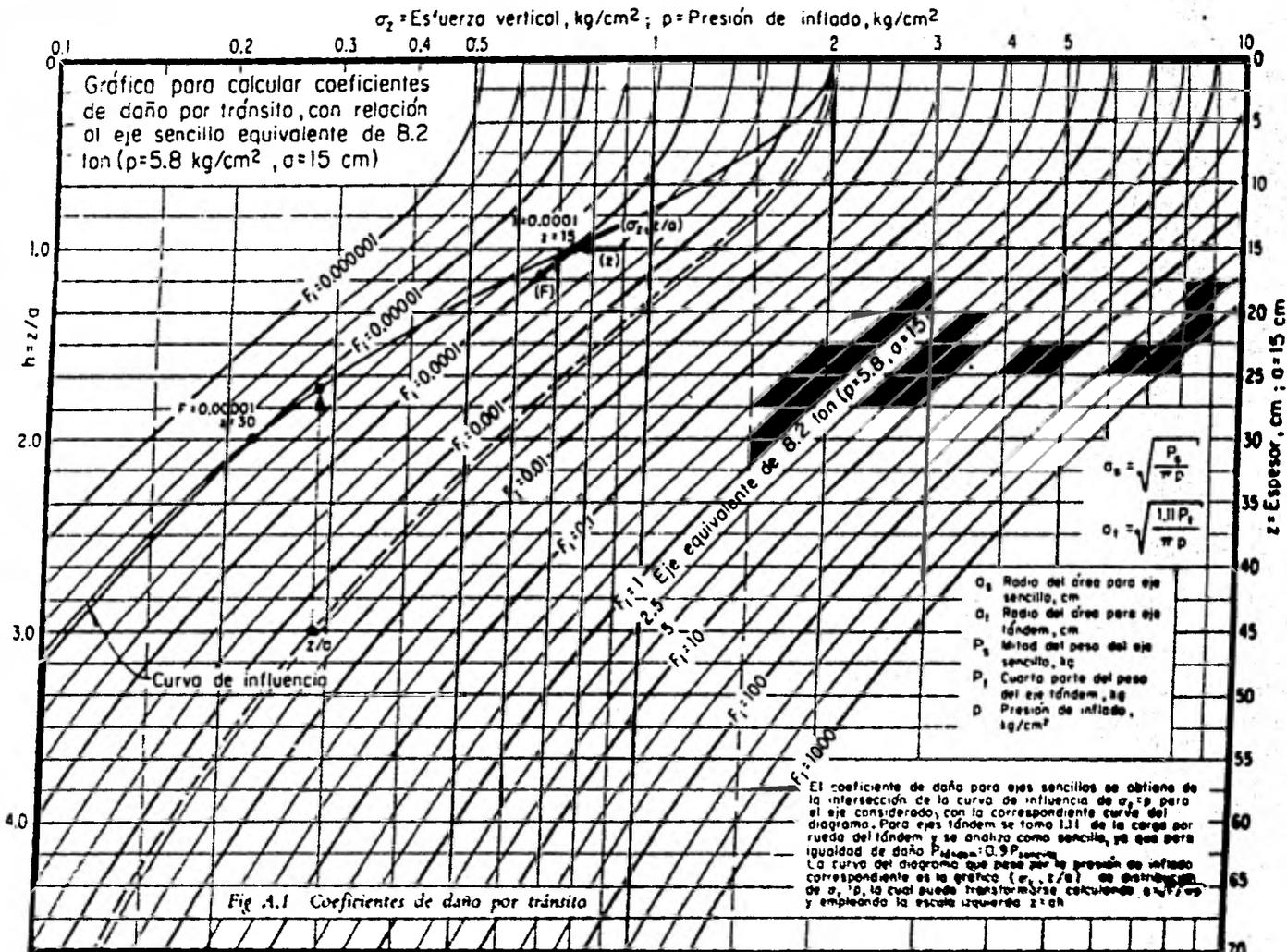
con un 90% \longrightarrow $c = 1.282$

V - Coeficiente de variación.

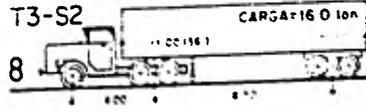
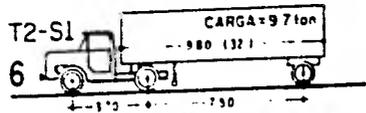
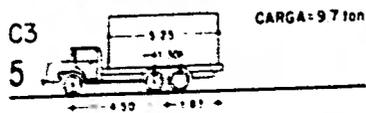
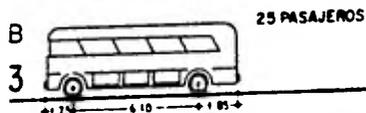
Se recomienda:

<u>Calidad de los procedimientos de construcción</u>	<u>Valor de V</u>
Muy buena	0.3
Buena	0.4
Regular	0.5

El valor del indicador VRS, que pueda manejarse en las gráficas de diseño para caminos nuevos es obtenida en el laboratorio.



NOTA
 K_v : Coeficiente de equivalencia para el vehiculo vacio
 K_c : Coeficiente de equivalencia para el vehiculo cargado



L	Características		P. (m/cm)
	Pres. ton	P. (m/cm)	
1	1.0	0.8	2.0
2	1.0	0.8	2.0
3			
Σ	2.0	1.6	-

1	1.6	1.2	4.2
2	3.3	2.2	4.2
3			
Σ	4.9	2.4	-

1	4.2	3.0	5.8
2	8.3	7.0	5.8
3			
Σ	12.5	10.0	-

1	2.5	1.5	5.0
2	6.8	2.7	5.0
3			
Σ	9.3	4.2	-

1	2.8	1.7	5.0
2	14.0	5.2	5.0
3			
Σ	16.8	6.9	-

1	3.0	2.5	5.8
2	8.0	3.6	5.8
3	7.8	3.0	5.8
Σ	18.8	9.1	-

1	4.0	3.5	5.8
2	8.5	4.0	5.8
3	12.1	3.6	5.8
Σ	24.6	11.3	-

1	5.0	5.5	5.8
2	13.0	5.4	5.8
3	15.0	5.0	5.8
Σ	29.0	13.0	-

Coeficientes de dato			
Cargado, F.			
z=0	z=15	z=22.5	z=30

0.0023	0.000	0.000	0.000
0.0023	0.000	0.000	0.000
0.0006	0.000	0.000	0.000

0.17	0.002	0.001	0.000
0.17	0.040	0.010	0.010
0.34	0.042	0.011	0.010

1.0	0.130	0.080	0.050
1.0	1.000	1.020	1.050
2.0	1.150	1.100	1.100

0.44	0.025	0.008	0.002
0.44	0.640	0.440	0.440
0.88	0.665	0.448	0.442

0.44	0.025	0.008	0.002
0.44	0.650	0.650	0.650
0.88	0.675	0.658	0.653

1.0	0.040	0.015	0.007
1.0	0.900	0.900	0.900
1.0	0.800	0.800	0.800
1.0	1.740	1.715	1.707

1.0	0.120	0.060	0.030
1.0	1.000	1.020	1.050
2.0	0.650	0.400	0.430
4.0	1.570	1.480	1.449

1.0	0.100	0.050	0.025
1.0	0.600	0.500	0.500
2.0	0.500	0.400	0.400
4.0	1.600	1.400	1.025

Coeficientes de dato			
Vacio, F'			
z=0	z=15	z=22.5	z=30

0.0023	0.000	0.000	0.000
0.0023	0.000	0.000	0.000
0.0006	0.000	0.000	0.000

0.17	0.001	0.000	0.000
0.17	0.000	0.000	0.000
0.34	0.001	0.000	0.000

1.0	0.040	0.015	0.007
1.0	0.600	0.500	0.500
2.0	0.640	0.515	0.507

0.44	0.002	0.000	0.000
0.44	0.025	0.008	0.002
0.88	0.027	0.008	0.002

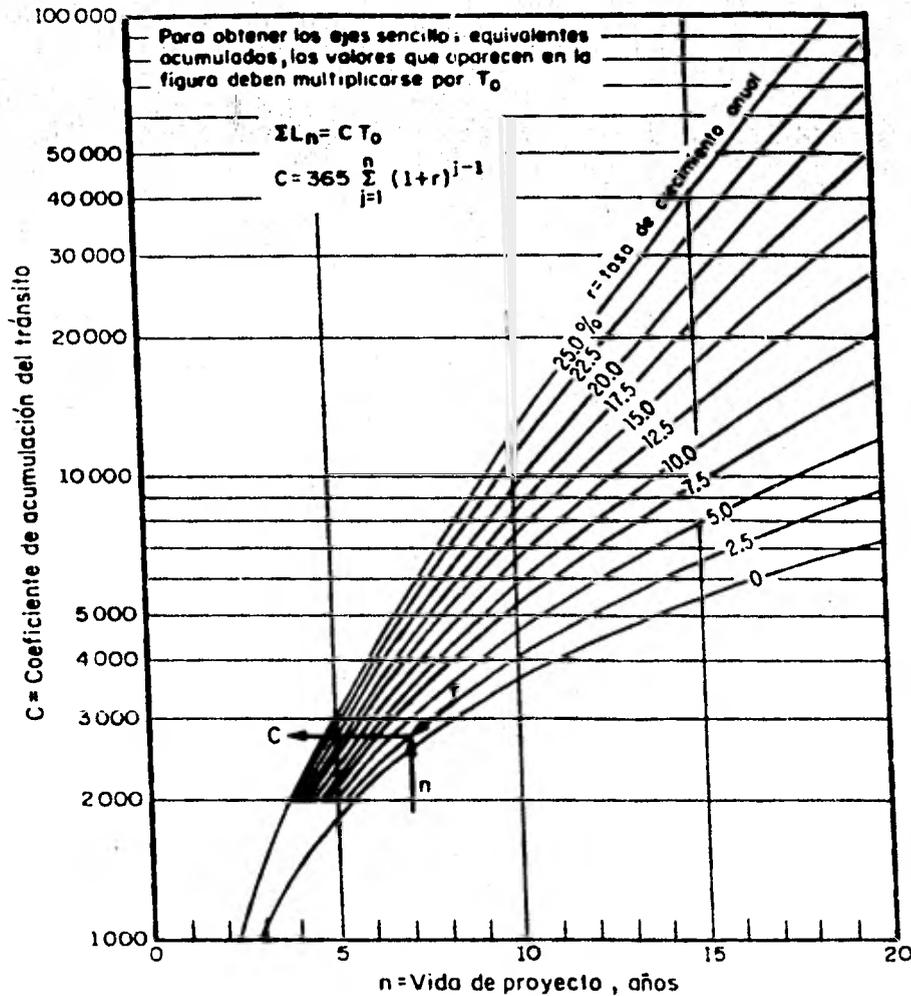
0.44	0.004	0.001	0.000
0.44	0.042	0.018	0.006
0.88	0.044	0.022	0.006

1.0	0.020	0.008	0.002
1.0	0.950	0.950	0.950
1.0	0.040	0.015	0.007
3.0	0.140	0.051	0.029

1.0	0.080	0.030	0.020
1.0	0.120	0.060	0.030
2.0	0.818	0.802	0.801
4.0	2.282	2.042	2.022

1.0	0.080	0.030	0.020
2.0	0.040	0.015	0.007
2.0	0.050	0.010	0.005
4.0	0.150	0.050	0.022

Fig. A.2 Coeficientes de dato por eje para vehiculos simples



$\sum L_n$ 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 \bar{r}

T_0 tránsito medio diario por carril en el primer año de servicio, ejes equivalentes de 8.2 ton

$$T_0 = \sum N_i F_i + \sum N_i' F_i'$$

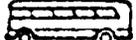
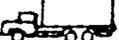
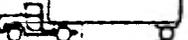
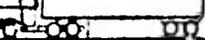
N_i, N_i' promedio diario por carril de vehículos tipo i (cargados o descargados, respectivamente), durante el primer año de servicio

F_i, F_i' coeficiente de daño relativo producida por cada viaje del vehículo i (cargado o descargado, respectivamente), ejes equivalentes de 8.2 ton

Fig A.3. Gráfica para estimar el tránsito equivalente acumulado

Carretera _____ Tramo _____ Fecha _____

Notas _____

TIPO DE VEHICULO	Número de vehículos en ambas direcciones	Coeficiente de distribución	Número de vehículos en el carril de proyecto	Coeficiente de vehículos cargados o vacíos	Número de vehículos cargados o vacíos por carril N_i, N_j	Coeficientes de daño por tránsito, F_i, F_j		Número de ejes equivalentes de 8.2 ton, $N_i F_i, N_j F_j$									
						$z=0$ cm	$z=15$ cm	$z=0$ cm	$z=15$ cm								
A _p 				C=		0.005	0										
				V=		0.005	0										
A _c 				C=		0.34	0.042										
				V=		0.34	0.001										
B 				C=		2.0	1.150										
				V=		2.0	0.640										
C2 				C=		0.88	0.465										
				V=		0.88	0.027										
C3 				C=		0.88	0.675										
				V=		0.88	0.044										
T2-S1 				C=		3.0	1.740										
				V=		3.0	0.140										
T2-S2 				C=		4.0	1.570										
				V=		4.0	0.210										
T3-S2 				C=		5.0	1.300										
				V=		5.0	0.150										
<table border="1"> <tr> <td>NÚMERO DE CARRILES EN AMBAS DIRECCIONES</td> <td>COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN PARA EL CARRIL DE PROYECTO, %</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>40-50</td> </tr> <tr> <td>6 o más</td> <td>30-40</td> </tr> </table>		NÚMERO DE CARRILES EN AMBAS DIRECCIONES	COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN PARA EL CARRIL DE PROYECTO, %	2	50	4	40-50	6 o más	30-40	Total				T_0, T_0' : Tránsito equivalente inicial			
NÚMERO DE CARRILES EN AMBAS DIRECCIONES	COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN PARA EL CARRIL DE PROYECTO, %																
2	50																
4	40-50																
6 o más	30-40																

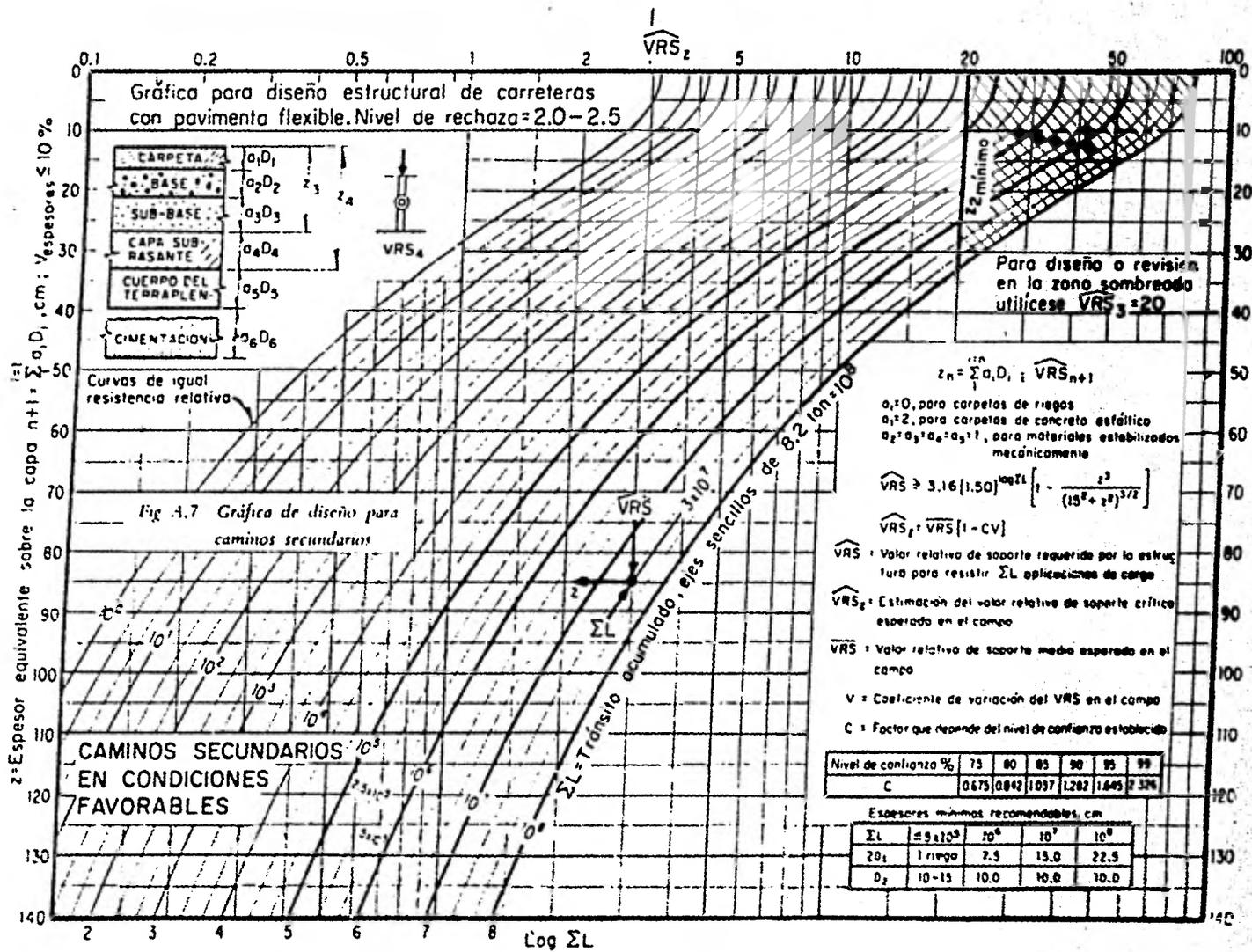
Años de servicio, n : _____ Tasa de crecimiento anual, r : _____ %

Coeficiente de acumulación del tránsito, C : _____

Tránsito acumulado, $\sum L_n = C T_0$: _____ $\sum L_n' = C T_0'$: _____

177

Fig A.4 Tabla para cálculo del tránsito acumulado en función de ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton



$Z_n = \sum a_i D_i ; \widehat{VRS}_{n+1}$

$a_i = 0$, para carpetas de riegos
 $a_i = 2$, para carpetas de concreto asfáltico
 $a_i = 0.1 a_2 a_3 a_4 a_5 a_6$, para materiales estabilizados mecánicamente

$$\widehat{VRS} \geq 3.16 [1.50]^{log Z} \left[1 - \frac{Z^3}{(15^2 + Z^2)^{3/2}} \right]$$

$$\widehat{VRS}_z = \widehat{VRS} [1 - CV]$$

\widehat{VRS} : Valor relativo de soporte requerido por la estructura para resistir ΣL aplicaciones de carga

\widehat{VRS}_z : Estimación del valor relativo de soporte crítico esperado en el campo

VRS : Valor relativo de soporte medido esperado en el campo

V : Coeficiente de variación del VRS en el campo

C : Factor que depende del nivel de confianza establecido

Nivel de confianza %	75	80	85	90	95	99
C	0.675	0.842	1.037	1.282	1.645	2.334

Es espesores mínimos recomendados, cm

ΣL	≤ 9	10^6	10^7	10^8
D_1	1-riego	7.5	15.0	22.5
D_2		10-15	10.0	10.0

EJEMPLO

Se considera el proyecto de la sección estructural de un camino.

La composición del tránsito se muestra en la tabla siguiente, dicho camino será de 4 carriles.

Para el cálculo de proyecto es necesario tomar en cuenta los coeficientes de distribución de tránsito para el carril del proyecto, el instituto de ingeniería recomienda los siguientes:

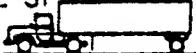
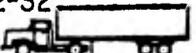
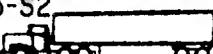
No. de carriles en ambas direcciones.	Coeficientes de Distribu- ción para el carril de - proyecto (%).
2	50
4	40 - 50
6 ó más	30 - 40

Para este caso se tomará un coeficiente de distribución de 0.4 y considerará que todos los vehículos circularán cargados en el carril de proyecto.

Con los datos de la resistencia de materiales y la gráfica que se propone, trazando la curva correspondiente al tránsito de 3'201,627 ejes de 8.2 ton., se obtienen los diferentes espesores de la carretera.

Carretera _____ Tramo _____ Fecha _____

Notas _____

TIPO DE VEHICULO	Número de vehículos en ambas direcciones	Coeficiente de distribución	Número de vehículos en el carril de proyecto	Coeficiente de vehículos cargados o vacíos	Número de vehículos cargados o vacíos por carril N_i, N_j	Coeficientes de daño por tránsito, F., F'		Número de ejes equivalentes de 8.2 ton, N.F., N.F.'	
						z=0 cm	z=15 cm	z=0 cm	z=15 cm
A _p 	8,800	0.4	3,520	C: 1.0 V: 0	3,520 0	0.005 0.005	0 0	17.60	
A _c 	2,600	0.4	1,040	C: 1.0 V: 0	1,040 0	0.34 0.34	0.042 0.001	353.60	43.60
B 	700	0.4	280	C: 1.0 V: 0	280 0	2.0 2.0	1.150 0.640	560.00	322.00
C2 	760	0.4	304	C: 1.0 V: 0	304 0	0.88 0.88	0.465 0.027	267.80	141.30
C3 	130	0.4	52	C: 1.0 V: 0	52 0	0.88 0.88	0.675 0.044	45.76	35.10
T2-S1 	12	0.4	5	C: 1.0 V: 0	5 0	3.0 3.0	1.740 0.140	15.00	8.70
T2-S2 	28	0.4	11	C: 1.0 V: 0	11 0	4.0 4.0	1.570 0.210	44.00	17.27
T3-S2 	115	0.4	46	C: 1.0 V: 0	46 0	5.0 5.0	1.300 0.150	230.00	59.80

NÚMERO DE CARRILES EN AMBAS DIRECCIONES	COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN PARA EL CARRIL DE PROYECTO, %
2	50
4	40-50
6 o más	30-40

Total **5,258**

T_0, T_0' : Tránsito equivalente inicial

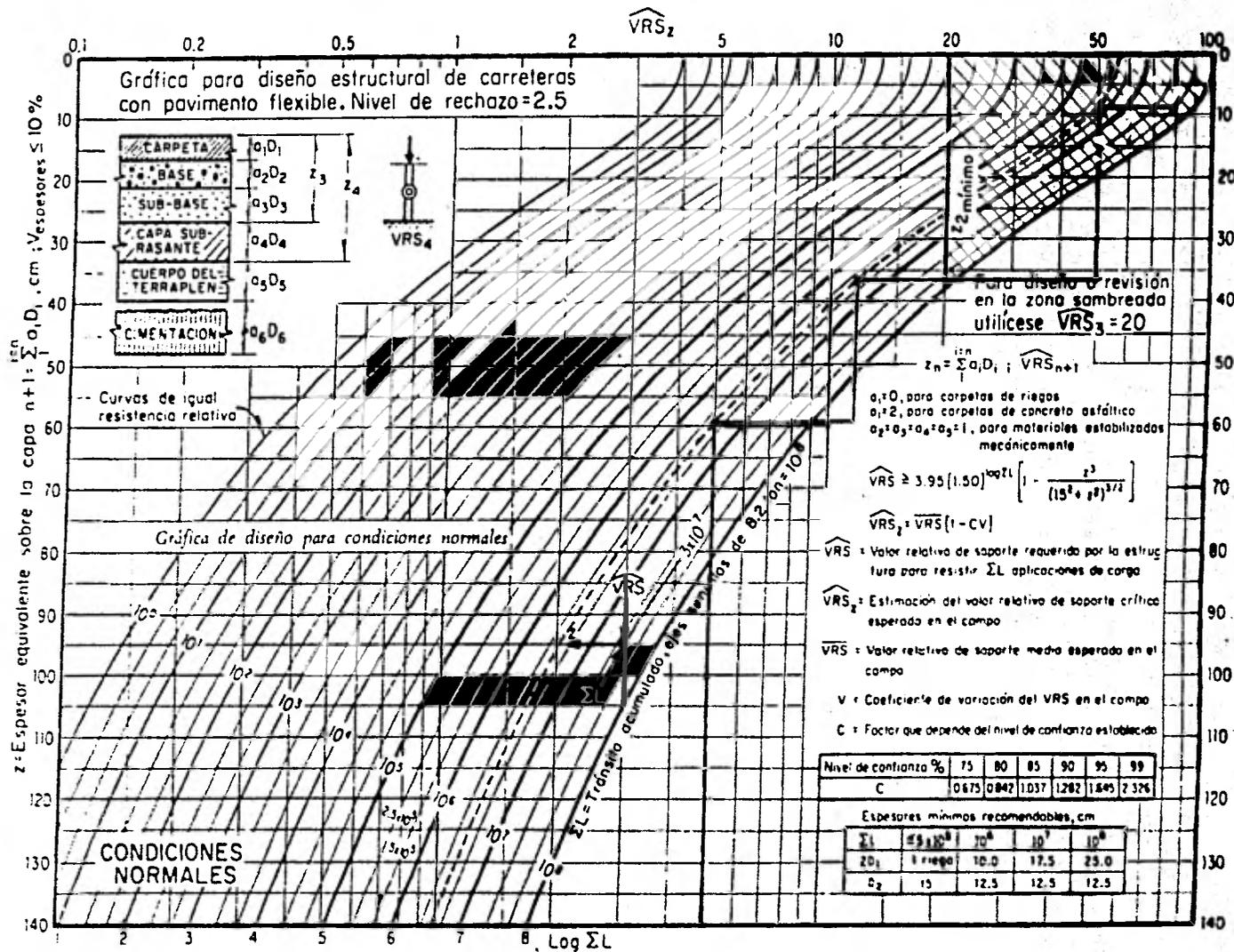
1533.4 627.77

Años de servicio, n: 10 Tasa de crecimiento anual, r: 7 %

Coeficiente de acumulación del tránsito, C: 5,100

Tránsito acumulado, $\Sigma L_n = CT_0 =$ 7'820,340 $\Sigma L_n' = CT_0' =$ 3'201,627

Tabla para cálculo del tránsito acumulado en función de ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton



Los valores de VRS. críticos supuestos en los diferentes materiales que compondrían la sección estructural del pavimento, son:

Terreno Natural	5%
Capa Subrasante	12.5%
Sub-Base	50%
Base	80%

El espesor total del material que deberá colocarse sobre el terreno natural se determina dibujando una línea vertical partiendo del punto cuyo VRS es de 5% hasta interceptar, - la curva de igual resistencia relativa en un punto, denominado punto crítico y al ser proyectado en el eje de las ordenadas -- proporciona un espesor total de 59 cm. el espesor de la capa subrasante será igual a la distancia vertical entre los puntos críticos correspondientes a los valores de VRS de 5% y 12% lo que nos proporciona 22 cm de espesor, siguiendo el mismo criterio para la sub-base nos resulta un espesor de 29 cm.

La Diferencia entre el espesor total y la suma de espesores de la capa subrasante y la sub-base es igual al espesor disponible para alojar la base y la carpeta, es decir.

$$59 - 22 - 29 = 8 \text{ cm.}$$

Y de acuerdo con la ecuación estructural de espesores tendremos:

$$a_1 D_1 + a_2 D_2 = 8$$

$$2x D_1 + a_2 D_2 = 8$$

En el caso de utilizar capas estabilizadas se emplearán los siguientes coeficientes de equivalencia con relación a base hidráulica según el caso.

Bases estabilizadas con asfalto líquido 1.0 A 1.2

Bases estabilizadas con cemento portland 1.5 a 1.8

De acuerdo con los datos del tránsito el espesor mínimo recomendable para la carpeta de concreto asfáltico es 6.5 - cm. por lo tanto resultará una base hidráulica de:

$$8 = 2d_1 + 1D_2$$

$$8 = 2 (6.5) + 1D_2$$

$$D_2 = 5 \text{ cm.}$$

La base resultará de 5 cm, sin embargo constructivamente la base debe ser de 12 cm como mínimo, lo cual nos permite ajustar el espesor de la sub-base a 22 cm.

Por lo tanto la estructuración de la carretera será-- de la siguiente manera:

Capa sub-rasante

22 cm.

Capa Sub-base	22 cm
Base Hidráulica	12 cm
Carpeta de concreto asfaltico	6.5 cm.

RIEGO DE IMPREGNACION.-

Terminada la construcción de la base y verificados el -- alineamiento, perfil, secciones transversales, espesor y el grado de compactación requeridos, se deberá proceder al barrido de la -- misma mano o por medio de escobas mecánicas para eliminar todo el polvo y materias extrañas que se encuentran en la superficie. -- Una vez efectuado lo anterior la base deberá estar exenta de sur--cos, baches, ondulaciones y presentar una superficie libre de ma--terial encarpetao.

La función de este riego es la de impregnar superficialmente y a la mayor profundidad posible el asfalto, para formar -- una transición entre la base y la carpeta, para dar a la base mayor impermeabilidad y resistencia al intemperismo y a los efectos destructores del tránsito, durante el tiempo que transcurra el -- proceso de la pavimentación.

Para lograr lo anterior se puede hacer uso de los siguientes asfaltos:

- Emulsiones de fraguado lento
- Asfaltos de fraguado lento
- Asfaltos de fraguado medio.

Como regla general se puede seguir la siguiente: Cuando-

la aplicación de los asfaltos en los riegos de penetración y de sello, sean mayores de 1 Lt/m^2 es conveniente el darlo en dos riegos, llevando la precaución de que no se regará la segunda parte del mismo hasta en tanto no se haya absorbido y secado la primera parte del riego.

La aplicación de los asfaltos rebajados en el riego de imprimación, de liga, de sello, y en general en todos los de tratamientos superficiales o mezclas en el camino, se deben de dar 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.

Las limitaciones que deberá tener la aplicación de un riego de impregnación son los siguientes:

Para asfaltos rebajados, no se permitirá regar cuando la base se encuentre sensiblemente húmeda, o cuando por las condiciones del tiempo, se pueda suponer una lluvia inminente antes de -- que el producto asfáltico, sea emulsión o rebajado haya efectuado su fraguado, para evitar que se lave éste producto, o cuando la temperatura ambiente sea menor de 5°C .

Una superficie impregnada, por ningún motivo deberá --- abrirse al tránsito, en tanto no se haya secado el producto asfáltico, pero en alguna condiciones, habrá necesidad imperiosa de in-

fringir esta ley, para lo cual se cubrirá el riego antes de abrirse al tránsito con áreas o polvo de material triturado y se procurará limpiar lo mejor posible la base antes de continuar con el -- proceso de la pavimentación.

El tiempo que dura en secar un riego de penetración, depende de la textura de la base, condiciones climatéricas e intensidad del viento, por lo que no es posible predecir dicho tiempo.

Pavimentación.-

-Riegos superficiales; selección de los productos asfálticos y pétreo, ejecución y cuidados.

-Mezclas en el lugar; selección de los productos asfálticos y pétreo, granulometría y diseño de la mezcla, ejecución y cudados.

-Mezclas con plantas estacionarias; selección de los productos asfálticos y pétreo, granulometría y diseño de la mezcla, ejecución y cuidados.

-Riego de sello; selección del producto asfáltico y material pétreo, ejecución y cuidado.

-Conservación y fallas

Riegos Superficiales.

La construcción de carpetas asfálticas, por el sistema de riegos superficiales son los más baratos y por ende las que -- tienen su vida más corta, así como sus capacidades de carga y el-

carácter y densidad de tránsito, siendo éste de 4,000 a 7,000 libras por rueda y como máximo 1,000 vehículos diarios el tiempo de duración de las mismas se puede calcular entre 2 y 10 años, dependiendo del número de riegos de que conste la carpeta. Pueden usarse en la ejecución emulsiones de fraguado rápido y asfaltos fluxados de fraguado rápido.

Estas carpetas se pueden construir por el sistema desde un riego asfáltico cubierto con arena, hasta cuatro riegos de material 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, determina la denominación de la carpeta.

Las características de los materiales pétreos, que se utilizan en la elaboración de las carpetas asfálticas, por el sistema de riegos superficiales, así como las pruebas de laboratorio que debe llenar este material, lo vimos con anterioridad.

Para todos los casos de construcción de carpetas asfálticas por el sistema de riegos superficiales, cualquiera que sea el número de riegos deberá estar la base previamente impregnada y limpia de polvo o materiales extraños, que impidan una correcta adherencia del material pétreo del primer riego, con la base impregnada por intermedio del riego del producto asfáltico.

La longitud de los riegos asfálticos, estará supeditada a la fuerza de camiones o de gente, para cubrir el material asfáltico con el pétreo antes de que éste inicie su fraguado.

Mezclas en el lugar.

La construcción de carpetas asfálticas, por el sistema de mezclas en el lugar, es el tipo intermedio de superficie de rodamineto y por ende su vida es mayor y su capacidad de carga es mayor que las carpetas asfálticas hechas por el sistema de riegos superficiales, así como el carácter y densidad de tránsito, siendo esta densidad hasta 3,000 vehículos diarios, con cargas por rueda de 7,000 a 10,000 libras, con una vida probable de 8 a 15 años. Pueden usarse en su ejecución emulsiones asfálticas de fraguado lento, asfaltos de fraguado medio y asfaltos de fraguado rápido, así como pueden ejecutarse usando motoconformadoras o plantas móviles. Sus costos de construcción se pueden considerar como medios, así como sus gastos de conservación, en contra proporción de los tratamientos bituminosos superficiales en los cuales los costos de construcción son bajos y sus gastos de conservación son altos.

Estas carpetas asfálticas pueden dividirse en dos clases: superficies de textura abierta o de textura media.

Siempre, y con cualquier textura que se elabore la mezcla, hay necesidad de construir un riego de sello.

Las características de los materiales pétreos que se utilizan en la elaboración de las carpetas asfálticas de mezclas en el lugar, así como las pruebas de laboratorio a que se debe sujetar este material los estudiamos anteriormente al hablar de los materiales pétreos para pavimentación.

Las carpetas asfálticas deberán llenar las características siguientes.

- 1.- No deberán desplazarse por la acción del tránsito.
- 2.- No deberán desintegrarse por la acción del tránsito
- 3.- Deberán ser prácticamente impermeables
- 4.- Resistir sin agrietarse las deformaciones normales de la base de pavimentación.
- 5.- Presentar una superficie uniforme y de textura ligeramente áspera para hacerla antiderrapante.
- 6.- Tener una superficie que estando seca, refleje los rayos luminosos.

Mezclas en el camino con motoconformadores y con plantas móviles.

La mezcla en el camino es un sistema muy empleado en la ejecución de las carpetas asfálticas y que consiste en mezclar -- al agregado pétreo con el producto asfáltico en el camino y utilizando el sol y el aire para quitar la humedad al agregado pétreo.

Hay tres sistemas de mezclar los materiales pétreos con los productos asfálticos y en cuanto a las operaciones por ejecutar son esencialmente las mismas.

- 1.- Barrido de la base impregnada.
- 2.- Aplicación del riego de liga.
- 3.- Aplicación del material pétreo: materiales nuevos tendidos y uniformizados, por medio de escantillones o motoconformadoras.
- 4.- Secado: si el material pétreo se encuentra demasiado húmedo - 3% de humedad superficial, se debe aerear y secar por medio de la motoconformadora o cualquier medio mecánico, que pueda exponer las partículas del material al aire y al sol - hasta bajar su contenido de humedad a lo indicado.
- 5.- Mezcla: los diferentes sistemas de mezclar los materiales pétreos con el material asfáltico; con motoconformadoras, mezcladoras mecánicas y plantas móviles
- 6.- Esparcido de la mezcla: con motoconformadora hasta alcanzar la forma y el espesor necesario por compactar.
- 7.- Compactación: la compactación se comienza por los bordes exteriores hacia el centro en pasadas sucesivas. Se pueden usar aplanadoras metálicas, neumáticas o ambas a la vez.

El periodo de tiempo que debe transcurrir entre el espar

cido 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 ambiente 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.

Mezclas con motoconformadoras.

Una vez que el material pétreo haya sido secado y acamellonado en la forma más uniformante posible, se abre el camellón para que por el centro del mismo se haga una aplicación del material asfáltico en la proporción de 1/3 de la cantidad total proyectada, inmediatamente después entrarán las motoconformadoras, para dar una mezcla parcial, llevando el camellón de un extremo (lugar del riego) al otro del camino.

Una vez logrado lo anterior, se abre de nuevo el camellón y se da un segundo riego asfáltico a razón de 1/3 de la cantidad total proyectada y se procede a revolver y mezclar parcialmente el material pétreo, por medio de motoconformadoras para llevarlo al lugar, en el cual se inició la primera mezcla parcial.

Una vez logrado lo anterior, se abre de nuevo el camellón y se da el completo del riego asfáltico proyectado, o sea el 1/3 faltante para continuar con el mezclado de los materiales y lle-

var el camellón al lugar donde se inició el segundo riego, en ocasiones en esta forma se termina el mezclado o sea cuando la mezcla presenta un color uniforme, pero en la mayoría de los casos será necesario un nuevo mezclado que lo proporcionará el trasladar la mezcla elaborada por medio de las motoconformadoras a su lugar de origen .

Mezclas, usando mezcladoras mecánicas

Se entiende por tal, la realizada con equipos operados mecánicamente, pero sin recoger el material pétreo, elevándolo del camino, sin proporcionarle el material asfáltico. En unos casos la mezcladora mecánica no puede añadir el producto asfáltico por sí misma y se tiene necesidad de usar una petrolizadora independiente. En otros casos se añade el material asfáltico al mismo tiempo de efectuar la mezcla con el material pétreo, lo cual se efectúa esparciendolo dentro de la cámara de mezclado según avanza la máquina. Algunas mezcladoras dan una sola pasada, trabajando con los materiales pétreos previamente uniformizados y acamellonados, y dejan la mezcla efectuada en camellones sobre el camino.

El mezclado real que afectan estas mezcladoras, está basado en la agitación del material pétreo y el asfáltico, por algún sistema de puas o paletas unidas a un eje rotatorio montado en forma que trabaje en ángulo recto, oblicuo o paralelamente a la dirección del camino frecuentemente el montaje es paralelo a la

dirección de la marcha, se usan dos ejes mezcladores con paletas'

Mezclas en planta móvil

Las plantas móviles dan una proporción exacta de la mezcla de los materiales pétreos con el asfalto, independientemente de la uniformización del volumen del camellón, 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 cangilones 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.

Mezcla mecánica

Con ella desaparecen algunos de los inconvenientes de la

mezcla con motoconformadora, y se encuentran algunas ventajas de las mezclas con plantas móviles, particularmente cuando el material asfáltico se añade por medio del mezclador. Una de las mayores ventajas es la reducción en 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 probabilidad 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.

Con este sistema aun es imposible el eliminar el factor-error hombre, ya que la relación material pétreo y asfalto está basada en el volumen del camellón del primero.

Por tal motivo aparecen también en la mezcla final superficies con mayor o menor cantidad de asfalto, aunque en menor escala que cuando se trabaja con motoconformadora .

Mezcla con planta móvil

Además de las ventajas de la mezcla mecánica, tiene las siguientes:

La exactitud en la relación material pétreo y asfalto, tiene la mayor importancia y solamente con la mezcla en planta móvil, se puede asegurar esto, ya que trabaja en una forma indepen-

diente del volumen del material acamellonado, ni de la velocidad de traslación de la máquina. Por esta razón la carpeta que se consigue es más estable y de la 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 este material por ningún concepto y se pueden usar asfaltos más densos, y porque al acortar el tiempo de la mezcla, esta no necesita poder ser trabajable por un tiempo largo como en el caso de las motoconformadoras.

No todos los tipos de graduaciones de materiales pétreos necesitan el mismo periodo de mezcla; en las plantas móviles esto 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 retarde.

Una planta móvil puede ser usada como planta estacionaria y se descarga la mezcla en camiones.

Mezclas con plantas estacionarias.

Las mezclas con el sistema de plantas centrales o estacionarias es el sistema más elevado, para producir las carpetas asfálticas, ya que la dosificación de los materiales se hace en-

una forma rigurosa lo que permite la mejor calidad de la carpeta-asfáltica terminada.

Se distinguen dos tipos de plantas, las intermitentes o por bachas, en las cuales 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 efectúa por volumen.

El orden de operación de una carpeta asfáltica, ejecutada por el sistema de planta central es el siguiente, independientemente de que ésta sea continua o intermitente.

1. Barrido de la base impregnada
- 2.- Aplicación del riego de liga
- 3.- Acarreo de la mezcla desde la planta central
- 4.- Esparcido de la mezcla por medio de esparcidores acabadoras-mecánicas.
- 5.- Compactación. Se pueden usar aplanadoras metálicas o neumáticas, solas o 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 .

CAPITULO X
MAQUINARIA EMPLEADA EN VIAS TERRESTRES

El equipo y la maquinaria que se utiliza en la construcción de caminos es de una gran variedad por lo que se mencionara la maquinaria usada mas comunmente haciendo una clasificación general de esta y dando sus aplicaciones mas importantes.

TRACTORES.- El tractor es un vehiculo con motor de gran potencia, son máquinas que transforman la energía del motor a energía de tracción y estan diseñados principalmente para jalar o empujar, montados para su desplazamiento sobre orugas o sobre llantas de hule. Los primeros son utilizados cuando es necesario aprovechar la potencia del tractor en su mayor capacidad en detrimento de su velocidad, y los segundos por el contrario, se usan cuando es mas importante la velocidad que la potencia del tractor.

Debido a las múltiples adaptaciones que se pueden hacer con sus herramientas de ataque los tractores recibe nombres diferentes.

a) Bulldozer. Comprende esencialmente una hoja empujada ra recta o ligeramente curva, colocada en la parte delantera del-

tractor. En algunos casos se provee a la hoja de una placa-tope, permitiendo al bulldozer trabajar como si fuera un empujador. Generalmente los bulldozer se encuentran montados sobre orugas.

Son usados generalmente en desmontes, despalmes, en movimientos de tierras para distancias no mayores de 100 mts., en la limpieza de escombros, en los bancos de materiales, y en ocasiones uniendo dos bulldozer mediante una cadena, sirven para desmontar grandes extensiones de tierra.

b) Angledozer. Consiste en una hoja de acero, montada frente del tractor y susceptible de colocarse a distintas alturas, así como de fijarse en distintos ángulos.

Es en general una máquina de excavación preliminar y utilizada en el desplazamiento de tierras para rellenos laterales.

c) Empujadores. El pushdozer o empujador es un vocablo que sirve para designar a un bulldozer o a un angledozer, cuya hoja ha sido sustituida por una plancha o placa-topadora redondeada, colocada al frente del tractor.

Estas máquinas están destinadas para aumentar la potencia en las moto escrapas y en cualquier otro equipo mediante el empuje que se ejerce através de la placa-topadura.

d) Desgarradores (Rippers) es un equipo adicional que forma parte de los tractores, y que consiste en una especie de arado formado por una barra en la que se encuentran adaptados de uno a tres y hasta cinco rippers o dientes. Estos pueden ser rectos o curvos, y van montados en la parte delantera o trasera del tractor.

El uso adecuado para cada tipo de rippers, esta en función del terreno que se va a atacar, y generalmente son utilizados en excavaciones poco profundas, en desmontes y despalmes, así como para aflojar tierra dura, romper roca suave, levantar pavimentos, cortar raíces de arboles y muchas veces para substituir el uso de explosivos u otros equipos en donde unicamente se logra aflojar el terreno a base de dientes desgarradores.

CARGADORES. Son máquinas exclusivas para la excavación-carga y descarga del material. Consistiendo basicamente de un cucharón adoptado en la parte delantera de cualquier tractor, ya sea de orugas o de llantas. Siendo el cucharón una caja de construcción simple con una cuchilla, y con una hilera de dientes que sirven para las excavaciones en roca.

Entre los diferente tipos de cucharones de cargadores se pueden mencionar los siguientes, cucharón de empleo general, para roca, de descarga lateral, de uso múltiple, cucharón para demolición, horquillas optativas, cucharones retroexcavadoras y algunos otros.

Los cargadores son clasificados de acuerdo a su descarga.

a) Descarga frontal. Este cargador es el más usual de todos, su acción es a base de desplazamientos cortos y rápidos, --- consistiendo fundamentalmente de un cucharón y de un tractor, el cual lleva al primero en su parte frontal. A la mayoría de los cargadores es posible adaptarles los diferentes tipos de cucharones o herramientas que existen.

Son usados para la excavación, carga y descarga de material a distancias cortas, excelentes para la alimentación de agregados, en plantas dosificadoras y trituradoras.

b) Descarga lateral. La característica de ésta máquina está en el cucharón el cual puede descargar hacia adelante de la manera usual y hacia los lados mediante un cilindro y una válvula de control.

Usados en los lugares donde el espacio para la maniobra de descarga es muy reducido, evitando así la necesidad de girar o voltear el tractor.

c) Descarga trasera. (Resagadoras) La excavación al frente de estas máquinas es de la misma manera que en los cargadores frontales, pero con la diferencia de que el cucharón una vez lleno se levanta completamente por encima del tractor y se descarga atrás de éste.

Son utilizados particularmente para el trabajo en túneles, en donde se carece de espacio para las vueltas de los cargadores frontales.

ESCREPAS.- Son máquinas diseñadas para desarrollar ciclos de trabajo completo y específico, que comprenden desde la excavación, acarreo y descarga de material, hasta la extensión y conformación de grandes volúmenes del mismo. Básicamente constituidas por una caja metálica, en cuyo interior se aloja el material excavado; por un yugo o marco en forma de cuello de ganso, y por un tractor de orugas o de llantas que utilizan para su desplazamiento.

Las escrepas para su clasificación se dividen en:

a) Escrepas de arrastre. Formadas básicamente de dos partes; una que es la caja metálica, y la otra el yugo o marco en forma de cuello de ganso. Generalmente jaladas o remolcadas por un tractor de orugas y su caja va montada sobre llantas, tanto en la parte delantera como trasera.

Estas máquinas están destinadas para la carga y descarga del material sobre todo en acarreos de corto recorrido y pendientes fuertes; trabajan generalmente en climas húmedos, y su uso común es en el tendido de terraplenes.

b) Escrepas autoimpulsadas (Motoescrepas). Son máquinas formadas fundamentalmente por una caja, y diseñadas 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, que aumenta la potencia y la tracción de las llantas propulsoras sobre todo al momento de la carga, pero actualmente es posible reemplazarlo totalmente gracias a la instalación de un motor adicional - sobre la parte trasera de la caja, que aumenta la potencia y que proporciona tracción a las llantas posteriores de la escrepa.

Son usadas para acarreo medio para el corte y tendido de terraplenes, en terrenos blandos y fangosos y en sub-bases, frecuentemente utilizadas a través de pendientes de más del 40% - ya que son las máquinas indicadas, por la potencia de sus cuatro llantas.

c) Escrepas tandem. Compuestas básicamente de dos cajas o escrepas alineadas una atrás de otra y complementadas por medio de un tractor de llantas, que utilizan para su desplazamiento.

Usadas generalmente para terrenos planos y de pendientes moderadas; para trabajos que incluyen baja resistencia a la rodadura y tracción media en el suelo; para acarreo medio y acarreo largo si las condiciones del suelo son favorables.

d) Escrepas autocargables (Motoescrepas). Compuestas básicamente por un tractor de dos llantas y una escrepa con sistema elevador de cadena; éste último está diseñado de tal forma para que la carga pueda efectuarse por sí sola, conduce el material hasta el interior de la caja, mezclándolo y desmenuzándolo durante el trayecto.

Estos modelos permiten a la escrepa cargar hasta el último residuo de material sin necesidad de utilizar la fuerza de tracción del tractor, gracias al mecanismo elevador que recoge el material cortado por la cuchilla. Esto representa una gran ventaja porque se logra mantener potencia suficiente para la excavación y acarreo de material de tal manera que no es necesario la ayuda de un tractor empujador.

En general y gracias al mecanismo elevador, estas máquinas poseen la capacidad de trabajar por sí solas en una gran diversidad de trabajos

Usadas para acabados y nivelación de tierras para cortes, en donde los acarreos son relativamente a nivel y la resistencia a la rodadura es baja, pero su principal ventaja y aplicación es cuando las necesidades de producción no justifican una gran flota de empujadores y escrepas, o cuando el plan de trabajo exige cambios frecuentes de lugar.

e) Escrepas Push-Pull (de tiro y empuje). Equipo formado por dos escrepas autoimpulsadas, que se articulan y se combinan para ayudarse durante el ciclo reciproco de carga, efectuandola con gran rapidez y sin la necesidad de un tractor empujador que impida que se carguen por si solas. La propulsión en todas sus ruedas y la potencia, que se logra gracias al motor 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 asi como para subir cuestas mas o menos fuertes.

Eliminan aglomeraciones en el corte y las detenciones o tiempos perdidos que provoca el tractor empujador asi como la falta de coordinación de éste con la escrepa.

TRANSPORTES. Para el desplazamiento de materiales y equipo se utilizan vehiculos diseñados para transportar a altas velocidades dicho equipo o material.

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

Los camiones que se utilizan dentro de las carreteras, cumplen con los requisitos de circulación para un ancho común y altura determinada, los camiones para fuera de las carreteras, no se sujetan a ninguna restricción legal respecto al peso o tamaño y que pueden ser de una anchura de 2.50 a 4.50 metros, pudiendo alcanzar velocidades máximos de 70km/hora aunque su potencia y las pendientes permitan velocidades mayores.

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

a) Volteos. Equipo exclusivo para el transporte o acarreo del material extraído, y diseñado para circular dentro y fuera de las carreteras tanto por los caminos de tipo ligero como pesado. Constan principalmente de una caja metálica o volteo, de una cabina de control, de un chasis y de varias llantas neumáticas para desplazarse y el número de estas es variable, ya que consta de dos llantas delanteras y de cuatro a ocho traseras en pares.

El camión de volteo es el medio de acarreo más eficiente para las obras donde las distancias son grandes en las obras carreteras son usuales para el transporte de rocas en canteras y en ocasiones para acarreos de material suelto como son: la arcilla, agregados y material pétreo.

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

Esta es el equipo usual para acarreo fuera de la carretera, transportando el material desde los bancos y canteras hasta el lugar de las obras o a las plantas de trituración.

El acarreo de tierra, roca, arena y arcilla, es el trabajo común de estas máquinas y puede considerarse como un elemento admirable para subir por las cuestas.

c) 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.

Estas máquinas básicamente constan de una caja montada sobre un bastidor y de un vehículo propulsor y se clasifican en semirremolques y remolques.

Este equipo es usual para acarreo de grandes volúmenes de agregados, revestimientos y de materiales suaves.

d) Plataformas.- Unidades diseñadas para circular tanto dentro de las carreteras y transportar de un lugar a otro toda clase de maquinaria y equipo. Generalmente son vehículos con 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.

MOTOCONFORMADORAS.- Máquinas proyectadas principalmente para revolver, para el extendido, conformación y acabado de materiales, de gran diversidad en tipos y tamaños y con una potencia que varía desde treinta hasta doscientos caballos de fuerza. Básicamente constan de un bastidor compuesto por dos travesaños contraventeados, que en su parte trasera soportan el motor y a la cabina de control, y en su parte delantera convergen hasta formar una viga sencilla y curva, para terminar en la parte frontal de las llantas.

La cuchilla que es semejante a la de los bulldozer pero más esbelta, va provista en sus bordes laterales de placas intercambiables y soportadas al bastidor mediante un anillo que permite movimientos de rotación con giros horizontales y verticales, así como desplazamientos en forma lateral.

El escarificador, que con frecuencia se clasifica como elemento opcional, va colocado al frente de la cuchilla y provisto de un juego de dientes, que varía en número según la superfi-

cie que vaya a aflojar o excavar. Este último elemento y la cuchilla puede trabajar simultáneamente o por separado.

Dependiendo del peso y el tamaño la motoconformadora se dividen en:

Motoconformadoras	{	Pesadas
		Ligeras
		De Arrastre

Son máquinas que por lo general intervienen en la última fase de la mayor parte de los trabajos de movimiento de tierras, y en particular en el desplazamiento de grandes volúmenes de material.

Entre los trabajos más comunes están; el tendido y afine de terraplenes, la hechura de cunetas y limpieza de las mismas, el levantamiento de pavimentos asfálticos viejos, la obtención de una granulometria adecuada para base, subbases y carpetas mediante el mezclado de los materiales, el acamellonamiento de estos últimos y la nivelación de perfiles.

COMPACTADORES.- Equipo exclusivamente diseñado para la compactación y confinamiento de materiales sueltos, expulsando el agua y el aire de su interior y mediante el constante golpeo o apisonamiento de la máquina sobre la superficie de las capas.

Gracias a este equipo es posible obtener una compactación rápida y efectiva en cada una de sus aplicaciones ya que de otra manera tardaría de dos a tres años para lograrse en forma natural.

En general la acción producida por estas máquinas sobre el terreno se reduce sobre la misma franja; y al confinamiento -- por golpeo que se logra por medio del efecto vibratorio de las -- ruedas o rodillos de las máquinas.

Dependiendo de las características propias de cada suelo los compactadores se dividen en:

a) Aplanadora de tres rodillos.- Que tiene en la parte posterior un par de rodillos grandes de impulsión y en el frente uno de dirección mas pequeña pero más ancho y a todo lo largo de su eje, normalmente se emplea para confinaciones medias, que varían entre cinco y quince toneladas de peso.

Son usuales en la construcción de la mayoría de las superficies bituminosas y en el aplanado de subrasantes; siendo -- muy frecuentes en la compactación de pavimentos bases y sub-bases.

b) Compactadora Tandem. Son máquinas proyectadas principalmente para el acabado terso de las carpetas asfálticas de -

primer orden y con la característica de tener dos de sus tres - - ejes de rodillos en tandem.

Asimismo el ancho de los rodillos de gufa (traseros) como el eje de impulsión (Delantero) es semejante entre si y tan -- largo como su propio eje, aunque el tamaño y la comprensión de -- los primeros es mayor. El peso de estas máquinas oscila entre -- dos y veinte toneladas.

Su uso frecuente es la compactación de carreteras, pavimentaciones asfálticas y en la de baches.

c) Compactadora portátil.- Son máquinas semejantes a las de tipo tandem de dos ejes, pero con la diferencia de que las portátiles llevan un par de llantas neumáticas extras, colocadas a -- uno y otro lado del bastidor y a una altura determinada para evitar que se rocen con el terreno cuando no se utilizan.

Desempeñan las mismas funciones que las compactadoras -- tandem, pero con la diferencia de que estas tienen una aplicación mas rápida y mas efectiva, cuando se trata de ser transportadas -- de un lugar a otro en poco tiempo.

d) Rodillo vibrador liso.- Elemento que se compone de -- un tambor o rodillo liso vibratorio y de un robusto bastidor apoyado sobre el eje del primero.

Es altamente efectivo para materiales granulares y compactación de; sub-rasantes, terracerías, sub-bases y bases.

e) Rodillo Pata de cabra.- Este tipo de compactador, tiene una serie de patas de acero que trabajan apisonando el material de fondo, logrando así una confinación profunda.

Basicamente son iguales a los de tipo vibratorio de rodillo liso, pero con la diferencia de que su tambor o rodillo va equipado con "patas" salientes repartidas en toda la superficie.- En general los rodillos vibradores de este tipo pueden combinarse en número de dos o más bastidores múltiples, y cuentan normalmente con limpiadores especiales, que aumentan la efectividad de la máquina al quitar la tierra atorada entre las patas.

Estos constituyen la herramienta estandar para la compactación de terraplenes, bases de carreteras de primer orden, y en general materiales con gran contenido de arcilla, arena y limo.

f) Rodillos de reja. Conocidos también como apisonadores de rejas o de parrilla, son en lo que respecta al cuerpo de la máquina, semejantes a los compactadores de rodillo liso, y al igual que a los de pata de cabra únicamente cambian en el rodillo vibratorio, ya que este lleva en su superficie una especie de malla formada por barras entrelasadas y de cara bastante ancha y a todo lo largo del cilindro.

Es ideal para disgregar el material quebrandola y pulverizándola simultáneamente.

Usual en caminos secundarios y caminos de acceso, para la compactación de terraplenes revestidos de roca suelta a base de triturarla y en la recuperación de los agregados pétreos que se quitan en las carpetas asfálticas por disgregación.

g) Compactador de llantas neumáticas.- Son modelos formados básicamente de una caja lastrable, que constituye el cuerpo principal de la compactadora, y por dos ejes, de ruedas uno trace ro con llantas motrices y uno delantero de dirección. Frecuentemente el número de llantas es variable, aunque el trasero lleva siempre una mas que el delantero.

En general estas máquinas son autoimpulsadas o remolcadas por un tractor, y en cuyo caso y además que todo el espacio de la caja se ocupa para ser lastrado, pueden ir colocadas en tandem.

Son usuales en la compactación final de la capa superficial de terracerías, bases, sub-bases y revestimientos de arcillas y limos.

b) Compactador Duo-Pactor. Son máquinas capaces de proporcionar dos tipos de confinación en una sola unidad, combinando la compactación superficial del rodillo liso de acero, con la del

tipo profundo de los neumáticos, los cuales se adaptan a cualquier tipo de superficies irregulares, asegurando una presión de contacto uniforme y mediante un sistema exclusivo de suspensión, principalmente este tipo de compactadores, esta formado por un tractor auto propulsor de dos llantas, la caja usualmente se lastra con agua, o arena mojada y en algunos modelos es de tipo de volteo.

Son usuales en la compactación de terraplenes, carpetas-asfálticas, bases, sub-bases, caminos rurales o secundarios.

PERFORADORAS.- Este equipo esta diseñado exclusivamente para los trabajos de perforación, barrenación para explosivos y en demoliciones y además de encontrarse en una gran variedad de formas y tamaños cuenta con una aplicación muy importante en el campo de la construcción, y según su aplicación se clasifican en pistola o martillo de barrenación, pierna neumática, perforadora de carretilla, jumbo, perforadora sobre orugas, perforadora portátil de torre, perforadoras para tunel y perforadoras giratorias.

PLANTAS DE TRITURACION.- Es un conjunto de elementos mecánicos, acoplados en forma adecuada para desarrollar un ciclo completo de trituración.

Son usuales para la transformación de rocas y piedras de tamaño excesivo, en agregados propios para la elaboración de con-

cretos o para la formación de terraplenes, sub-bases y carpetas - asfálticas.

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.

PETROLIZADORAS.- 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 mo-

tor adicional o el del vehículo.

Su uso general se hace en las carreteras para el riego - de asfaltos 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 ésta máquina está formada por un rodillo de cerdas, y que colocado apropiadamente y en forma perpendicular con respecto a su movimiento y se articula a través de una barra de tiro, a un tractor agrícola 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 la pavimentación de carreteras.

PIPAS.- 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 la carga y descarga del agua. Lleva además adaptada en su parte interior 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-base, bases o terraplenes.

PAVIMENTADORAS (Finisher).- Son máquinas consideradas como el elemento esencial en los trabajos de pavimentación para la distribución 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 caja rectangular, sobre la cual van el motor, el tanque de combustible, la tolva alimentadora y los controles para su operación.

En general la mayoría de estas máquinas, cuentan con un tanque de agua con capacidad suficiente para permitir que la máquina funcione durante un período ininterrumpido de 15 a 20 minutos, así como de un sinfín de elementos optativos que aumentan su producción.

Las pavimentadoras se clasifican en:

- a) Pavimentadoras sobre neumáticos
- b) Pavimentadoras sobre orugas

Generalmente las máquinas más pequeñas son la que van --
notadas 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 en uno como para el otro caso las carac
terísticas son las mismas.

Es el equipo ideal para la formación de las carpetas as--
fálticas en las carreteras.

B I B L I O G R A F I A

- Caminos y Desarrollo, México 1925-1975
Secretaría de Obras Públicas
- Manual de proyecto geométrico de carreteras
Secretaría de Obras Públicas
- Ingeniería de Tránsito
Ing. Rafael Cal y Mayor
- Apuntes de la clase de carreteras
Ing. Bernardo Moguel Sarmiento
- Teoría y aplicaciones de la mecánica de suelos
Juárez Badillo - Rico Rodríguez
- Topografía
Ing. Miguel Montes de Oca
- Breve descripción del equipo usual de construcción
Facultad de Ingeniería, UNAM
- Flujo de agua en suelos
Juárez Badillo - Rico Rodríguez
- Diseño estructural de carreteras con pavimento flexible.
Santiago Corro - Guillermo Prado
Instituto de Ingeniería de la UNAM.