
Facultad de Ingeniería

31
UNAM

**Planeación, Proyecto y Construcción de la
Carretera Temascaltepec Cd. Altomirano
Zihuatanejo**

T E S I S

Que para obtener el título de :

I N G E N I E R O C I V I L

p r e s e n t a :

JUAN CANO BAUTISTA

México, D. F.

1979





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMENES PROFESIONALES

60-1-78

Al Pasante señor JUAN CANO BAUTISTA,
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Bernardo Moguel Sarmiento, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

"PLANEACION, PROYECTO Y CONSTRUCCION DE LA CARRETERA
TEMASCALTEPEC-CD. ALTAMIRANO-ZIHUATANEJO"

- I. Introducción
- II. Planeación
- III. Proyecto
- IV. Construcción

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá 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 HAELARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria, 9 de abril de 1979

EL DIRECTOR

ING. JAVIER JIMENEZ ESPRIU

I N D I C E

	Página
I.- Introducción	1
II.- Planeación	3
III.- Proyecto	5
III. 1.- Clasificación de las carreteras desde el punto de vista de la planeación	5
III. 2.- Clasificación de las carreteras dependien do de sus características geométricas	10
III. 3.- Método tradicional para localización de caminos	12
III. 4.- Método aerofotogramétrico electrónico para localización de caminos	15
III. 5.- Financiamiento de las inversiones para la construcción de caminos	22
IV.- Construcción	24
IV. 1.- Elección y tipo de maquinaria	24
IV. 2.- Desmote	28
IV. 3.- Terracerías	30
IV. 4.- Estabilidad de taludes	40
IV. 5.- Subrasante	55
IV. 6.- Drenaje y Subdrenaje	62
IV. 7.- Diseño del pavimento	79
IV. 8.- Señalamiento	99
IV. 9.- Conclusiones	105

I.- INTRODUCCION

Desde tiempos remotos el hombre a sentido la imperiosa necesidad de comunicarse con sus semejantes, por lo cual en un principio se transportaba de un lugar a otro por medio de brechas y veredas, después aprovechando las corrientes fluviales y usando canoas conoció este medio de transporte.

Con el advenimiento de la rueda hacia el año 3,500 A.C., se construyen en la Mesopotamia las primeras superficies duras, se tiene conocimiento que en el año 539 A.C., se construyó un camino entre Babilonia y Egipto.

Los Romanos consolidaron su Imperio gracias a una extensa red de caminos que radiaban en muchas direcciones desde Roma. Algunos de los cuales pueden admirarse actualmente, como la Vía Apia de 5 a 6 mts., de ancho construída hacia el año 312 A.C.

En México en época Pre-cortesiana, los pueblos Mayas y Aztecas construyeron grandes obras como el "Camino Blanco" de los Mayas que todavía existe y el camino "México-Tecuba" de los Aztecas -- que la Historia registre que contaba hasta con puentes elevados.

Hasta mediados del siglo XVIII se podría decir que la construcción de caminos salió del estancamiento en que habían permanecido, gracias a los métodos de construcción de Tresquet que desarrolló en Francia. Poco después en Inglaterra se desarrollaron los caminos, Mac Adam fué el que más destacó en ese tiempo.

En el desarrollo económico de cualquier país, el transporte automotor ha influido notablemente en las actividades tanto económi-

cos como Sociales, así tenemos que en México la vía de comunicación terrestre que más se ha desarrollado es la carretera, debido fundamentalmente a las características geográficas del país, que cuenta con dos elevadas cordilleras que dan lugar a dos zonas -- costeras y a un altiplano que lo dividen en mesetes, estas características presentan serios obstáculos para el aprovechamiento de los recursos naturales con que cuenta el país.

Es deseable que en nuestro país las carreteras enlacen las zonas consumidoras así como las zonas de penetración económica, etapa que todavía México no ha alcanzado.

En este trabajo se estudia a la carretera en sus etapas de construcción y la técnica empleada para realizarse. Además se tratan algunos aspectos de control de calidad que satisfagan los requerimientos del tipo de camino y la etapa constructiva correspondiente.

II.- PLANEACION

Al analizar la carretera Temascaltepec-Zihuatanejo se puede observar que constituye éste un tramo básico del corredor vital México-Zihuatanejo, con una longitud de 465 km., el cual une la Ciudad de México-Toluca-Temascaltepec-Cd. Altamirano-Zihuatanejo. Actualmente se encuentra terminado de México hasta la población de Bejuco con una longitud de 215 km., y en proceso de construcción de Bejuco-Zihuatanejo con 250 km.

Es de señalarse la importancia que desempeñará esta carretera troncal en la prácticamente incomunicada región del Estado de Guerrero en la que existen abundancia de recursos minerales y forestales, gracias a los pliegamientos del mesozoico, constitutivos de la Sierra Madre del Sur, que cuentan con yacimientos metalíferos en la zona por la que atraviesa la carretera, también se verán beneficiados los terrenos pertenecientes al plan forestal Vicente Guerrero en el Estado de Guerrero y el plan Forestal Protiempos, en el Edo. de México, al quedar intercomunicados, favoreciéndose la integración de estas dos zonas de explotación similar, con lo cual se propiciará el desarrollo de las economías externas e internas.

Con respecto a la zona turística Ixtapa-Zihuatanejo la carretera permitirá mayor demanda y uso más uniforme de las instalaciones hoteleras, y en general de todos los servicios turísticos disminuyendo el efecto de las variaciones estacionales al favorecer el traslado por tierra a este centro turístico como resultado del ahorro en distancia y sobre todo en tiempo con relación al recorrido que actualmente se hace vía Acapulco.

Dado que el número de turistas nacionales se incrementará, haciendo disminuir el desperdicio de capacidad instalada que actualmente existe en ese centro turístico.

El complejo Siderúrgico Lázaro Cárdenas-Las Truchas quedará comunicado a la zona industrial de la Cd. de México, por medio de esta carretera por tan solo 580 km., en lugar de 771 km., vía Acaapulco lo que representará un ahorro de 191 km., en distancia y muy considerable en tiempo.

La integración de la región llamada "Tierra Caliente" que tiene a Cd. Altamirano como polo concentrador natural, se verá enormemente beneficiada por las altas posibilidades agropecuarias de esta zona, que tendrá el incentivo de una demanda segura y creciente por parte de Zihuatanejo, a raíz de la expansión de tipo turístico propiciada por el proyecto Ixtepa.

La realización de este camino constituirá un importante avance -- en el transporte terrestre del Estado de Guerrero, e incidirá en la estructura de producción y distribución al ofrecerse mayores facilidades de comercialización a los productos regionales.

Se hace notar que una vía de comunicación favorece enormemente el desarrollo productivo de la región, pero no constituye por sí sola el factor absoluto para el desarrollo de dicha zona.

III.- PROYECTO

Antes de entrar al proyecto es conveniente tratar la clasificación de las carreteras en función de su planeación y características geométricas.

III.1. CLASIFICACION DE LAS CARRETERAS DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA PLANEACION.

En la tercera década del presente siglo, las decisiones para la aplicación del presupuesto se realizaban mediante el análisis individual de beneficios de cada proyecto, sin establecer una relación con la economía en general. Los resultados fueron satisfactorios porque la magnitud de los problemas requería solución inmediata.

Las Administraciones que han actuado desde entonces, han sentido la preocupación de mejorar los procedimientos que permitan definir con precisión, cuales son las inversiones en obras que resultan más benéficas para los intereses de la colectividad.

Es por eso que las inversiones en carreteras, los efectos que producirán serán diferentes según el medio económico en que se aplique, por lo cual se originó la clasificación de las carreteras desde el punto de vista de la planeación según su función:

- a) Carreteras de función social
- b) Carreteras de penetración económica
- c) Carreteras para zonas en pleno desarrollo.
- e).- CARRETERAS DE FUNCION SOCIAL.

Son las obras en que los efectos de invertir se manifiestan principalmente en el campo social, debido a que la zona afectada sea de escasa potencialidad económica pero con fuerte concentración-

de población, es decir la construcción de la carretera extrañará un cambio decisivo en el modo de vida de los habitantes. El costo de la obra se considera para especificaciones mínimas, y el criterio de evaluación se basa en la relación entre el monto de la inversión y el número de habitantes por servir.

b).- CARRETERAS DE PENETRACION ECONOMICA.

Son las obras en las que el objetivo primordial sea la integración al proceso de desarrollo general de zonas potencialmente -- productivas. Con la construcción de estas obras se alienta la inversión en otros sectores que redundará en el incremento de -- las actividades económicas, y por lo tanto se tendrá aumento en la producción primero en las actividades primarias y posteriormente en las de transformación y servicios.

El método de selección que se utiliza en este caso, se apoya en la productividad de la inversión que se calcula a partir de la producción que sería agregada a la economía nacional, mediante la construcción de la obra más considerada. Entonces el valor de esa producción, en cierto año, se relaciona con el costo de la obra y se obtiene, así un índice llamado de productividad que aún cuando no expresa un valor absoluto de los beneficios de la inversión, permite evaluar distintas inversiones dentro de esta categoría.

En el cálculo del valor de la producción, se tienen en cuenta -- las actividades primarias, principalmente agrícolas, y se estima de acuerdo con las técnicas y rendimientos tradicionales de la región, sin considerar la evolución de esa producción a través -- del tiempo, con el fin de mantener una posición conservadora en

cuanto el indicador del beneficio de la inversión. El cálculo del costo se limita a la consideración de la cantidad necesaria para la construcción de la obra vial idónea, sin considerar los costos de conservación, ni las inversiones necesarias para mejorar las condiciones de las obras de acuerdo con su evolución; la omisión de estos costos se encuentran ampliamente compensada con los beneficios de carácter social no contabilizables, que la obra supone.

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

$$I.P. = \frac{\sum_{i=1}^n X_i^a P_i}{C}$$

En la que:

I.P. = Índice de la 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 construcción de la obra vial.

e).- CARRETERAS PARA 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. El objetivo que se persigue si se construye la obra será la disminución en los costos de transporte que los usuarios tienen necesidad de afrontar. El método de cuantificar este ahorro con cierta precisión, se apoya en observaciones directas del tránsito actual y su proyección a futuro.

ro, hecho esto se compara con los gastos que habrá necesidad de efectuar a lo largo del plazo de crevisión y establecer un índice de rentabilidad de la inversión propuesta. Los beneficios directos cuantificables que aporten a la colectividad estas obras, son los ahorros en costos de transporte y en tiempos de recorrido, además de la supresión de pérdidas motivadas por los posibles congestionamientos, que se presentaran al rebesarse la capacidad del camino.

El cálculo de cada uno de estos ahorros se realiza mediante la comparación entre los costos que prevalecen actualmente y los que prevalecerán una vez realizada la obra propuesta. Dicha comparación se efectúa para toda la vida útil de la nueva obra y se determinan los ahorros totales, o sea los beneficios que está proporcionaré, en cada uno de los años en que prestaré servicio. La cuantificación de costos se obtiene, también a lo largo de la vida útil de las obras, considerando tanto la inversión inicial como los costos de conservación y de las posibles reconstrucciones que hubieran de realizarse. Una vez estimados los beneficios y costos que se presentarían durante la vida útil de las obras, se procede a determinar lo que puede llamarse como su valor actualizado.

Para obtener el valor actual de un peso ganado o gastado en cada uno de los años futuros. Se recomienda aplicar una tasa de actualización del 18% anual que expresa, en términos financieros el "costo" del capital utilizado en la inversión y la disminución en el tiempo del poder adquisitivo de la moneda. La suma de beneficios actualizados representa el valor que pueden asignar

hoy a los beneficios que la inversión producirá en el período -- considerado; análogamente, la suma de costos actualizados representa el valor actual que la inversión implica durante el mismo período.

El cociente que resulta de dividir los beneficios actualizados -- entre los costos actualizados es el índice de rentabilidad que -- expresa la calidad de la inversión, el cual permite rechazar las inversiones no rentables y por comparación establecer la prelección de las rentables.

El cálculo del Índice de Rentabilidad se sintetiza en la siguiente expresión:

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

En la que:

I.R. = Índice de Rentabilidad.

B_i = Beneficio total en el año i.

C_i = Costo causado por la obra en el año i.

a = Tasa de actualización, considerada constante en el período estudiado.

Por la diferente naturaleza de las consecuencias que se presentarán es necesario aclarar que los criterios de evaluación descritos solo permiten hasta el momento el establecimiento de prelección en cada categoría, y que no es posible comparables entre -- sí y la parte proporcional que a cada una de ellas corresponde --

en los programas, dependerá de la sana evolución de la red carretera.

III.2 CLASIFICACION DE LAS CARRETERAS DEPENDIENDO DE SUS CARACTERISTICAS GEOMETRICAS.

También desde el punto de vista de proyecto se han clasificado los caminos tomando como base el tránsito diario promedio anual-TDA que sostendrán y de acuerdo con esta clasificación se han formulado especificaciones de construcción y calidad para cada uno de ellos y estas están en función fundamentalmente de la velocidad de operación e intensidad del tránsito.

Los caminos se han clasificado así:

- 1) Caminos Especiales
- 2) De Primer Orden o Tipo "A"
- 3) De Segundo Orden o Tipo "B"
- 4) De Tercer Orden o Tipo "C"
- 5) De Cuarto Orden o Tipo "D"
- 6) Tipo "E"

A continuación se presenta los diferentes tipos de caminos y sus características principales en forma tabulada:

CONCEPTO	TIPO ESP.	TIPO "A"	TIPO "B"	TIPO "C"	TIPO "D"	TIPO "E"
Velocidad de proyecto (km/hr)	120	60-100	50-80	35-70	30-60	20-40
Velocidad de operación (km/hr)	100	50-90	40-70	30-60	25-50	15-35
TIPA (No. de Vehículos)	3000	1500-3000	500-1500	50-500	10-50	1-10
% de Vehículos Pesados	50	40	40	30	50	50
Superficie de Rodamiento	Mez. en Planta	Mez. en Planta	Los Riegos	Un Riego	Revest.	Natural
Obras de Drenaje	Defin.	Defin.	Defin.	Defin.	Provis.	Provis.
Puentes	Defin.	Defin.	Defin.	Defin.	Vados	Vados
Señalamiento	Refleg.	Refleg.	No Ref.	No Ref.	No Ref.	No Ref.
Entronque	Desnivel	Desnivel	Nivel	Nivel	Nivel	Nivel
Obras complementarias	Defin.	Defin.	Defin.	Defin.	Natural	Natural
Pendiente Gobernadora	1.5-3.0	2.5-4.5	3.0-5.0	3.5-6.0	5.0-12.0	6.0-14.
Pendiente Máxima	4	4-6	4.5-6.5	5-7	5-13	6-15
Grado de curvatura Max. (°)	4	8-26	11-35	16-60	11-62	15-70
Ancho de corona (ft)	Variable	9.0-8.0	8.0-7.0	7.0	6.0	4.0 con Libram.
Ancho de Carpeta (ft)	1-2 Bandas 7.5 c/u	6.1	6.0	5.5	- -	- -

Actualmente está en revisión y próximamente entrará en vigor la nueva clasificación de las carreteras desde el punto de vista de características geométricas, en la cual se clasifican tres tipos de terreno en vez de los cuatro tipos con que se cuenta en la clasificación vigente, además se cuenta con una gráfica para determinar la longitud crítica de tangentes verticales con pendiente mayor que la gobernadora, en los anexos 1, 2, 3, 4, y 5 se presentan las tablas y gráfica de esta nueva clasificación de caminos.

III.3.- METODO TRADICIONAL PARA LOCALIZACION DE CAMINOS.

El proyecto de una carretera por el método tradicional se pueden dividir en 4 etapas:

- a) Reconocimiento de rutas
- b) Selección de ruta
- c) Trazo preliminar
- d) Trazo definitivo

a).- Un reconocimiento consiste en esencia en el exámen de una faja de terreno de ancho variable, con el objeto de fijar los puntos obligados, que son aquellos sitios por los que necesariamente deberá pasar el camino por razones técnicas, económicas, sociales y políticas, tales como: poblaciones sitios o áreas productivas y puertos orográficos.

En el reconocimiento de una ruta debemos tomar los siguientes datos:

- 1.- Altura de los puntos obligados.
- 2.- Distancia aproximada entre los puntos obligados por medio -

de cartas y cuentapasos.

Diferencia de Nivel, Distancia

Observaciones con Clisímetro.

b) Una vez hecho el reconocimiento de rutas, se hace la selección de la mejor ruta. Tomando en consideración los siguientes puntos:

- 1.- Puntos obligados que tocaremos
- 2.- Especificaciones del camino, alineamiento y pendiente
- 3.- Geología
- 4.- Hidrología y Drenaje
- 5.- Puentes y Obras de Drenaje
- 6.- Materiales cercanos para la construcción tanto para terracerías como para pavimentación.

c) Con los datos que se obtienen del reconocimiento, se forma un plano en el cual se procede a proyectar la línea preliminar, es decir aquella que une los puntos obligados por medio de líneas rectas y cuidando que sus longitudes permitan posteriormente alojar las curvas horizontales.

Con los datos que se obtienen en el gabinete del proyecto preliminar (longitudes y deflexiones), se procede al trazo del camino en el terreno con la ayuda de un tránsito o teodolito y cadeneando con una cinta metálica.

Inmediatamente atrás del trazo preliminar se ejecuta la nivelación que, como sabemos, sirve para obtener las diferentes alturas de todos los puntos con respecto a un nivel patrón que se ha elegido (generalmente las elevaciones se refieren al nivel -

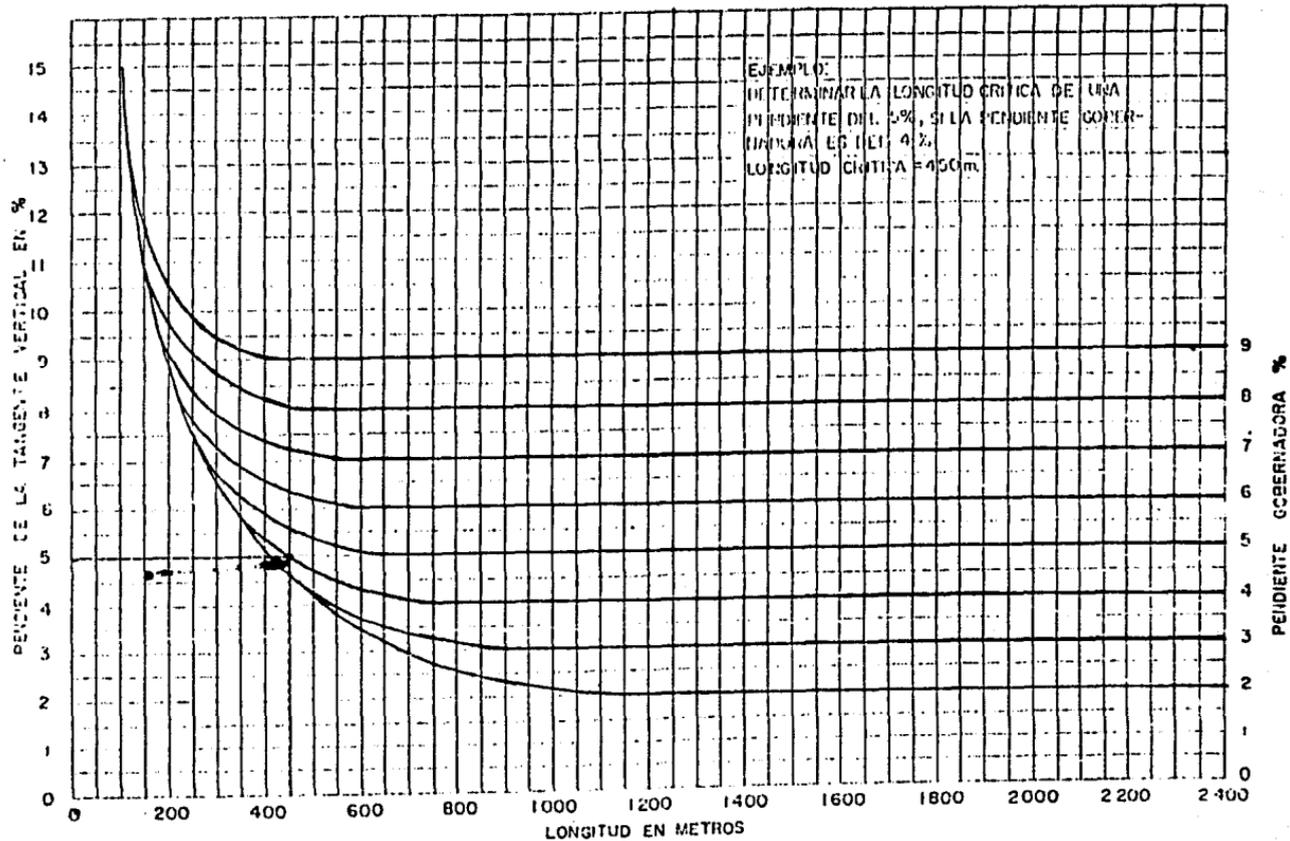
del mar).

Con los datos que se obtienen del trazo y nivel preliminares se dibujan la planta y el perfil.

d) Al obtenerse el trazo, nivel, y secciones transversales del trazo preliminar, se inician los estudios para poder obtener el proyecto de trazo definitivo que se ejecuta tomando como base - la pendiente y la curvatura máximas que se permiten de acuerdo con las especificaciones que se han indicado para cada caso.

El trazador tomará los datos del trazo definitivo indicadas en el plano y procederá a fijarlos en el campo, por el método de deflexiones y a su vez el nivelador efectuará la nivelación definitiva colocando los bancos de nivel fuera del Derecho de Vía para evitar que posteriormente sean destruidos debido a los trabajos de construcción.

Después de ejecutada la nivelación definitiva los topógrafos - deberán, hacer el levantamiento transversal en una longitud de 50 m. como máximo a cada lado del eje del camino, con el objeto de que se puedan proyectar las futuras secciones por construir, que reciben el nombre de "Secciones de Construcción", y que sirven para obtener primero las áreas, después los volúmenes y finalmente calcular y dibujar la curva masa para indicar en esta los movimientos de terracerías que deben llevarse a cabo.



ANEXO 2

LONGITUD CRITICA DE TANGENTES VERTICALES CON PENDIENTE MAYOR QUE LA GOBERNADORA

VELOCIDAD		70			80			90			100			110												
Gc	Rc	Ac	Sc	Le																						
		Am/As																								
0° 15'	458368	0	0	20	39	67	0	0	20	45	76	0	0	20	50	86	0	0	20	56	99	0	0	20	62	103
0° 30'	229184	0	0	20	39	67	0	0	20	45	76	0	0	20	50	86	0	0	20	56	99	0	0	20	62	103
0° 45'	152789	0	0	20	39	67	0	0	23	45	76	0	0	28	50	86	0	0	34	56	99	0	0	40	62	105
1 00	114592	0	0	23	39	67	0	0	30	45	76	0	0	36	50	86	0	0	45	56	99	0	0	52	62	105
1 15	91614	0	0	30	39	67	0	0	37	45	76	0	0	45	50	86	0	0	55	56	99	0	0	63	62	105
1 30	76394	0	0	35	39	67	0	0	44	45	76	0	0	53	50	86	0	0	64	56	99	0	0	73	64	109
1 45	68481	0	0	41	39	67	0	0	50	45	76	0	0	61	50	86	0	0	73	56	99	0	0	81	71	121
2 00	57296	0	0	46	39	67	0	0	57	45	76	0	0	67	50	86	0	0	81	65	110	0	0	89	78	133
2 15	50930	0	20	51	39	67	0	20	62	45	76	20	30	73	53	89	20	40	87	70	118	30	50	94	83	141
2 30	45837	0	20	55	39	67	20	30	68	45	76	20	40	79	57	89	30	50	92	74	125	30	60	98	86	147
2 45	41670	0	30	60	39	67	20	40	73	47	79	20	50	84	60	103	30	60	96	77	131	30	70	100	88	150
3 00	38157	20	30	64	39	67	20	40	77	49	84	30	50	88	63	108	30	60	99	79	135					
3 15	35239	20	40	67	39	67	20	50	81	52	88	30	60	92	66	113	30	70	100	80	136					
3 30	32740	20	40	71	40	68	30	50	85	54	92	30	60	96	69	118										
3 45	30558	20	50	75	42	71	30	60	88	56	96	30	70	98	71	120										
4 00	28648	30	50	78	44	74	30	60	91	58	99	40	70	99	71	121										
4 15	26963	30	50	81	45	77	30	70	94	60	102	40	80	100	72	122										
4 30	25465	30	60	84	47	80	40	70	96	61	104															
4 45	24125	30	60	87	49	83	40	80	97	62	106															
5 00	22918	30	70	89	50	85	40	80	99	63	108															
5 15	21827	40	70	91	51	87	40	90	100	63	108															
5 30	20835	40	80	93	52	89	50	90	100	64	109															
5 45	19929	40	80	95	53	90																				
6 00	19099	40	80	96	54	91																				
6 15	18335	40	90	97	54	92																				
6 30	17629	50	90	98	55	93																				
6 45	16977	50	100	99	55	94																				
7 00	16370	50	100	99	55	94																				
7 15	15806	50	100	100	56	95																				
7 30	15279	50	110	100	56	95																				

Ac Ampliación de la calzada y la corona, en cm

Sc Sobreelevación, en porcentaje

Le Longitud de la transición, en m

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

Notas-

Para grados de curvatura no previstos en la tabla, Ac, Sc y Le se obtienen por interpolación lineal

A4S-Dos carriles en cada cuerpo (cuerpos separados) con el eje de proyecto en el centro de cada calzada

A4 -Cuatro carriles en un solo cuerpo, con el eje de proyecto coincidiendo con el eje geométrico.

VELOCIDAD		50			60			70			80			90			100			110		
Gc	Rc	Ac	Sc	Le	Ac	Sc	Le	Ac	Sc	Le	Ac	Sc	Le	Ac	Sc	Le	Ac	Sc	Le	Ac	Sc	Le
0° 15'	458369	0	20	28	0	20	34	0	20	39	0	20	45	0	20	50	0	20	56	0	20	62
0° 30'	229184	0	20	28	0	20	34	0	20	39	0	20	45	0	20	50	0	23	56	0	27	62
0° 45'	152789	0	20	28	0	20	34	0	20	39	0	23	45	0	28	50	0	34	56	0	40	62
1 00	114592	0	20	28	0	20	34	0	23	39	0	30	45	0	36	50	0	43	56	0	52	62
1 15	91674	0	20	28	0	23	34	0	30	39	0	37	45	0	45	50	0	53	56	0	63	62
1 30	76394	0	20	28	0	28	34	0	35	39	0	44	45	0	53	50	0	64	56	0	73	64
1 45	65481	0	22	28	0	32	34	0	41	39	0	50	45	C	61	50	0	73	58	20	81	71
2 00	57296	0	22	28	0	36	34	0	46	39	0	57	45	0	67	50	20	81	63	20	89	78
2 15	50830	0	22	28	0	40	34	0	51	39	0	62	45	20	73	53	20	87	70	30	94	83
2 30	45837	0	31	28	0	44	34	0	55	39	20	68	45	20	79	57	30	92	74	30	98	86
2 45	41670	0	34	28	0	47	34	0	60	39	20	73	47	20	84	60	30	96	77	30	100	88
3 00	38197	0	37	28	0	51	34	20	64	39	20	77	49	30	88	63	30	99	79			
3 15	35259	0	35	28	0	54	34	20	67	39	20	81	52	30	92	66	30	100	80			
3 30	32740	0	42	28	20	57	34	20	71	40	30	85	54	30	96	69						
3 45	30558	0	44	28	20	60	34	20	75	42	30	89	56	30	98	71						
4 00	28648	0	47	28	20	63	34	30	78	44	30	91	58	40	99	71						
4 15	26863	20	45	28	20	66	34	30	81	45	30	94	60	40	100	72						
4 30	25465	20	51	28	20	69	34	30	84	47	40	96	61									
4 45	24225	20	54	28	30	71	34	30	87	49	40	97	62									
5 00	22918	20	56	28	30	74	36	30	89	50	40	99	63									
5 30	20835	30	60	28	30	78	37	40	93	52	50	100	64									
6 00	19099	30	63	28	40	82	39	40	96	54												
6 30	17629	30	67	28	40	86	41	50	98	55												
7 00	16370	40	70	28	40	89	43	50	99	55												
7 30	15279	40	73	29	50	91	44	50	100	56												
8 00	14324	40	76	30	50	94	45															
8 30	13481	50	79	32	50	96	46															
9 00	12732	50	82	33	60	97	47															
9 30	12062	50	84	34	60	98	47															
10 00	11459	50	86	34	60	99	48															
10 30	10913	60	88	35	70	100	48															
11 00	10417	60	90	36	70	100	48															
11 30	9964	60	92	37																		
12 00	9549	70	93	37																		
12 30	9167	70	95	38																		
13 00	8815	70	96	38																		
13 30	8488	80	97	39																		
14 00	8185	80	98	39																		
14 30	7903	80	98	39																		
15 00	7639	90	99	40																		
15 30	7393	90	99	40																		
16 00	7182	90	100	40																		
16 30	6945	100	100	40																		
17 00	6741	100	100	40																		

Ac Ampliación de la calzada y la corona, en cm

Sc Sobreelevación, en porcentaje

Le Longitud de la transición, en m

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

Note: Para grados de curvatura no previstos en la tabla, Ac, Sc y Le se obtienen por interpolación lineal

ANEXO 4

AMPLIACIONES, SOBREELEVACIONES Y TRANSICIONES PARA CARRETERAS TIPOS B Y A (A2)

VELOCIDAD		40			50			60			70			80			90			100		
Gc	Rc	Ac	Sc	Le	Ac	Sc	Le	Ac	Sc	Le	Ac	Sc	Le	Ac	Sc	Le	Ac	Sc	Le	Ac	Sc	Le
0° 15'	458368	20	20	22	20	20	28	20	20	34	20	20	39	20	20	45	20	20	50	30	20	51
0° 30'	229184	20	20	22	20	20	28	20	20	34	20	20	39	20	20	45	20	20	50	30	20	51
0° 45'	152789	20	20	22	20	20	28	20	20	34	20	20	39	20	24	45	20	28	50	40	35	56
1 00	114592	20	20	22	30	20	28	30	20	34	30	25	39	30	30	45	40	36	50	40	46	54
1 15	91674	30	20	22	30	20	28	30	25	34	40	30	39	40	37	45	40	45	50	50	56	56
1 30	76394	30	20	22	30	20	28	40	28	34	40	36	39	40	44	45	50	53	50	50	65	57
1 45	65481	30	20	22	30	22	28	40	32	34	40	41	39	50	50	45	50	60	50	60	73	58
2 00	57295	30	20	22	40	25	28	40	36	34	50	46	39	50	67	45	50	68	50	60	81	65
2 15	50930	30	20	22	40	28	28	40	40	34	50	51	39	50	62	45	60	74	53	60	87	70
2 30	45837	40	21	22	40	31	28	50	44	34	50	55	39	60	67	45	60	79	57	70	93	74
2 45	41670	40	23	22	40	34	28	50	47	34	50	60	39	60	72	46	60	84	60	70	96	71
3 00	38197	40	25	22	50	37	28	50	51	34	60	64	39	60	77	49	70	88	63	70	99	71
3 15	35259	40	27	22	50	39	28	50	54	34	60	68	39	60	81	52	70	92	66	80	100	72
3 30	32740	40	29	22	50	42	28	50	57	34	60	71	40	70	85	54	70	96	69			
3 45	30558	50	31	22	50	44	28	60	60	34	60	75	42	70	88	56	70	98	71			
4 00	28648	50	33	22	50	47	28	60	63	34	60	78	44	70	91	58	80	99	71			
4 15	26963	50	34	22	60	49	28	60	66	34	70	81	45	70	94	60	80	100	72			
4 30	25465	50	36	22	60	51	28	60	69	34	70	84	47	80	96	61						
4 45	24125	50	38	22	60	54	28	60	71	34	70	87	49	80	98	63						
5 00	22916	50	39	22	60	56	28	70	74	36	70	89	50	80	99	63						
5 30	20835	60	42	22	60	60	28	70	78	37	80	93	52	90	100	64						
6 00	19059	60	45	22	70	63	28	70	82	39	80	96	54									
6 30	17629	60	48	22	70	67	28	80	86	41	90	98	55									
7 00	16370	70	51	22	70	70	28	80	89	43	90	99	55									
7 30	15279	70	53	22	80	73	29	90	91	44	90	100	56									
8 00	14324	70	56	22	80	76	30	90	94	45												
8 30	13481	80	58	22	80	79	32	90	96	46												
9 00	12752	80	61	22	90	82	33	100	97	47												
9 30	12062	80	63	22	90	84	34	100	98	47												
10 00	11459	90	65	22	100	86	35	100	99	48												
11 00	10417	90	69	22	100	90	36	110	100	48												
12 00	9549	100	73	23	110	93	37															
13 00	8815	100	76	24	110	96	38															
14 00	8185	110	79	25	120	98	39															
15 00	7639	110	82	26	120	99	40															
16 00	7162	120	85	27	130	100	40															
17 00	6741	120	87	28	140	100	40															
18 00	6356	130	89	28																		
19 00	6031	130	91	29																		
20 00	5750	140	92	29																		
21 00	5457	140	94	30																		
22 00	5209	150	95	30																		
23 00	4982	150	96	31																		
24 00	4775	160	97	31																		
25 00	4584	160	98	31																		
26 00	4407	170	99	32																		
27 00	4244	170	99	32																		
28 00	4093	180	100	32																		
29 00	3951	190	100	32																		
30 00	3820	190	100	32																		

Ac Ampliación de la calzada y la corona, en cm

Sc. Sobreelevación, en porcentaje

Le Longitud de la transición, en m

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

Notas -

Para grados de curvatura no previstos en la tabla, Ac, Sc y Le se obtienen por interpolación lineal

ANEXO 5

AMPLIACIONES, SOBREELEVACIONES Y TRANSICIONES PARA CARRETERAS TIPO C

III.-4.- METODO AEROFOTOGRAFETRICO ELECTRONICO PARA LOCALIZACION DE CAMINOS.

A partir de 1963 la SAHOP ha estado utilizando para la elaboración de muchos de sus proyectos de carreteras, la tecnología, relativamente moderna que combina el uso de la fotogrametría, la foto interpretación y el computo electrónico.

A través de la fotogrametría podemos obtener la información topográfica que requiere el proyecto en sus diferentes etapas, en forma de modelos ópticos, mosaicos, ortofotos, o en forma de planos convencionales con planimetría y altimetría.

La fotointerpretación nos ayuda a obtener de las imágenes fotográficas la información geotécnica, hidrológica, y de uso del suelo, que son necesarios en los estudios de carreteras.

El uso de computadoras permite, efectuar los cálculos con gran rapidéz y economía, facilitando la optimización de los proyectos.

El uso de estas técnicas tiene bastantes ventajas en cada una de las fases del proyecto, pues nos permiten estudiar diferentes alternativas en áreas suficientemente amplias, con adecuada precisión y con mucha rapidéz y economía.

Las principales actividades del sistema se muestran en la figura I.

El método se realiza mediante tres etapas.

- 1.- Selección de Ruta.
- 2.- Anteproyecto Preliminar.
- 3.- Proyecto definitivo

De la primera a la última etapa el ancho de la faja en estudio disminuye, mientras que el detalle y la precisión de las mediciones aumenta.

A continuación se describe en forma somera el método aerofotogramétrico electrónico que se aplica en la SAHOP.

1.- SELECCION DE RUTA.

Incluye los siguientes conceptos:

a).- Recopilación de datos previos.

Se recaba toda la información aerofotográfica y cartográfica existente de la zona en estudio, en la cual se localizan en forma general las líneas de ruta; se recopila sobre la población (demografía, servicios, producción, comercio etc.) y sobre las obras existentes y las planeadas por la propia Secretaría y por otras Dependencias, para la zona de influencia del proyecto.

b).- Reconocimiento preliminar.

Se lleva a cabo con la intervención de técnicos en planeación de vías terrestres y geotécnia, utilizando aviones, helicópteros y vehículos terrestres.

Al término del reconocimiento preliminar se definirán los siguientes conceptos:

- b. 1.- La faja de terreno que debe fotografiarse a Esc. --
1:50,000
- b. 2.- Los puntos obligados
- b. 3.- Los posibles problemas geotécnicos y de cobertura vegetal que se hallarán en cada una de las rutas posibles.
- b. 4.- Los estudios económicos de rentabilidad de la obra.

c).- Fotografía aérea a Esc. 1:50,000

Se ha denominado a la fotografía de esta escala como de "reconocimiento" debido a las ventajas de amplitud que ofrece para el estudio de rutas, así como para su interpretación desde los puntos de vista geológico, hidrológico y de uso de la tierra.

d).- Estudio de rutas en fotos a Esc. 1:50,000

Con los informes del primer reconocimiento el localizador marca - en las fotos las posibles líneas de ruta, para lo cual se auxilia de las elevaciones conocidas en la zona y de la barra de paralaje en la determinación aproximada de desniveles.

e).- Interpretación fotogeológica

Interpretando las fotos desde los puntos de vista geológico, hidrológico y geohidrológico se delimitan las unidades geomórficas, rocas, suelos, drenaje, zonas apropiadas de cruces y materiales de construcción.

f).- Reconocimiento de rutas.

Consiste en efectuar un reconocimiento aéreo (en helicóptero) y terrestre por los mismos técnicos del reconocimiento preliminar, de cada una de las rutas posibles, para verificar y completar directamente la información obtenida en gabinete mediante fotointerpretación y, de ser posible, definir la ruta más conveniente o las que deben seguirse estudiando.

g).- Evaluación de rutas.

Con los datos obtenidos hasta esta etapa deben elaborarse los anteproyectos de obras y los estudios de rentabilidad correspondientes, para por medio de un análisis comparativo se defina la -

ruta definitiva o las alternativas cuyo estudio debe continuarse hasta la etapa de proyecto preliminar.

2.- ANTEPROYECTO PRELIMINAR.

El objetivo fundamental de esta etapa es definir la línea que mejor satisfaga los requerimientos de beneficios y costos, que debe ser procesada fotogramétricamente para desarrollar el proyecto definitivo. Los conceptos que deben desarrollarse en esta etapa son:

a).- Fotografía aérea a Esc. 1:25,000

Las líneas de vuelo se marcan sobre mosaicos fotográficos elaborados con las fotos tomadas en el vuelo a Esc. 1:50,000 centrándolas a las líneas de ruta por estudiar, de esta forma se logra precisión satisfactoria en la posición de las fajas de fotografía.

Las principales especificaciones para este vuelo a Esc. 1:25,000 son:

Sobreposición longitudinal 60 a 80%

Sobreposición transversal 20 a 30%

Deriva máxima 4°

Balaceo máximo 3°

Cabeceo máximo 3°

b).- Apoyo terrestre y aerotriangulación

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

apoyo terrestre se proyecta en las oficinas centrales y es ejecutado por Brigadas de Control Terrestre.

Para el control angular se efectúan orientaciones astronómicas, mientras que para el control altimétrico siempre que es económicamente conveniente, se ligan las nivelaciones a bancos preexistentes de levantamientos confiables. Las distancias se miden con teodurómetro TRA-3.

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

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

c).- Anteproyecto a Esc. 1:5000 en Balplex.

Para el anteproyecto se cuenta con equipos Balplex 760 de 3 proyectores, cuyas mesas de trabajo se han montado en gatos hidráulicos que permiten variar la altura del plano de proyección para observar estereoscópicamente los modelos completos.

Esta disposición 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 Esc. 1:25000, en este equipo se obtienen la restitución y la maqueta estereoscópica de anteproyecto a Esc. 1:5000.

3.- PROYECTO DEFINITIVO

El proyecto definitivo se obtiene a través de los siguientes - conceptos:

- a) Apoyo terrestre (poligonal de referencia)
- b) Fotografía aérea a Esc. 1:5,000
- c) Restitución de planos para proyecto definitivo.
- d) Proyecto de trazo definitivo
- e) Estudio preliminar de drenaje
- f) Reconocimiento del terreno por líneas proyectadas
- g) Exploración de suelos
- h) Cálculo del alineamiento horizontal
- i) Seccionamiento
- j) Proyecto de alineamiento vertical
- k) Cálculo de curva mesa y Geometría de Secciones de construcción
- l) Proyecto definitivo del drenaje menor
- m) Cálculo de los datos para el estacamiento del trazo
- n) Estudio de campo para pasos y puentes
- a).- Apoyo terrestre (poligonal de referencia)

Los vértices de este apoyo se sitúan alternativamente a los lados de la línea de anteproyecto, fuera de los cercos (como máximo a 50 m del $\frac{1}{2}$) y distantes entre sí hasta 400 m, buscando que el estacamiento del trazo se haga desde ellos con facilidad.

- b).- Fotografía aérea a Esc. 1:5000

Cuando la Brigada ha terminado el señalamiento del control, se ejecuta el tercer levantamiento aerofotográfico, el cual se proyecta en mosaicos fotográficos a Esc. 1:25,000 y consiste en líneas de vuelo contradas sobre las líneas de anteproyecto.

c).- Restitución de planos para proyecto definitivo

La restitución de planos se hace en el autógrafo A-8 generalmente a Esc. 1:2000 con equidistancia vertical de 2 m; sin embargo, en algunos casos conviene restituirlos a Esc. 1:1000 para curvas de nivel a cada metro, sobre todo cuando se atraviesa zonas urbanizadas o de topografía muy accidentada.

Esta escala permite también un mejor estudio del drenaje, inclusive la ubicación de los ejes de las obras.

d).- Proyecto de trazo definitivo

Tomando como base la línea de anteproyecto estudiada en Balplex a Esc. 1:5000 y las especificaciones geométricas del proyecto, se ensayan trazos deduciendo perfiles, proponiendo subrasantes, estimando cantidades de obra, factores de operación, etc., hasta obtener el mejor proyecto.

Definida la línea, se proporciona al Departamento de Geotecnia un juego de planta y perfil deducido, así como una lista preliminar de las obras menores y mayores de drenaje para que aquel explore y ensaye lo necesario para proporcionar finalmente al proyectista el perfil de suelos con sus correspondientes coeficientes de variación volumétrica, así como las recomendaciones de cimentación y de empleo de los materiales para la construcción de las terracerías y demás estructuras del proyecto.

Naturalmente, en algunos casos los estudios geotécnicos justifican modificaciones en los proyectos.

Los procedimientos de trabajo en los demás conceptos en general, han tenido poca variación respecto a lo que se describió ante-

riormente, sin embargo, cabe aclarar la conveniencia de utilizar en el proyecto plantas a escala 1:1000 para facilitar la ubicación de los ejes de las obras de drenaje, cuyos perfiles pueden obtenerse con suficiente precisión en las operaciones de seccionamiento fotogramétrico del proyecto.

Refiriéndonos a la carretera que nos ocupa, ésta se proyectó con especificaciones de camino tipo "C" y los métodos que se utilizaron para su proyecto fué de la siguiente forma:

El tramo Tamescaltepec-Cd. Altamirano se proyectó con el método tradicional, en el tramo Cd. Altamirano-El Cedral del Km. 0+000 al Km. 31+500 se utilizó la combinación del método fotogramétrico con el tradicional y del Km. 31+500 al Km. 92+100 se utilizó el método tradicional, en el tramo Zihuatanejo-El Cedral se proyectó el camino con el método tradicional.

III. 5.- FINANCIAMIENTO DE LAS INVERSIONES PARA LA CONSTRUCCION-- DE CAMINOS.

Existen tres tipos de financiamiento dependiendo del origen de los fondos para la realización de las obras y son:

a) CARRETERAS FEDERALES.

Estas obras son financiadas totalmente por el Gobierno Federal, el origen de los fondos es de la siguiente manera:

Aproximadamente el 75% de los fondos el Gobierno Federal los obtiene ya sea por recursos fiscales o préstamos internos, el 25% restante de los fondos es de préstamos del exterior otorgados al Gobierno Federal por el BIRF ó BID.

b) CARRETERAS EN COOPERACION BIPARTITA.

En estas obras el Gobierno Federal aporte el 50% del costo y el resto el Gobierno Estatal donde se realiza la obra.

c) CARRETERAS EN COOPERACION TRIPARTITA.

El financiamiento de estas obras es por partes iguales con la -- participación del Gobierno Federal, Gobierno Estatal y los parti--
culares beneficiados.

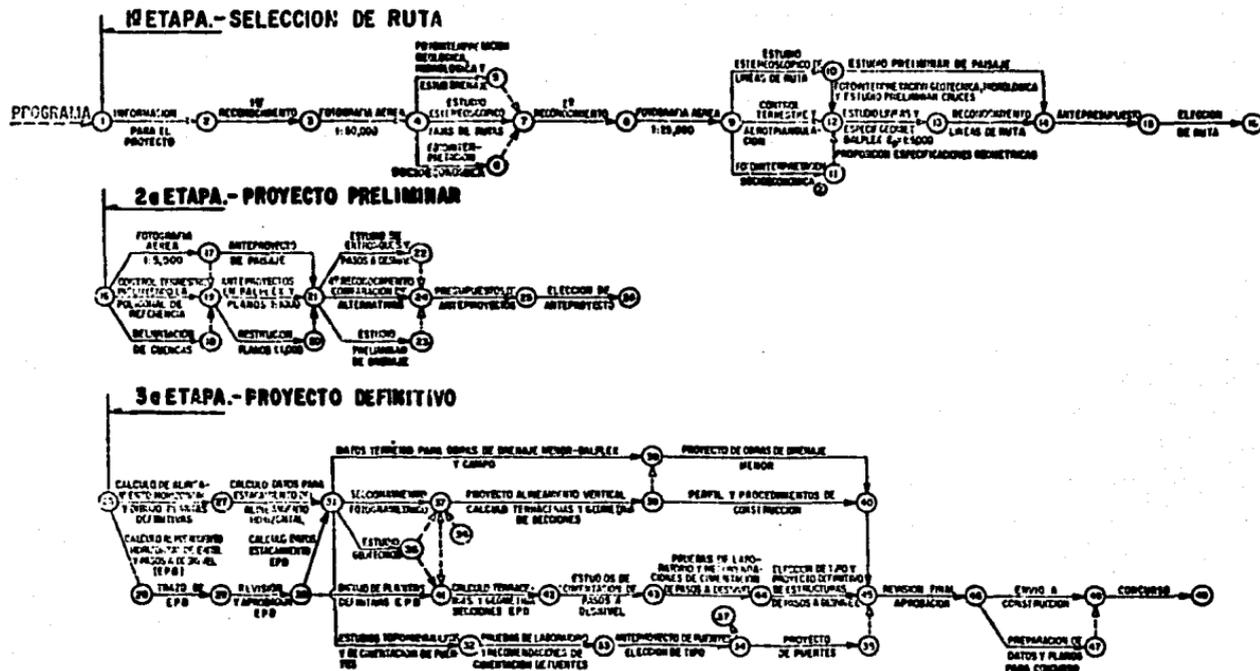


FIG. 1. RED DEL PROYECTO DE CARRETERAS METODO FOTOGRAMETRICO ELECTRONICO

MEXICO

IV.- CONSTRUCCION

En este capítulo describimos el procedimiento de construcción de las terracerías, obras de drenaje, y los problemas que se presentarán durante su ejecución, así también trataremos el proyecto de pavimentación, todo lo anterior referido al tramo: Cd. Altamirano-El Cedral.

IV. 1.- ELECCION Y TIPO DE MAQUINARIA.

Los factores más importantes al hacer la selección de equipo para la construcción de las terracerías o cuerpo del camino son -- costo y facilidad de conservación. Es decir, se escoge el equipo que pueda hacer el trabajo al mínimo costo total.

Otros factores significativos a considerar en la elección del equipo que deben analizarse en cada selección son los siguientes:

- a) Trabajo u operación específica a ejecutar.
- b) Especificación de construcción.
- c) Movilidad requerida por el equipo.
- d) Influencia de las variaciones atmosféricas en el funcionamiento del equipo.
- e) Tiempo programado para hacer el trabajo.
- f) Balanceo del equipo interdependiente.
- g) Versatilidad y adaptabilidad del equipo a otros conjuntos de maquinaria.
- h) Efectividad del operador con el equipo.

Una solución factible al problema de selección de equipo para --- condiciones de campo reales, comprenderá indudablemente varios de estos factores.

Los diversos tipos o unidades de equipo para construcción, pueden agruparse para fines de estudio de dos maneras. Una manera puede ser clasificarlo considerando el trabajo que realiza el equipo en cuestión, o bien, teniendo en cuenta la función que ejecuta en la construcción.

De esta manera, una escropa se clasificaría como una máquina transportadora de material suelto, es decir como equipo que cucharea, carga, acarrea y vacía material suelto. Otra forma consistiría en identificar un equipo por la operación del proyecto de construcción en que interviene. Por ejemplo una escropa generalmente trabaja en una operación de terracerías. Lo mismo sucedería con los tractores empujadores, los cargadores de orugas, etc.

Con respecto al trazo en cuestión, conjuntamente con la empresa se seleccionó el equipo para la construcción de las terracerías de la siguiente forma:

Del Km. 0+000 al Km. 5+000 ya existían las terracerías y el pavimento terminado. Del Km. 5+000 al Km. 15+000 se aprovecharon las terracerías de un camino ya existente. Del Km. 15+000 al Km. 19+000 el tipo de material por atacar es arcilloso, y se utilizó el equipo siguiente, para el afloje con un tractor empujador para carga, acarreo y tiro con un traxcevo y camiones; para tendido, incorporación de agua y homogenización por una motoconformadora y pipas; para la compactación se adquirió un terretrac que es un compactador del tipo de cabra autopropulsado, con el cuál se obtiene un mayor rendimiento que el rodillo pata de cabra jalado por un tractor agrícola.

Para compactar materiales arcillosos, el mejor método es el uso de los rodillos "pata de cabra" pues este equipo proporciona, de sus características peculiares, las concentraciones de presión y efectos de amasado necesarios, para la disgregación de los grumos y compactación adecuada de estos materiales.

El rodillo pata de cabra tiene como característica fundamental compactar al suelo de abajo hacia arriba ejerciendo un efecto de amasado en el mismo, por medio de protuberancias de unos 15 cms. de long fijas al tambor metálico y espaciadas entre sí 15 a 25 cm. en cualquier dirección. Estas protuberancias tienen la forma típica de la pata de una cabra, lo cual da su nombre al equipo. Los rodillos pata de cabra normalmente usados ejercen presiones sobre el suelo comprendidas entre 10 y 40 Kg/cm², si bien cargandolos con agua y arena es posible elevar estas presiones hasta valores de 80 Kg/cm² y aun más; sin embargo estos rodillos tan pesados solo funcionan satisfactoriamente en los casos en que el contenido de agua del suelo sea muy bajo.

Del Km. 19+000 al Km. 35+500 el camino atraviesa una zona formada por granitos alterados, que al excavar se producen un material arenoso, el equipo seleccionado para este tramo se describe a continuación:

Para excavar el material, tractores bulldozer con desgarrador o ripper, para carga, acarreo y tiro por medio de traxcavo y camiones, para el tendido, incorporación de agua y homogenización del material por una motoconformadora y pipas, y para la compactación del material se decidió utilizar un rodillo liso vibratorio

jalado con tractor agrícola y un rodillo neumático del tipo Duo-pactor.

Cabe aclarar que para compactar materiales del tipo friccioneante, los equipos de rodillo liso vibratorio y rodillos neumáticos son los que dan mejor resultado, porque en este tipo de material no existen grumos cuya disgregación requiera grandes concentraciones de presión, como las que proporciona el rodillo pata de cabra, -- por ello resulta mejor la aplicación de presiones uniformes en -- áreas mayores. Las presiones de inflado en las llantas de los ro dillos neumáticos suelen ser entre 5 y 7 Kg/cm².

Del Km. 35+500 al Km. 90+040 (fin del tramo), los tipos de mate rial que se encuentran van desde roca alterada y fisurada hasta roca sana, por lo cual se decidió emplear el siguiente equipos: Tractores bulldozer con desgarrador o ripper y compresores neumáticos con pistolas para barrenación.

IV. 2.- DESMONTE.

El desmonte consiste en desalojar la vegetación existente en el derecho de vía y en las áreas destinadas a bancos, con el objeto de evitar la presencia de materia vegetal en la obra, impedir daños a la misma y permitir buena visibilidad. Comprende la ejecución de alguna, algunas o todas las operaciones siguientes:

- a) Tala, que consiste en cortar los árboles y arbustos.
- b) Roza, que consiste en quitar la maleza, hierba, zacate o residuos de las siembras.
- c) Desentraña, que consiste en sacar los troncos o tocones con raíces o cortando estas.
- d) Limpia y quema, que consiste en retirar y estibar el producto del desmonte al lugar que se indique, así como en quemar lo no utilizable.

Para fines de desmonte se consideren los siguientes tipos de vegetación:

- a) Manglar
- b) Selva o bosque
- c) Monte de regiones áridas o semi-áridas
- d) Monte de regiones desérticas, zonas cultivadas o de pastizales.

En el tramo que nos ocupa, los trabajos de desmonte se ejecutaron con tractor de orugas y a mano, del Km. 15+000 al Km. 35+500 el desmonte se efectuó a todo lo ancho del derecho de vía, en esta zona el tipo de vegetación es de zonas cultivadas y de pastizales del Km. 35+500 en adelante el desmonte se ejecutó, en un ancho -

limitado por las líneas trazadas a un metro fuera de los cerros -- del camino, la vegetación en esta región es del tipo semi-árido.

Se recomienda que el desmonte deberá estar terminado cuando me-- nos un kilómetro adelante del ataque de las terracerías.

Con respecto al derecho de vía, se siguió el criterio tradicional de obtener un ancho de vía liberado de 40 m. a todo lo largo del camino, es decir 20 m. a cada lado del centro de línea. Es perti^unante señalar que cuando los estudios de planeación indiquen que a mediano plazo será necesario realizar la ampliación del camino, se aumente el ancho del derecho de vía por lo menos a 30 m. a ca^uda lado del eje, con el objeto de que al ser realizados los traba^ujos de ampliación no existe el problema de la liberación de fran^ujas de terreno adicionales.

IV.3. TERRACERIAS

Las terracerías son el conjunto de cortes y terraplenes de una obra vial, ejecutados hasta el nivel de subrasante.

La curva masa nos indica los movimientos que se deben ejecutar con las terracerías, como son los cortes, los terraplenes formados con el material producto de los cortes y los terraplenes formados con material de préstamo o de banco, así como los acarreos. Los cortes son excavaciones ejecutadas a cielo abierto en el terreno natural, en ampliación y/o abatimiento de taludes, en rebajes en la corona de cortes y/o terraplenes existentes, en derrumbes, en escalones y en despalmes de cortes o para el desplante de terraplenes, con objeto de preparar y formar la sección de la obra.

Los materiales excavados de acuerdo con la dificultad que presentan para su extracción y carga, se clasifican en tres tipos y son:

- 1.- Material A
- 2.- Material B
- 3.- Material C

Se considera como material A, al suelo blanco o suelto, que puede ser suficientemente excavados con escarpa remolcada con tractor de orugas de 90 a 110 H.P. de potencia en la barra sin auxilio de arados y tractores empujadores, aunque ambos se utilicen para obtener mayores rendimientos. Los materiales clasificados como A son los suelos poco o nada cementados con partículas mangres de 3" como son los suelos agrícolas, los limos y las arenas.

Material B es el que por la dificultad de extracción y carga sólo puede ser excavado eficientemente por tractor de orugas con cuchilla de inclinación variable de 140 a 160 H.P. en la barra sin el uso de explosivos aunque por conveniencia se utilicen para aumentar el rendimiento. Además se considera como material B a las piedras sueltas menores de 75 cm. y mayores de 7.5 cm. Los materiales más comunmente clasificables como material B son las rocas muy alteradas, conglomerados medianamente cementados, areniscos blandos y tepalcates.

Material C, es el que por su dificultad de extracción sólo puede ser excavado mediante el empleo de explosivos, además también se consideran como material C las piedras sueltas con una dimensión mayor de 75 cm. Entre los materiales clasificables como material C tenemos las rocas basálticas, las areniscas y los conglomerados fuertemente cementados, calizas, riolitas, granitos y andesitas sanas.

A los materiales que presentan mayor dificultad de extracción que los descritos como material A, pero menor que los descritos como material B, y a los que presenten mayor dificultad de extracción que los descritos como material B, pero menor que los del tipo C, se les fijará una clasificación intermedia, de acuerdo con la dificultad que hayan presentado para su extracción y carga, asignando porcentajes de material A y B, B y C respectivamente, en proporción con las características medias del material de que se trate.

Cuando no sea posible hacer la clasificación separada de cada uno

de los materiales encontrados, se fijará a todo el volumen una clasificación representativa de la dificultad de extracción y carga - considerando siempre los tres materiales aunque para alguno de ellos corresponda 00.

Los terraplenes se forman con material producto de corte o de préstamo, estos materiales desde el punto de vista constructivo se clasifican en material compactable y material no compactable, la diferencia estriba entre uno y otro material en su granulometría, ya que a partir del por ciento de un cierto tamaño se especifica que dicho material no es compactable.

Debe prestarse especial atención para no utilizar material de tipo expansivo, o altamente compresible en el cuerpo del terraplen (Ver Anexo 8).

El procedimiento de construcción para ambos tipos de material es - el siguiente:

El material compactable, deberá ser compactado en capas sensiblemente horizontales, siempre que la topografía del terreno lo permita, el espesor de las capas sueltas deberá ser tal que se obtenga el grado de compactación fijado en el proyecto.

En el caso del material no compactable, el espesor de las capas -- será el mínimo que permita el tamaño mayor del material, deberá -- ser bandeado el material a todo lo ancho y largo de la capa con un tractor de orugas equivalente al CAT. D8, entendiéndose como bandedo a transitar el tractor tres veces por cada uno de los puntos - que forman la superficie, esto tiene como objetivo que el material logre un mejor acomodo y no se presenten asentamientos posteriores

en el terraplen.

Es pertinente señalar que la compactación de los suelos es el proceso mecánico mediante el cual se incrementa el peso volumétrico seco con la consiguiente reducción de los vacíos, mediante el cual se busca mejorar las características de resistencia, compresibilidad y esfuerzo-deformación de los mismos, la compactación de los suelos resulta ligado al de control de calidad de los trabajos de campo, en efecto, después de realizar un proceso de compactación siempre es necesario verificar si con el se lograron los fines propuestos. Ciertas experiencias realizadas en los primeros años de aplicación de las técnicas modernas de compactación, indicaron que existe una correlación que en aquella época se juzgó muy confiable, entre las propiedades de resistencia, compresibilidad, esfuerzo-deformación y el peso volumétrico seco a que llega el material compacto, por lo cual se hizo costumbre controlar la compactación por medio de la prueba de peso volumétrico que es fácil y sencilla de realizar. Sin embargo la correlación entre las propiedades fundamentales y el peso volumétrico seco no es tan segura y simple como para permitir la aplicación ciega.

El uso de esta sencilla correlación proporciona magníficos resultados, pero en algunos casos la correlación se vuelve muy errática o incluso llega a invertirse.

Por otra parte, dado que en la naturaleza los suelos se presentan con una variedad y complejidad prácticamente infinita, resulta necesario una clasificación de suelos que sirva para normar un criterio respecto al suelo en cuestión. Un sistema de clasificación

de suelos que los agrupe de acuerdo a sus propiedades es la mejor ayuda para el ingeniero.

El sistema más efectivo de clasificación de suelos hasta el momento, es el propuesto por A. Casagrande y conocido con el nombre de Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. El sistema clasifica a los suelos finos principalmente con base en sus características de plasticidad cuya correlación con las propiedades mecánicas básicas es consistente y confiable.

Los suelos gruesos, mayores que la malla No. 200 (0.074 mm. de abertura), se clasifican sobre todo con criterio granulométrico, - sin embargo son cuidadosamente tomadas en cuenta también las características de plasticidad de su fracción fina. El Sistema Unificado nació como medio para clasificar suelos finos únicamente - (menores que la malla 200), y después fue extendido hasta incluir gravas y arenas.

En el anexo 6 se presenta el cuadro de clasificación de fragmentos de roca y suelos para terracerías utilizado en la SANDF, el anexo 7 es la carta de plasticidad que se utiliza como complemento en la clasificación de suelos y en el cuadro anexo 8 se indican las características de los materiales y recomendaciones para su uso, es importante señalar que esta clasificación de suelos es una guía para la identificación y utilización de los materiales, - pero será el Ingeniero en última instancia quién decidirá en base a su experiencia, la utilización de los materiales con que se enfrenta. La construcción de las terracerías en el tramo que nos ocupa, se ejecutó de la siguiente manera:

Para preparar el terreno natural antes de la construcción se eliminó un espesor de 10 a 20 cm. a todo lo ancho del terraplén, este despalle tiene como objetivo entre otros evitar movimientos en los terraplenes, pues la cobertura vegetal superficial generalmente es un material esponjoso y comprensible, que pueden afectar a los terraplenes de baja altura.

Los terraplenes que se formaron con material del tipo arcilloso se les compactó con rodillo pata de cabra autopulsado en capas de espesor suelto entre 28 y 33 cm el grado de compactación fué de 90% de su peso volumétrico seco máximo, controlado con la prueba Proctor Standar.

A los materiales de tipo friccionante se les compactó con rodillo liso vibratorio y rodillo neumático del tipo duopactor, en capas de espesor suelto de 26 a 33 cm el grado de compactación especificado fué de 90% de su P.V.S.M., controlado con la prueba Porter - SOP. Los terraplenes que se formaron con material no compactable se bandeó el material en capas que tenían como espesor el tamaño máximo del material.

Al ejecutar las excavaciones en los cortes y cuando se emplearon explosivos, se procuró no aflojar el material en los taludes más allá de la superficie teórica fijada en el proyecto, cuando no se pudo lograr lo anterior, el material que se derrumbo o se encontró inestable en los taludes fué removido.

En las páginas siguientes presentamos una serie de fotografías -- donde se puede apreciar el equipo, materiales y proceso seguido -- en la construcción de las terracerías.



Aspecto Barreración en
material tipo C.
Km. 39 + 100

Tractor en excavación
de corte Km. 35 + 700

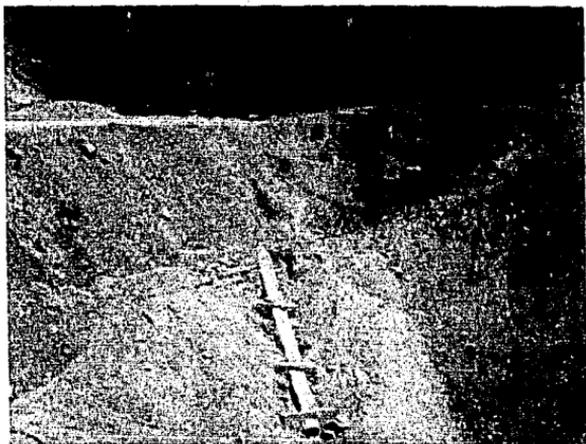




Barrenación en material
tipo C. Km 55 + 000



Tractor aflojando el
material con el ripper
en Km. 57 + 100



Excavación de escalón de liga observe obra de drenaje con atraques en Km. 54 + 100



Tractor retirando el material producto de corte Km. 39 + 100



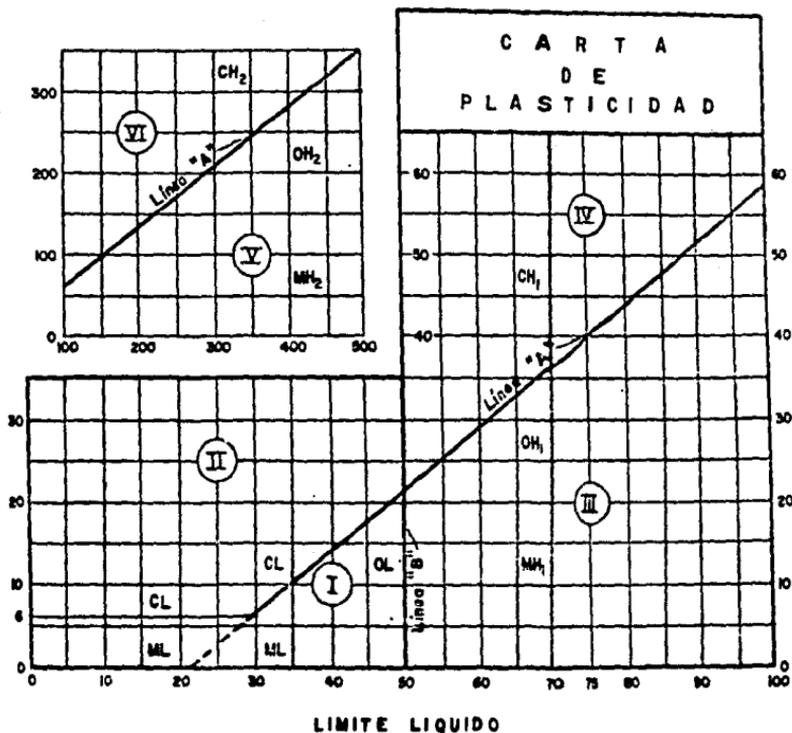
Terracerías afinadas Km. 26 + 000



Aspecto de terracerías
terminadas Km. 55 + 000

Tipos	Sub-Tipos	IDENTIFICACION	Grupo o Grupo	Notas		
P R I M E R O S TAMAJOS MAYORES DE 7.6 cm (3") y MENORES DE 7.6 cm (3")	GRANDES MAYORES DE 7.6 cm MENORES DE 3 cm	Fragmentos grandes, con menos del 10% de otros fragmentos o de suelo.	Fg	1.—Cuando los fragmentos de roca contengan más del 10% de suelo, el material se clasificará con símbolo doble, utilizando los símbolos del suelo correspondiente a la ley del fragmento respectivo. Si el volumen de suelo es mayor del 50%, el símbolo de éste se colocará al del fragmento; si el volumen de suelo está comprendido entre 10 y 50%, su símbolo se colocará en seguida del símbolo de los fragmentos de roca.		
		Fragmentos grandes mezclados con fragmentos medianos, predominando los grandes, con menos del 10% de fragmentos chicos o de suelo.	Fgm			
		Fragmentos grandes mezclados con fragmentos chicos, predominando los grandes, con menos del 10% de fragmentos medianos o de suelo.	Fgp			
		Fragmentos grandes mezclados con fragmentos medianos y chicos, predominando los grandes sobre los medianos y éstos sobre los chicos, con menos del 10% de suelo.	Fgms			
	MEDIANOS MAYORES DE 7.6 cm MENORES DE 20 cm	Fragmentos grandes mezclados con fragmentos chicos, predominando los grandes, con menos del 10% de fragmentos chicos o de suelo.	Fgm	Ejemplo 1 Ejemplo 2 Un material contiene: Un suelo contiene: 60% de GC 40% de Fm 20% de FG 30% de Fm 15% de Fg 20% de Fm 5% de Fe 5% de Fg Su símbolo sería: Su símbolo sería: GC-Fgm FmFGM Los porcentajes en volumen de los diferentes fragmentos de roca que contenga un material, se hará en forma estimativa.		
		Fragmentos medianos mezclados con fragmentos chicos, predominando los medianos sobre los chicos, con menos del 10% de fragmentos grandes o de suelo.	Fmg			
		Fragmentos medianos mezclados con fragmentos grandes, predominando los medianos sobre los chicos y éstos sobre los grandes, con menos del 10% de suelo.	Fmg			
		Fragmentos medianos mezclados con fragmentos chicos y grandes, predominando los medianos sobre los chicos y éstos sobre los grandes, con menos del 10% de suelo.	Fmgm			
	CHICOS MAYORES DE 7.6 cm (3") MENORES DE 20 cm	Fragmentos chicos, con menos del 10% de otros fragmentos o de suelo.	Fc	2.—La clasificación de suelos que aparecen en este cuadro corresponde, en general, al Sistema Unificado (S.U.C.S.) y puede considerarse como la versión S.O.P. de dicho sistema. 3.—Todos los tamaños de las mallas que aparecen en este cuadro son los de la U.S. Standard (apertura cuadrada).		
		Fragmentos chicos mezclados con fragmentos medianos, predominando los chicos, con menos del 10% de fragmentos grandes o de suelo.	Fcm			
		Fragmentos chicos mezclados con fragmentos grandes, predominando los chicos, con menos del 10% de fragmentos medianos o de suelo.	Fcg			
		Fragmentos chicos mezclados con fragmentos medianos y grandes, predominando los chicos sobre los medianos y éstos sobre los grandes, con menos del 10% de suelo.	Fcmg			
S E C U N D A R I O S DE PARTICULAS FINAS Máx. de la zona III de la carta de plasticidad. Máx. de la zona IV de la carta de plasticidad. Máx. de la zona V de la carta de plasticidad.	GRAVAS LIESES (Poco o nada de partículas finas)	Gravas bien graduadas, mezcla de grava y arena, poco o nada de fines. Deben tener un coeficiente de uniformidad (Cu) mayor de 4 y un coeficiente de curvatura (Cc) entre 1 y 3. (Ver nota Núm. 6.)	Menos de 5% en peso pasa la malla Núm. 200.	4.—Como los símbolos de los suelos producen en general de nombres en el idioma inglés, a continuación se dan las equivalencias de los ítems que aparecen en los mismos: G — Grava A — Arena C — Arcilla W — Bien graduado F — Mal graduado L — Baja compresibilidad H — Alta compresibilidad O — Suelo orgánico P ₁ — Turba		
		Gravas mal graduadas, mezcla de grava y arena, poco o nada de fines. No obstante los requisitos de graduación para GW.	Menos de 5% en peso pasa la malla Núm. 200.		GW	
		Gravas limosas, mezcla de grava, arena y limo, mal graduadas.	Más de 12% en peso pasa la malla Núm. 200 y las pruebas de límites, efectuadas en la fracción que pasa la malla Núm. 40, la clasifican como un suelo ML, abajo de la línea "A" de la carta de plasticidad, o Ip < 6. (Véase abajo, grupo ML.)		GM	
		Gravas arcillosas, mezcla de grava, arena y arcilla, mal graduadas.	Más de 12% en peso pasa la malla Núm. 200 y las pruebas de límites, efectuadas en la fracción que pasa la malla Núm. 40, la clasifican como un suelo CL, arriba de la línea "A" de la carta de plasticidad, o Ip > 6. (Véase abajo, grupo CL.)		GC	
	ARILLAS LIESES (Poco o nada de partículas finas)	Arenas bien graduadas, arenas con grava, poco o nada de fines. Deben tener un coeficiente de uniformidad (Cu) mayor de 4 y un coeficiente de curvatura (Cc) entre 1 y 3. (Ver nota Núm. 6.)	Menos de 5% en peso pasa la malla Núm. 200.	SW		
		Arenas mal graduadas, arenas con grava, poco o nada de fines. No obstante los requisitos de graduación para SW.	Menos de 5% en peso pasa la malla Núm. 200.		SP	
	ARILLAS CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas)	Arenas limosas, mezcla de arena y limo mal graduadas.	Más de 12% en peso pasa la malla Núm. 200 y las pruebas de límites, efectuadas en la fracción que pasa la malla Núm. 40, la clasifican como un suelo ML, abajo de la línea "A" de la carta de plasticidad, o Ip < 6. (Véase abajo, grupo ML.)	SM		
		Arenas arcillosas, mezcla de arena y arcilla mal graduadas.	Más de 12% en peso pasa la malla Núm. 200 y las pruebas de límites, efectuadas en la fracción que pasa la malla Núm. 40, la clasifican como un suelo CL, arriba de la línea "A" de la carta de plasticidad, o Ip > 6. (Véase abajo, grupo CL.)		SC	
	T E R C E R O S DE PARTICULAS FINAS Máx. de la zona IV de la carta de plasticidad. Máx. de la zona V de la carta de plasticidad.	LIMOS Y ARCILLAS LIESES Y ORGANICOS Menor de 50% Entre 50 y 100% Mayor de 100%	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas ligeramente plásticas. (Dentro de la zona I de la carta de plasticidad.)	ML	7.—La clasificación de los suelos de partículas finas se determina, principalmente, haciendo pruebas de límite de plasticidad, a la fracción que pasa la malla número 60 para determinar la zona de plasticidad a que se refiere el ítem 90-02.2, que aparece por separado.	
			Arcillas inorgánicas de baja o mediana plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas polvos. (Dentro de la zona II de la carta de plasticidad.)			CL
			Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad. (Dentro de la zona I de la carta de plasticidad.)			OL
			Limos inorgánicos de baja o mediana plasticidad, arenas finas o limos medanos o diatomáceos, limos silíceos. (Dentro de la zona III de la carta de plasticidad.)			MH
Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas frías. (Dentro de la zona IV de la carta de plasticidad.)		CH	8.—Se ha observado que los suelos OL, OH ₁ y OH ₂ , aun dentro de las mismas zonas ML, MH y HL, presentan en la serie de ensayo, casi siempre quedan más cerca de la línea "A" que los otros límites, en virtud de presentar mayores índices plásticos.			
Limos y arcillas orgánicos de mediana o alta plasticidad. (Dentro de la zona III de la carta de plasticidad.)		OH ₁				
Limos inorgánicos de alta plasticidad. (Dentro de la zona V de la carta de plasticidad.)		MH ₂				
Arcillas inorgánicas de muy alta plasticidad. (Dentro de la zona IV de la carta de plasticidad.)		CH ₂				
Limos y arcillas orgánicos de alta plasticidad. (Dentro de la zona V de la carta de plasticidad.)		OH ₂				
ALTAMENTE ORGANICOS		Fácilmente identificables por su color, olor, reacción esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa. Turba y otros suelos altamente orgánicos.	PT			

INDICE PLASTICO



Carta de plasticidad tal como se usa en la Secretaría de Obras Públicas de México.

ANEXO 7

TIPO	SUB-TIPOS	SIMBOLO DE GRUPO	CARACTERISTICAS PARA SU ACOMODO	PRUEBAS ESPECIALES PARA LA DETERMINACION DE LOS PUNOS VOLUNTARIOS SECCO MAXIMOS	RECOMENDACIONES PARA SU USO	
					CUERPO DEL TERRAJELEN	CAPA DE SUBSABANTE EN TABLA PLANAS Y CORTES
FRAGMENTOS DE ROCA	GRANDES MAYORES DE 75 cm y MENORES DE 2 m	Fg Fgm Fgc Fgmc Fgcm	Susceptibles de acomodarse con tractor y/o con el equipo de construcción.		Pueden utilizarse en todo el cuerpo del terraje, acomodandolos en su posición más estable, entendiéndose que el simple volteo no constituye un acomodo adecuado.	NO DEBEN USARSE
	MEDIANOS MAYORES DE 20 cm y MENORES DE 75 cm	Fm Fmc Fmg Fmgc Fmfc	Susceptibles de acomodarse por bandejo con tractor y/o con el equipo de construcción.		Pueden utilizarse en todo el cuerpo del terraje, tendiéndolos en capas del espesor mínimo que permita el tamaño de los fragmentos mayores.	NO DEBEN USARSE
	CHICOS MAYORES DE 7.6 cm y MENORES DE 20 cm	Fc Fcm Fec Fecg Fecm	Susceptibles de acomodarse por bandejo con tractor y/o con el equipo de construcción.		Pueden utilizarse en todo el cuerpo del terraje, tendiéndolos en capas del espesor mínimo que permita el tamaño de los fragmentos mayores.	NO DEBEN USARSE
S U E L O S	GRUESOS	GRAVAS	GW	Susceptibles de compactarse con equipo especial	90% de Compactación	95% de Compactación
			GP			
		GM				
		GC				
	ARENAS	SW				
		SM				
FINOS	LIMITE LIQUIDO MENOR DE 50	ML				
		CL				
		OL				
	LIMITE LIQUIDO ENTRE 50 Y 100	MH ₁				
CH ₁						
OH ₁						
LIMITE LIQUIDO MAYOR DE 100	MH ₂					
	CH ₂					
	OH ₂					
ALTAMENTE ORGANICOS	TURBA	P:			NO DEBEN USARSE	

AAASHO ESTI UNTAR SIEMPRE QUE EL PROYECTO NO INDIQUE OTRA PRUEBA DINAMICA
En casos especiales el proyecto deberá indicar el procedimiento a seguir en el control de la compactación.

El proyecto deberá indicar además a qué tipo de suelo es aplicable el método de compactación por vibración, ya sea en el cuerpo del terraje o en la capa de subsabante. En caso de utilizar este método de compactación en el cuerpo del terraje, el proyecto deberá indicar el tipo de vibrador que se utilizará y el número de vibraciones por metro cuadrado. En caso de utilizar este método de compactación en la capa de subsabante, el proyecto deberá indicar el tipo de vibrador que se utilizará y el número de vibraciones por metro cuadrado.

Se deberá usar un material con valor mínimo de espesor mínimo menor de 5", o equivalente mayor de 8".

TIPO	SUB-TIPOS	SIMBOLO DE GRUPO	CARACTERISTICAS PARA SU ACOMODO	PRUEBAS ESPECIALES PARA LA DETERMINACION DE LOS LÍMITES VOLUMÉTRICOS SECOS MÁXIMOS	RECOMENDACIONES PARA SU USO				
					CUERPO DEL TERRAJELEN	CAPA DE SUB-BARANTE EN TERRAJELEN Y CORTES			
FRAGMENTOS DE ROCA	GRANDES MAYORES DE 75 cm y MENORES DE 2 m	Fg	Susceptibles de acomodarse con tractor y/o con el equipo de construcción.		Pueden utilizarse en todo el cuerpo del terrajeLEN, acomodándolos en su posición más estable, entendiéndose que el simple volteo no constituye un acomodo adecuado.	NO DEBEN USARSE			
		Fgm							
		Fgc							
	Fgmc	Pueden utilizarse en todo el cuerpo del terrajeLEN, tendiéndolos en capas del espesor mínimo que permita el tamaño de los fragmentos mayores.			NO DEBEN USARSE				
	Fgcm								
	Fm								
	MEDIANOS MAYORES DE 20 cm y MENORES DE 75 cm	Fmc	Susceptibles de acomodarse por bandeas con tractor y/o con el equipo de construcción.		Pueden utilizarse en todo el cuerpo del terrajeLEN, tendiéndolos en capas del espesor mínimo que permita el tamaño de los fragmentos mayores.	NO DEBEN USARSE			
		Fmg							
		Fmrg							
CHICOS MAYORES DE 7.6 cm y MENORES DE 20 cm	Fc	Susceptibles de acomodarse por bandeas con tractor y/o con el equipo de construcción.		Pueden utilizarse en todo el cuerpo del terrajeLEN, tendiéndolos en capas del espesor mínimo que permita el tamaño de los fragmentos mayores.	NO DEBEN USARSE				
	Fcm								
	Fcg								
S U B L O S	GRUESOS		GRAVAS	GW	<p>ASÍSO ESTIMAR SIEMPRE QUE EL PROYECTO NO INDIQUE OTRO PRUEBA DINÁMICA</p> <p>En casos especiales el proyecto deberá indicar el procedimiento a seguir en el control de la compactación.</p>	<p>El proyecto deberá especificar capas en que no sea posible construir por capas, todo o parte del terrajeLEN.</p> <p>Los tipos de fragmentos de roca y suelos, en que principalmente están, podrán, en algunas ocasiones, ser susceptibles de compactarse con el equipo de construcción. Esto solo podrá hacerse en el tiempo del terrajeLEN y el proyecto deberá especificar en estos casos.</p>	<p>95% de Compactación</p>		
				GP					
		GM							
		GC							
	FINOS	ARENAS	SW	Susceptibles de compactarse con equipo especial				90% de Compactación	95% de Compactación en carreteras. En aeropistas no deben usarse.
			SP						
			SM						
			SC						
			ML						
ALTAMENTE ORGÁNICOS	TURBA	PH		NO DEBEN USARSE	NO DEBEN USARSE				
		CH ₁							
		OH ₁							
		MH ₁							
		CH ₂							
		OH ₂							

No deberán usarse materiales con valor relativo de absorción menor de 5% o expansión mayor de 0.5%.

IV.- 4.- ESTABILIDAD DE TALUDES.

Se conoce con el nombre genérico de talud cualesquiera superficie inclinada respecto a la horizontal que haya de adoptar permanentemente la masa de tierra.

No existe duda de que el talud es el aspecto más complejo de las vías terrestres, ligado al estudio de su estabilidad aparecen los problemas más complicados de la Mecánica de Suelos y de la Mecánica de Rocas aplicadas a la construcción de las terracerías, sin perder de vista el papel básico que la Geología Aplicada desempeña en la formulación de cualquier criterio aceptable. El estudio de la estabilidad de taludes tiene como objetivo el determinar en un instante dado, cual será la inclinación apropiada en un corte o en un terraplen, casi siempre la inclinación más apropiada será la más escarpada que se sostenga el tiempo necesario sin caerse. Aquí radica la esencia del problema y la razón de su estudio. Se puede comprender que a diferentes inclinaciones del talud corresponden diferentes volúmenes de material por mover y, por lo tanto diferentes costos.

De esta manera los taludes son estructuras que en general se deben proyectar y construir con una motivación esencialmente económica.

En este tema trataremos en forma somera los tipos de fallas más comunes, algunos métodos de cálculo de estabilidad de taludes y también describiremos algunos métodos para mejorar la estabilidad de taludes.

fallas ligadas a la estabilidad de las laderas naturales.

a) Deslizamiento superficial asociado a falta de resistencia - por baja presión de confinamiento (Creep).

Se refiere esta falla al proceso más o menos continuo y por lo general lento del deslizamiento ladera abajo que se presenta en la zona superficial de algunas laderas naturales. Se utiliza la palabra inglesa "creep" para referirse a esta falla.

El creep suele afectar a grandes áreas y el movimiento superficial se produce sin una transición brusca entre la parte superficial móvil y las masas inmóviles más profundas. Este tipo de falla suele deberse a una combinación de las acciones de las fuerzas de gravedad y de otros varios agentes. La velocidad de movimiento ladera abajo de un creep típico puede ser muy baja y rara vez excede de algunos centímetros por año.

b) Fallas asociadas a procesos de deformación acumulativa, generalmente relacionadas con perfiles geológicos desfavorables. Este tipo de fallas se producen en las laderas naturales como consecuencia de procesos de deformación acumulativa, por la tendencia de grandes masas a moverse ladera abajo. Es típico que se presenten este tipo de fallas en laderas naturales de depósito de talud o en otras formaciones análogas en cuanto a génesis geológica, formadas con materiales bastante heterogéneos, no consolidados y bajo la acción casi exclusiva de las fuerzas gravitacionales.

La mayor de las veces aparecen en el contacto de estos depósitos con otros subyacentes, mas firmes. En talus condiciones es

lógico suponer que la ladera se formó con una inclinación que no puede exceder mucho la del equilibrio crítico y por ello ha de pensarse que en el interior de la masa existen fuertes tendencias al deslizamiento, que se traducirán en deformaciones importantes de los suelos afectados.

c) Flujos.

Se refiere este tipo de falla a movimientos más o menos rápidos de una parte de la ladera natural, de tal forma que el movimiento en sí y la distribución aparente de velocidades y desplazamientos recuerde el comportamiento de un líquido viscoso. La superficie de deslizamiento o no es distinguible o se desarrolla durante un lapso relativamente breve.

El material susceptible de fluir puede ser cualquier formación no consolidada, y así el fenómeno puede presentarse en fragmentos de roca, depósitos de talud, suelos granulares finos o arcillas francas.

Los flujos se dividen en dos grandes grupos, según resulte preponderante o no en su generación el agua contenida por los materiales envueltos en el fenómeno. De esta forma, se distinguirá el flujo en materiales relativamente secos y el flujo en materiales húmedos, o el caso extremo de flujo en lodos.

Fallos relacionados a la estabilidad de taludes artificiales.

e) Falla rotacional

Este tipo de falla se debe a movimientos bruscos o prácticamente instantáneos que ocurren y que afectan a masas profundas de los mismos, con deslizamiento a lo largo de una superficie cur

va que se desarrolle en el interior del cuerpo del talud.

Las fallas por rotación pueden presentarse en la superficie de falla por el pie del talud, sin interesar el terreno de cimentación o pasando adelante del pie, afectando al terreno en que el talud se apoya (falla de base). Y también pueden presentarse las llamadas fallas locales, que ocurren en el cuerpo del talud, pero interesando zonas relativamente superficiales. Se considera que la superficie de falla se forma cuando en la zona de su futuro desarrollo actúan esfuerzos cortantes que sobrepasan la resistencia del material.

b) Falla traslacional

Se refiere este tipo de falla a movimientos traslacionales importantes del cuerpo del talud sobre superficies de falla básicamente planes, asociadas a la presencia de estratos poco resistentes localizados a poca profundidad bajo el talud.

Los estratos débiles que forman estas fallas son por lo común de arcillas blandas o de arenas finas o limos no plásticos -- sueltos.

c) Falla por licuación

Los fenómenos de licuación consisten en la pérdida rápida de resistencia al esfuerzo cortante, temporal ó definitiva. Dicha pérdida conduce al colapso a cualquier estructura vial edificadas sobre o hecha de un material que entre en licuación.

La causa a que puede atribuirse esa pérdida de resistencia, es al desarrollo rápido de elevadas presiones en el agua intersticial, quizá como consecuencia de un sismo o una explosión. Este cause se asocia a un colapso estructural rápido del suelo, cuyos vacíos, saturados de agua, tienden a reducirse, desarro-

-llándose presiones en aquella.

La licuación casi instantanea ha ocurrido en arcillas saturadas muy sensibles y en arenas finas sueltas, sobre todo en condición saturada.

d) Derrumbes y caídos

Estas fallas se presentan tanto en las laderas naturales como en los cortes practicados en aquéllas.

Por lo general consisten en desprendimientos locales de no muy gran volumen, aunque naturalmente existen desprendimientos de grandes masas fragmentadas que se deben clasificar como derrumbes. En este tipo de falla no se puede hablar de una superficie de deslizamiento, y el desprendimiento suele estar predeterminado por las discontinuidades y fisuras preexistentes.

e) Fallas por erosión

Estas fallas son de tipo superficial provocadas por agentes erosivos como son el viento y el agua (lluvia o escurrimiento superficial). El fenómeno es tanto más notorio cuanto más empinadas sean las laderas de los taludes. La falla se manifiesta en irregularidades y canalizaciones en el plano del talud, originalmente regular, si no se detienen con los métodos correctivos que mas adelante se describen, estos defectos podrán progresar hasta la eventual destrucción del talud, en el caso de un terreplén, o hasta atacar profundamente un corte, con consecuencias a veces muy graves.

MÉTODOS DE CÁLCULO DE ESTABILIDAD DE TALUDES

1.- Taludes en arenas limpias

La estabilidad de un talud homogéneo con su suelo de cimentación, construido con un suelo "puramente friccionante", tal como una arena limpia, es una consecuencia de la fricción que se desarrolla entre las partículas constituyentes, por lo cual, para garantizar estabilidad bastará que el ángulo del talud sea menor que el ángulo de fricción interna de la arena, que en un material seco suelto y limpio se acercará mucho al ángulo de reposo. Por lo tanto, la condición límite de estabilidad es, sencillamente

$$\alpha = \beta$$

donde

α = ángulo del talud

β = ángulo de fricción interna del material

Sin embargo, si el ángulo α es muy próximo a β los granos de arena cercanos a la frontera del talud, no sujetos a ningún confinamiento importante, quedarán en una condición próxima a la de deslizamiento incipiente, que no es deseable por ser el talud muy fácilmente erosionable por el viento o la lluvia.

Por esto, se recomienda, que la inclinación del talud sea desde un principio, un poco menor que el ángulo β ; es probable que basten uno o dos grados.

2.- Método sueco

Se conocen bajo este título todos los procedimientos de análisis de estabilidad respecto a la falla por rotación, en la que se considera que la superficie de falla es un cilindro, cuya

traza con el plano en el que se calcula es un arco de circunferencia. De acuerdo con el tipo de suelo con que se trate, -- existe un procedimiento basado en este método.

a) Método sueco aplicado a taludes constituidos por suelos "puramente cohesivos" ($\phi = 0$; $C \neq 0$)

Se considera el caso de un talud homogéneo con su suelo de cimentación y en el cual la resistencia al esfuerzo cortante se expresa con la ley:

$$S = C$$

donde C es el parámetro de resistencia comúnmente llamado cohesión.

En este caso el método puede aplicarse según un procedimiento sencillo debido a A. Casagrande, que se puede utilizar tanto para estudiar la falla de base como la de pie del talud. El procedimiento se describe con base en la Fig. 2.

Considérese el arco de circunferencia de radio R y de centro en O como la traza de una superficie hipotética de falla, en la que se movilizaría la zona rayada de la figura.

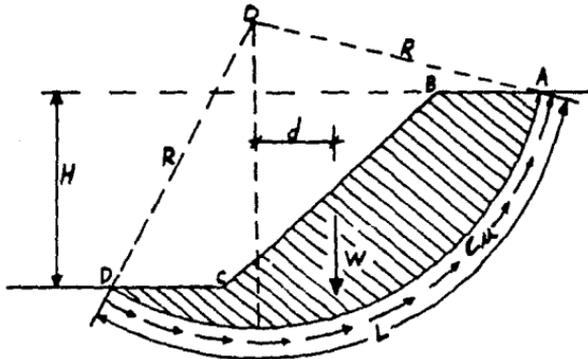


Fig. 2

Las fuerzas actuantes, es decir, las que tienden a producir el deslizamiento, serán el peso W del área ABCDA, más cualquier sobrecarga que pudiera actuar en la corona del talud. El peso W se calcula considerando un espesor de la sección unitario en la dirección normal al plano del papel. El momento de las fuerzas motrices en torno a un eje normal a través de O será:

$$M_n = \sum Wd$$

Las fuerzas que se oponen al deslizamiento de la masa de tierra son los efectos de la cohesión a lo largo de toda la superficie de deslizamiento supuesta y será:

$$M_r = C_u LR$$

En el instante de la falla incipiente

$$M_n = M_r$$

y el factor de Seguridad F_s podrá definirse como:

$$F_n = \frac{M_r}{M_n} = \frac{C_u LR}{\sum Wd}$$

La experiencia ha demostrado que un valor para el factor de seguridad aceptable es el de 1.5

Por supuesto, no se garantiza que el círculo de falla analizado sea el más crítico, con lo cual, habrán de realizarse tanteos, escogiendo diferentes círculos de falla, calculando su factor de seguridad asociado, y ver que el mínimo encontrado no sea menor de 1.5, antes de dar el talud por seguro.

b) Método sueco aplicado a suelos con "cohesión" y "fricción" ($C \neq 0$; $\phi \neq 0$).

Se tratan ahora los suelos que tienen una ley de resistencia al esfuerzo cortante del tipo

$$s = c + \sigma \operatorname{tg} \phi$$

con parámetro de "cohesión" y de "fricción".

De todos los procedimientos de aplicación del Método Sueco a este tipo de suelos, el más popular y rápido es el de las "dovelas" debido a Fellenius, que se describe con base en la Fig. 3.

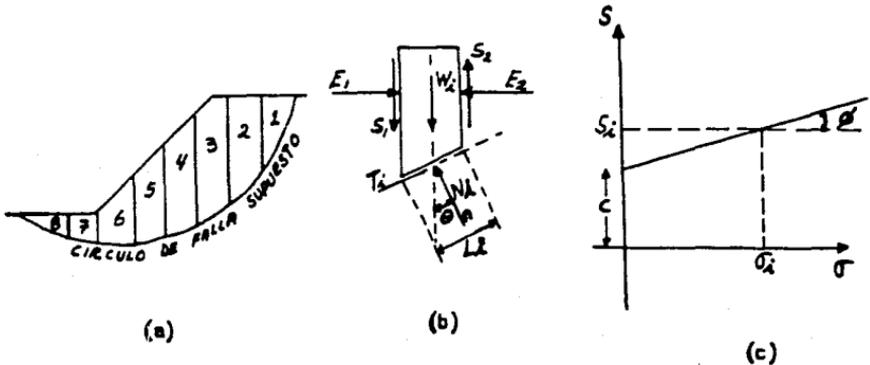


Fig. 3

En primer lugar, se propone un círculo de falla a elección y la masa de tierra deslizante se divide en dovelas, del modo mostrado en la figura parte (a).

El equilibrio de cada dovela puede analizarse como se muestra en la parte (b) de la misma figura, W_i es el peso de la dovela de espesor unitario. Las fuerzas N_i y T_i son las reacciones normal y tangencial del suelo a lo largo de la superficie de deslizamiento L_i .

Fellenius hace la hipótesis de que el efecto de las fuerzas E_1 y E_2 se contrarrestan; es decir, se considera que esas dos

fuerzas son iguales, colineales y contrarias. También se acepta que el momento producido por las fuerzas T_1 y T_2 que se consideran de igual magnitud, es despreciable. Estas hipótesis equivalen a considerar que la dovela actúa en forma independiente de las demás y que N_i y T_i equilibran a W_i .

El cosiente N_i/L_i se considera una buena aproximación al valor de $\bar{\sigma}_i$, presión normal actuante en el arco ΔL_i , que se considera constante en esa longitud. Con este valor de $\bar{\sigma}_i$ puede entrarse a la ley de resistencia al esfuerzo cortante que se haya obtenido (ver parte (c) de la figura 3) y determinar ahí el valor de S_i .

Puede calcularse el momento motor debido al peso de las dovelas como

$$M_m = R \sum T_i /$$

Observese que la componente normal del peso de la dovela, N_i , pase por O, por ser la superficie de falla un arco de circunferencia, y por lo tanto no produce momento respecto a aquel punto.

El momento resistente se debe a la resistencia al esfuerzo cortante, S_i , que se desarrolla en la superficie de deslizamiento de cada dovela y vale:

$$M_r = R \sum S_i \Delta L_i$$

Calculados M_m y M_r se podrá definir un factor de seguridad:

$$F_s = \frac{M_r}{M_m} = \frac{\sum S_i \Delta L_i}{\sum T_i /}$$

El método de cálculo desemboca otravez en un procedimiento de tanteos, en el cual deberán fijarse distintos círculos de fa-

lla, calculando el F_s ligado a cada uno, es necesario que el F_s mínimo no sea menor de 1.5 en general, para garantizar en la práctica, la estabilidad del talud.

ALGUNOS METODOS CORRECTIVOS PARA FALLAS EN TALUDES.

a) Métodos de elusión

El empleo de estos métodos son los más seguros para eliminar los problemas derivados de deslizamientos y fallas, pero las soluciones obtenidas no siempre se pueden aplicar.

Uno de los problemas que mejor responden a la aplicación de estos métodos es el cruzamiento de formaciones inclinadas de suelo o roca, con echado desfavorable a la vía, en estos casos, cambios pequeños del alineamiento horizontal puede llevar a zonas de mucho menos peligro o inocuas y la elevación de la rasante puede reducir mucho los problemas.

b) Tender Taludes.

Si el talud esta constituido con suelo "puramente friccionante" - la solución es indicada, pues, según se vió, la estabilidad de estos suelos es fundamentalmente cuestión de la inclinación del talud, tendiendo el talud en forma conveniente, se adquiere la estabilidad deseada. En suelos "cohesivos", por lo contrario, la estabilidad del talud está condicionada sobre todo por la altura -- del mismo y la ganancia al tender el talud es siempre escasa y en ocasiones nula. En suelos con "cohesión" y "fricción", el tender el talud producirá un incremento en la estabilidad general.

c) Empleo de bermas.

Las bermas son masas generalmente del mismo material del propio talud, que se colocan adecuadamente en el lado exterior - del mismo a fin de aumentar su estabilidad.

Puede decirse que en general una berna produce un incremento en la estabilidad por dos razones. Una, por su propio peso, - en la parte que queda hacia fuera de la vertical que pase por el centro del círculo de falla, con lo cual se disminuye el momento motor (área achurrada de la Fig. 4). Otra, que aumenta el momento resistente, debido al incremento en la longitud del arco de falla por efecto de la propia berna.

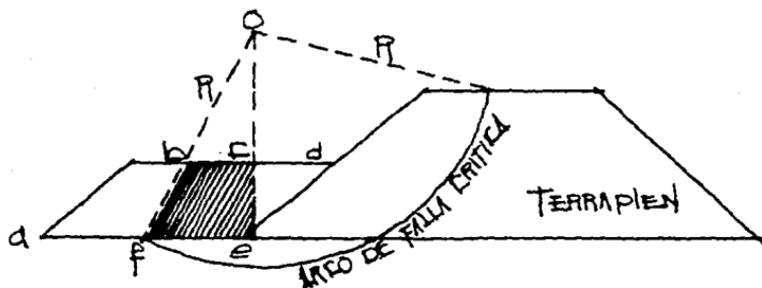


Fig. 4

Debe tenerse en cuenta que la presencia de la berna modifica la ubicación de la superficie de falla crítica, por lo que su colocación exige un nuevo cálculo de la estabilidad del nuevo talud protegido por la berna. La práctica ha demostrado que es una buena base para los tanteos el suponer un ancho de berna del orden de la mitad de la base del terrapien y una altura de la mitad del terrapien que se desea estabilizar.

d) Empleo de materiales ligeros.

La construcción de terraplenes con materiales ligeros sobre suelos del tipo cohesivo tiene como fin entre otros el de que se mantengan bajos momentos motores. El tezontle, espuma volcánica con peso volumétrico comprendido por lo general entre 0.9 y 1.2 ton/m³, ha sido muy utilizado para este fin. Debe tenerse en cuenta que un compactado enérgico de estos materiales al formar el terraplen, producirá una degradación estructural en estos materiales, con lo cual pierden su característica de materiales ligeros.

e) Empleo de muros de retención.

En general, el muro de retención como elemento estabilizador de taludes, constituye una estructura delicada tanto en su proyecto como en su construcción, por lo tanto deben tomarse en cuenta muchas precauciones para su proyecto y construcción, aquí solo se mencionaran algunas de ellas de carácter especial.

En primer término debe cuidarse que la cimentación del muro quede bajo la zona del suelo movilizada por la falla hipotética del talud, pues se puede presentar que el muro, en falla rotacional, se movilice en conjunto con el suelo, resultando totalmente inútil la construcción del muro.

Otra precaución en forma muy especial es en lo referente al drenaje, que es el de dotar al muro en su paramento interno, de filtros de material permeable que canalicen a las aguas hacia las salidas que se proyecten a través del muro.

f) Empleo de materiales estabilizantes.

El uso de esta solución tiene como fin el mejorar las cualidades de resistencia de los suelos mezclándolos con algunas sustancias que produzcan una cementación entre las partículas del suelo ó mejoren sus características de fricción. Las sustancias que más normalmente se han añadido al suelo son cementos, asfaltos o sales químicas. Sin embargo, en la práctica estos procedimientos resultan caros, por lo que su uso es limitado.

g) Empleo de vegetación.

El empleo de este método es para prevenir y corregir las fallas por erosión. Los movimientos de tierra que se ejecutan durante la construcción de un camino producen inevitablemente una destrucción de la cobertura vegetal, dejando a los suelos expuestos al ataque de agua superficial y vientos. Se sabe que la vegetación cumple dos funciones importantes; en primer lugar disminuye el contenido de agua en la parte superficial, y en segundo, de consistencia a esa parte por el entramado mecánico de sus raíces. Un criterio de seleccionar que tipo de especies es más conveniente en un caso dado, es al uso de plantas propias de la región, será en principio recomendable y evitará fracasos posibles en la adaptación al ambiente de espacios importados.

La práctica ha demostrado que es más efectivo para defender taludes la plantación continua de pastos y planter herbáceas, en vez de la plantación de matas o áreas aisladas.

Refiriéndonos al tramo Cd. Altamirano - El Cedral, entre los -

kms. 28 y 29, en los terraplenes constituidos con material arenoso, se presentaron en los taludes de los terraplenes fallas por erosión, que se resolvieron, abatiendo el talud, que como ya se vió, el uso de este método es recomendable en materiales "friccionantes", además sobre la subrasante se construyeron bordillos provisionales de suelo - cemento que canalizaban el agua que escurría sobre la cama del camino hacia los levaderos, con esto se evitó que el escurrimiento superficial atacara en forma directa a los taludes.

IV. 5.- SUBRASANTE

Se entiende como subrasante, la capa superior de las terracerías, terminada con el espesor que marca el proyecto, alojada abajo de la estructura del pavimento, es decir de la capa de sub-base o de la base cuando se suprime aquella, con requisitos de calidad mínima inferiores a los que se especifican para los materiales empleados en la sub-base.

En el comportamiento conjunto del pavimento y el cuerpo de la terracería, la capa subrasante tiene un papel muy importante. Al respecto, la Secretaría de Obras Públicas encomendando al Instituto de Ingeniería de la UNAM, estudios sobre la influencia del espesor y la calidad de la capa subrasante en el comportamiento de los pavimentos flexibles.

El Instituto realizó dos pruebas fundamentales, en la primera saturaron las terracerías y la subrasante empleándose en su formación material que cumplía los requisitos mínimos de calidad, compactada a 95% de su P.V.S.M., sobre la subrasante se construyó el pavimento, el cual para llevarlo a la falla necesitó un número de repeticiones de carga pequeño (entre 10 y 100), habiendo sucedido lo contrario cuando no se saturaron las terracerías y subrasante (se usó el mismo tipo de material, y el mismo grado de compactación que en el caso anterior) para esta prueba el número de repeticiones de carga para llevar al pavimento a la falla fué del orden de millones. La 2a. prueba consistió en utilizar los mismos materiales para terracerías y subrasante, pero compactada al 100% de su P.V.S.M., y con un espesor mayor, sometidos a las condiciones-

severas de saturación; el resultado fué ampliamente satisfactorio - pues para llevar el pavimento a la falla se requirieron millones de aplicaciones de carga.

De los resultados obtenidos en las anteriores pruebas se llegó a las siguientes conclusiones:

En primer lugar se comprobó que el papel de la subrasante en la estabilidad del conjunto terracería-pavimento es fundamental.

En segundo lugar las pruebas hacen ver la importancia tan grande de la saturación de las terracerías y de la subrasante, condición de trabajo no real, pero si lo fuera, se presentarían problemas -- tan graves hasta el punto de la destrucción total del camino en -- forma brusca.

En tercer lugar, se puede establecer una conclusión fundamental en el sentido de que la compactación de la subrasante desempeña un papel decisivo, de hecho la compactación parece significar más que -- la calidad de la subrasante.

Una consideración de orden económico que debe tenerse en cuenta para el proyecto de la capa de subrasante es la siguiente:

Una subrasante del suficiente espesor y calidad, permitirá muy importantes ahorros en el espesor del pavimento suprayacente, sin -- perjuicio de la función estructural conjunta, pues será capaz de -- absorber niveles de esfuerzo relativamente altos provenientes de -- la superficie y transmitirlos suficientemente disminuidos a las -- terracerías.

Respecto a los requisitos de calidad que deben de cumplir los materiales para formar la subrasante, la S.A.H.C.P., especifica que --

los materiales no deben tener partículas mayores de 7.6 cm. - (3"); elimina el uso de los suelos finos (FH, CH) cuyo límite líquido sea mayor de 100% y todos los suelos orgánicos con límite líquido mayor de 50% (OH). Señala grados de compactación mínimos de 95%, y exige un valor relativo de soporte mínimo de 5% con el material en condición saturada.

Las reglas anteriores se mencionan como norma de criterio, más que como regla rígida, pues como se sabe son muchos los factores circunstanciales que influyen en el comportamiento de un material, además en un caso de elección de material para la subrasante no debe olvidarse la intensidad del tránsito a la cual estará sometido y a las condiciones de subdrenaje en que trabajara.

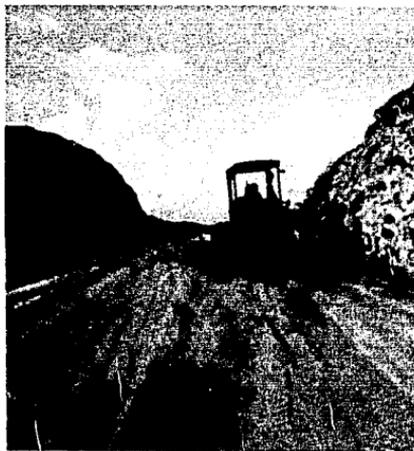
La construcción de la subrasante en el tramo que nos ocupa, se efectuó por medio de capas de 15 cm., es decir se construyó inicialmente media capa de subrasante protegida con un riego de impregnación con asfalto FM-1; lo anterior tenía dos objetivos:

Primero, con la construcción de solo media capa de subrasante se trataba de proteger el mayor número de kilómetros de terracerías que ya se tenían terminadas.

Segundo, el impregnar la media capa de subrasante tenía como propósito de protegerla contra las lluvias, además él de servir como superficie provisional de rodamiento, esto obligaba a seleccionar un material de subrasante de buena calidad y que una vez compacto o presentara una textura abierta para fa

cilitar la penetración del asfalto. Para lo cual se estudiaron diversos bancos de material, y al término de los estudios de calidad se decidió utilizar los bancos del km 5+100 con 500 m de desviación derecha con material grava-arena de río y el del km 21+500, sin desviación, con material arenoso, materiales que cumplían los requisitos propuestos.

A continuación se presentan fotografías sobre la construcción de la capa subrasante.



Motoconformadora tendiendo subrasante.
Km. 22+100



Duopactor compactando
media capa de subre--
sante en Km. 20 + 400

Impregnación de la me-
dia capa de subrasante
con asfalto FM-1
Km. 27 + 900





Subrasante impregnada
y poreada con arena.
Km. 23 + 400

Media capa de subrasante
impregnada, trabajando -
como capa de rodamiento-
provisional Km. 16 + 200





Observe la subrasante impregnada y los
bordillos y cunetas provisionales de sug
le - cemento. Km. 24 + 000

IV.- 6.- DRENAJE Y SUBDRENAJE

El agua amenaza a los caminos de diversas maneras:

- a) Procedente de la lluvia, el agua escurre superficialmente provocando erosiones en cortes, terraplenes y aún en la cama del camino cuando no está protegida. Tiende a correr hacia las cañadas y bajos topográficos, allí se almacena a causa del camino, y si no es eliminada por medio de una alcantarilla construída para cruzar la estructura del camino, puede cortar el camino.
- b) Por el agua que cruza la carretera, es decir la que escurre por arroyos o ríos, para lo cual debe construirse la estructura, alcantarille o puente, necesaria, con el fin de que no corten el camino.
- c) El agua que se infiltra en el terreno natural tiende a brotar en los cortes realizados para alojar el camino o en la corona del mismo, amenazando la estabilidad de los cortes y el buen comportamiento de los pavimentos.

Los problemas de drenaje superficial o subdrenaje son los de mayor importancia en la construcción de caminos y se reflejan quizá más que cualesquiera otros, en la duración y buen funcionamiento de estas estructuras, así como en los costos de su conservación.

En este tema trataremos en forma somera las obras de drenaje superficial y las de subdrenaje, así como la construcción de ellas en la carretera que nos ocupa.

DRENAJE SUPERFICIAL.

El drenaje superficial es el destinado a captar y eliminar las aguas que corren sobre el terreno natural o sobre el camino, principalmente, estas aguas proceden directamente de las lluvias, aunque a veces tienen su origen en inundaciones de corrientes fluviales.

En los cortes para caminos las dos obras fundamentales del drenaje superficial son: a) las cunetas

b) las contracunetas

a) LAS CUNETAS

Las cunetas son pequeñas zanjas paralelas al eje del camino, que se contruyen en los bordes de la corona, al pie del talud del corte. Su función es recoger y eliminar por gravedad las aguas pluviales que le llegan desde el talud del corte y desde la zona pavimentada del camino, que deberá tener una ligera pendiente transversal (bombeo) precisamente hacia la cuneta.

El gasto por drenar la cuneta depende del área de influencia, del coeficiente de escurrimiento y de la intensidad de lluvia durante un tiempo igual al de concentración. El proyecto hidráulico se dificulta generalmente por falta de registros adecuados y suficientes de las intensidades de lluvia.

En la práctica mexicana las cunetas se construyen generalmente de sección triangular. Con talud 1:3 del lado del camino y del lado del corte sigue sensiblemente la inclinación de éste, con lo cual se prevée un tirante de agua de no más de 30 cm.

La pendiente longitudinal mínima que debe existir en una cuneta es de 0.5%

La cuneta debe ir revestida de algún material impermeable y resistente a la acción del agua corriente, para evitar filtraciones hacia los materiales que forman el pavimento o el te-

reño de cimentación, los materiales más empleados para este fin son el concreto, la mampostería, el suelo-cemento.

Es frecuente en nuestro país que transcurra un lapso considerable entre la construcción de las terracerías para un camino y su pavimentación definitiva, en este caso es recomendable - construir cunetas provisionales (revestidas con suelo-cemento, por ejemplo) para proteger las terracerías de la carretera en sus tramos de corte.

b) LAS CONTRACUNETAS

Las contracunetas son también pequeñas zanjas construidas paralelamente al borde superior del corte, con el fin de captar el agua que escurre superficialmente del terreno superior y - evitar así que llegue al talud y lo erosione.

En general la contracuneta se construye formando una sección trapezoidal con 50 o 60 cm. de plantilla y taludes conformados de acuerdo con la naturaleza del terreno, la profundidad de esta canal también está normalmente comprendida entre 40 y 60 cm.

Para no comprometer la estabilidad del talud es recomendable que las cunetas se construyen impermeabilizadas y con la suficiente pendiente para garantizar un rápido drenaje del agua - que captan. Los materiales más usados para recubrimiento de contracunetas son el concreto, la mampostería, el suelo-cemento y el suelo-esfalto. Los remates de las contracunetas a - ambos lados de los cortes deben ir también provistos de lavaderos para neutralizar el mayor poder erosivo del agua provo-

cando por el aumento de la pendiente.

En los terraplenes, las principales estructuras de drenaje superficial son:

- 1) las alcantarillas
- 2) los lavaderos
- 3) los bordillos.

1) LAS ALCAANTARILLAS

Las alcantarillas tienen por objeto dar paso expédito al agua que por no poder desviarse en otra forma, tiene que cruzar el camino; una alcantarilla consiste en dos partes: el cañón y los muros de cabeza sirven para evitar la erosión alrededor del cañón, para guiar la corriente y para evitar que el terraplen invada el canal. Según la forma del cañón, las alcantarillas se pueden dividir en alcantarillas de tubo, cajón o bóveda.

El cañón de las alcantarillas de tubo se construye con lámina de acero corrugado o de concreto reforzado.

En general este tipo de tubos sirven para pequeñas áreas, también resultan económicas para grandes áreas de drenaje empleando varios tubos o batería de tubos. Una variante de este tipo de alcantarillas son los tubos de lámina de acero acanalada de sección abovedada, los cuales requieren para su diseño y construcción de un tratamiento especial.

Las alcantarillas de cajón que más se usan en nuestro país son las formadas por muros laterales de mampostería o de concreto simple, con una losa de concreto reforzado, este tipo de estructuras es la que aguanta mejor los movimientos de un terraplen sobre suelos comprensibles, pues aunque sufra grietas que hayan de ser calafeteadas, su función no se ve esencialmente comprometida.

Las alcantarillas de bóveda son las más indicadas cuando el te---

terraplen es alto y la cimentación firme, las bóvedas son semejantes a las alcantarillas de cajón, salvo que las cubiertas van en arco, que puede ser de mampostería, de concreto simple o reforzado. El uso de la mampostería resulta más económico que el concreto o lámina de acero, cuando se dispone de piedra cercana a la obra.

La colocación de las alcantarillas respecto a la dirección del agua que reciben es importante para evitar erosiones que, en ocasiones, han llegado a destruir obra y terraplen; a este respecto han de evitarse los bruscos cambios de dirección, la llegada del agua con velocidad excesiva. También es importante que la alcantarilla que de convenientemente ubicada en el fondo de la barranca o bajo por el que fluye el agua, es mala práctica y frecuentemente se presenta, resultando en muchas ocasiones problemas graves, colocarlas en la ladera de la barranca a nivel superior al del fondo, con lo cual se favorece el embalse del agua con todos los perjuicios que esto ocasiona.

Una zona crítica es siempre la frontera entre el material terrazo del terraplen y la alcantarilla propiamente dicha, pues en ella se dificulta la compactación del material de abrigo y se favorece la penetración del agua, que puede tubificar el material de terracería o humedecerlo; es frecuente que sobre las alcantarillas, los pavimentos muestren defectos espaciales por este motivo, que deberá cuidarse siempre en forma muy especial durante la construcción.

2) LOS LAVADEROS

Los lavaderos son canales que se conectan con los bordillos y bajan transversalmente por los taludes, con la misión de conducir el

agua de lluvia que escurre superficialmente sobre la corona del camino hacia los acotamientos, hasta lugares alejados de los terraplenes, en donde ya sea inofensiva. Suelen construirse de concreto, mampostería o de medio tubo de lámina de acero corrugada.

En tramos en tangentes los lavaderos se disponen cada 60 ó 100 m - pero esta separación puede ser variable, dependiendo de la pendiente longitudinal de la carretera y del régimen de precipitación pluvial de la zona.

También los lavaderos se colocan como elementos eliminadores del agua captada por cunetas y contracunetas; en este caso se presenta una zona crítica en la unión entre ambas estructuras, pues existe entonces el peligro de que el agua se introduzca bajo el lavadero, erosionando y disminuyendo su sustentación, con riesgo de falla.

Para evitar este peligro es recomendable que esta zona de unión sea amplia y sin quiebres y que el lavadero tenga un dentellón de entrada, para protegerlo del efecto de filtración, este dentellón debe tener una profundidad de aproximadamente 50 cm.

El lavadero en si debe ser de sección holgada, que evite derrames y deberá tener una descarga apropiada que anule los efectos de erosión regresiva en su pie, acción que ha causado tantas fallas a estas valiosas obras auxiliares.

3) BORDILLOS

Los bordillos son estructuras que se colocan en el lado exterior del acotamiento en las secciones en tangente, en el borde opuesto al corte en las secciones en balcón o en la parte interior de las secciones de terraplen en curva. Son pequeños parapetos que forman

una barrera para conducir el agua hacia los lavaderos, evitando -- que el agua desborde por los taludes erosionandolos, son particularmente útiles en terraplenes construídos con materiales arenosos o limoarenosos.

Se construyen generalmente de sección trapezoidal de concreto asfáltico o hidráulico.

Los bordillos tienen una utilidad que suele justificar ampliamente su costo y deben también recomendarse en caminos aún no pavimentados como obras complementarias de drenaje provisional.

SUBDRENAJE.

La estabilidad de los cortes, terraplenes y pavimentos de un camino se ve amenazada por los flujos de agua existentes en el interior de las masas de suelo, por lo que la técnica moderna ha desarrollado métodos para controlarlos en forma de reducir a un mínimo sus efectos perjudiciales.

Cuando se realiza un corte en una carretera se crea una frontera de esfuerzos exteriores nulos, lo que equivale a haber efectuado una descarga en el terreno natural; esta descarga produce disminución de los esfuerzos normales y aumento de los cortantes en el suelo localizado detrás del talud del corte. La disminución de los esfuerzos normales, provoca disminución de la resistencia al esfuerzo cortante. Además el talud del corte representa también una frontera a la presión atmosférica, por lo cual cualquier flujo previamente existente dentro de la masa de suelo tenderá a salir precisamente por esa superficie y por la cama del corte.

Los métodos de subdrenaje en el caso de cortes tienden a controlar el flujo del agua que trate de brotar en el talud o en la cama de-

la obra vial, reorientando el flujo de tal forma que la dirección de las fuerzas de filtración cambie y se haga menos desfavorable o disminuyendo las presiones neutrales en zonas convenientes, aumentando así en ellas la resistencia de los suelos al esfuerzo -- cortante y restringiendo la posibilidad de cambios volumétricos. El subdrenaje en los terraplenes puede aumentar la resistencia al esfuerzo cortante de la ladera de cimentación al abatir las presiones neutrales en el suelo, con lo cual aumentan correspondientemente los esfuerzos efectivos; también ahora puede buscarse una reorientación de las fuerzas de filtración, con objeto de lograr que actúen en forma menos perjudicial.

Los métodos que hasta la fecha se han usado para controlar las -- condiciones de flujo del agua en terracarías y para mejorar las -- condiciones de estabilidad en cortes, terraplenes y pavimentos -- pueden agruparse de la forma siguiente:

- a) Subdrenes de zanja y capas permeables.
- b) Construcción de una capa permeable con remoción de material.
- c) Trincheras estabilizadoras.
- d) Drenes transversales de penetración.
- e) Pozos de alivio.
- f) Galerías filtrantes.

A continuación se describen brevemente algunas de las soluciones.

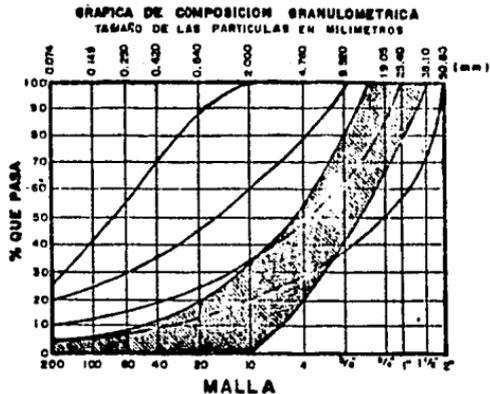
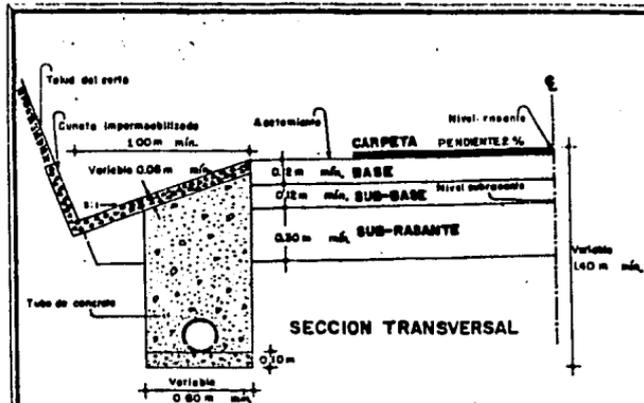
SUBDRENES DE ZANJA Y CAPAS PERMEABLES.

El subdren consiste en una zanja de profundidad adecuada, provista de un tubo perforado en su fondo y relleno de material filtrante; el agua colectada se desaloja por el tubo de gravedad a algún bajo o cañada en que su descarga sea ya inofensiva.

El tubo perforado que se coloca en el fondo de la zanja y sobre una plantilla compactada tiene un diámetro del orden de 15 cm las perforaciones deberán colocarse en la mitad inferior y entre los ángulos de 22.5° y 45° con respecto a la horizontal. Ver figure 5 hoja (7/).

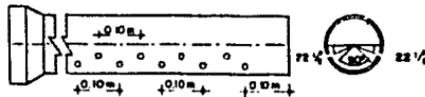
El material filtrante que rellena la zanja deberá cumplir dos condiciones: ser de una permeabilidad mayor que la del suelo circundante para facilitar el flujo del agua hacia el tubo perforado y ser de una granulometría tal que impide que las partículas del suelo circundante sean transportadas por el agua hacia los vacíos y huecos del material filtrante impermeabilizándolo.

Estos subdrenes se construyen longitudinalmente al camino, en sus escotamientos y al pie de los cortes; es frecuente su ubicación bajo las cunetas impermeabilizadas. Su propósito es desviar las aguas que aflorarían por el talud del corte o en la corona del camino, bajo el pavimento, captándolas, con lo que se modifica favorablemente la dirección de las fuerzas de filtración, se alivian las presiones internas en el agua, al proporcionar a ésta una salida más expedita y se protege debidamente la estructura del pavimento.



- NOTAS 1.- LA CURVA GRANULOMETRICA DEL MATERIAL FILTRANTE DEBERA ESTAR EN LA ZONA SOMBRADA DE LA GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA. ESTE MATERIAL DEBERA CUMPLIR ADEMÁS:
L₁ > 25%
L₂ > 6%
- 2.- LA PLANTILLA DONDE DESCANSA EL TUBO PERFORADO DEBERA FORMARSE EN TODOS LOS CASOS, CON EL MISMO MATERIAL FILTRANTE DEL SUBDREN, DÁNDOLE UN APISONADO ENÉRGICO.
- 3.- EL TUBO DE CONCRETO SERA DE 0.10m DE DIAMETRO INTERIOR MÍNIMO CON PERFORACIONES DE 3/8" SEPARADAS 0.10m CENTRO A CENTRO, SEGUN EL DETALLE DEL TUBO.
- 4.- LA PENDIENTE MÍNIMA DEL TUBO SERA DE 0.5%.
- 5.- EL MATERIAL FILTRANTE SE COLOCARA POR CAPAS DE 0.20m DE ESPESOR APROXIMADO, UN POCO HUMEDO Y APISONADO LIGERAMENTE PARA LOGRAR SU ACOMODO.
- 6.- SE DEBERA PREVER LA COLOCACION DE REGISTROS EN CADA PROYECTO PARTICULAR.

NOTA: ACOTACIONES EN METROS



DETALLE DEL TUBO DE CONCRETO

PROYECTO TIPO
DE SUB-DREN

FIGURA 5

En la figura 6 se muestra un croquis del subdren de zanja, así como sus efectos.

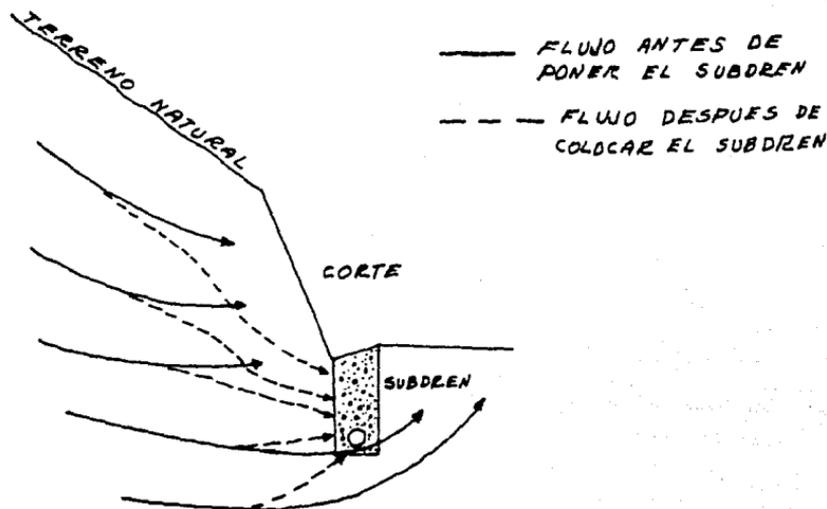


Figura 6

En los casos de flujo importante y cuando la corona del camino es ancha (mayor de 12 m), no se puede interceptar el flujo que aflora por la corona del camino, por lo menos utilizando zanjas de una profundidad razonable.

En estos casos es necesario combinar la acción de los subdrenes construidos en sentido transversal al camino ó bien como una verdadera capa permeable construida bajo el pavimento, como subbase del mismo.

Esta capa no requiera de tubos perforados, pues se ha comprobado en la práctica que el agua captada es conducida al subdren longitudinal y eliminada por éste, para ello deberá cuidarse --

las pendientes transversales, de manera que permitan que ese drenaje ocurra rápidamente.

CONSTRUCCION DE UNA CAPA PERMEABLE CON REMOCION DEL MATERIAL.

Esta solución se puede aplicar cuando existe una capa saturada de suelo de mala calidad y de un espesor relativamente pequeño (no mayor de 4 ó 5 m) y abajo de ella hay materiales de mucha mejor calidad; se removerá totalmente el material malo en una faja bajo el camino por construir y en un ancho conveniente.

Una vez hecha la remoción podrá entonces cubrirse con una capa de 50 cm a 1.0 m de material permeable que actúe como subdren en la zona; dicha capa deberá estar provista de tubería perforada de captación y desfogue. Después la excavación se rellenará con material de buenas características debidamente compactado, sobre éste podrá construirse el terraplen proyectado.

Con esto se logra que el terraplen se apoye en terreno firme, por lo que la solución cubre los fines de mejoramiento del terreno de cimentación y de la estabilidad general del propio terraplen.

El uso de esta solución está limitada por el espesor de material de mala calidad, por remover.

DRENES TRANSVERSALES DE PENETRACION.

Son tuberías perforadas que penetran en el terreno natural en dirección transversal al camino para captar aguas internas y para abatir las presiones neutrales. Se recomienda su uso para mejorar la estabilidad de cortes, así como la del terreno de cimentación de terraplenes. En su construcción primero se realice una perforación de 7.5 a 10 cm. de diámetro, para lo

cual existe maquinaria apropiada, automática y provista de movimiento propio de avance y retroceso, a fin de facilitar las maniobras, una vez hecha esta perforación se coloca en ella tubo de acero de 5 cm. de diámetro con perforaciones de $3/8"$ ϕ , generalmente recubierto de asfalto o galvanizado, para protección contra corrosión.

Su inclinación con la horizontal varía desde 3 a 20%, y sus longitudes de penetración son muy variables, pero pueden llegar a 100 m. ó más.

Los drenes transversales de penetración tienen la ventaja de drenar el agua y/o abatir las presiones neutrales a grandes profundidades, mayores de las que puede llegar cualquier otro elemento de subdrenaje. La figura 7 muestra un croquis con su colocación y efectos en una sección en balcón.

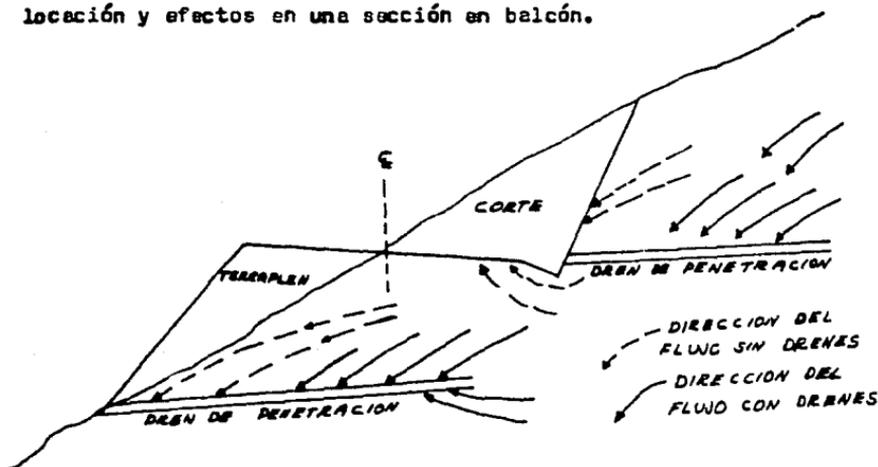
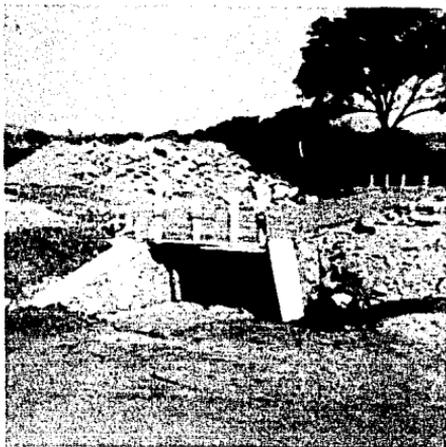


Figura 7

En el tramo Cd. Altamirano-El Cedral de la carretera Tamascaltepec-Zihuatanejo, el tipo de la alcantarilla que más se construyó fué la de tubo de lámina de acero con recubrimiento de suelo-cemento, las razones que se tuvieron para decidirse por el uso del tubo de lámina corrugada, fueron su fácil instalación y el acceso difícil a la obra ya que la mayor parte del camino se aloja en terreno montañoso. En sustitución del recubrimiento con material compactable que indican las Especificaciones Generales de Construcción de la SAHOP, para proteger la tubería, del equipo pesado se realizó el recubrimiento con mezcla de suelo-cemento proporción 5:1, logrando reducir el tiempo de ejecución de los terraplanes.

Debido a la limitación de los recursos destinados para la construcción de esta obra, no fué posible efectuar inmediatamente después de concluidas las terracerías los trabajos de pavimentación; por lo que para evitar daños en las terracerías que quedan expuestas a la acción del agua, se construyeron cunetas y bordillos provisionales con suelo-cemento, así como lavaderos de concreto, logrando con estas obras la conservación de las terracerías y cama del camino.

En las páginas siguientes se incluyen algunas fotografías relacionadas con las diferentes etapas de construcción en diversas obras de drenaje.



Alcantarilla de cajón
en Km. 17 + 560

Construcción de una alcan-
tarilla de bóveda.
Km. 35 + 880





Alcantarilla de tubo de
lámina protegida con --
suelo-cemento en propor-
ción 5:1 Km. 40 + 920

Alcantarilla de doble
tubo de lámina, arropa-
da con suelo-cemento, -
observese atraques de-
mampostería Km. 41+278





Construcción de bordillos
provisionales de suelo-ce-
mento Km. 25 + 800

Cunetas provisionales imper-
meabilizadas con suelo-ce-
mento. Km. 22 + 900



IV. 7.- DISEÑO DEL PAVIMENTO

Se entiende como pavimento la capa o conjunto de capas de materiales apropiados comprendida(s) entre el nivel de la subrasante y la superficie de rodamiento, cuyas principales funciones son las de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura apropiados, resistente a la acción del tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como transmitir adecuadamente a las terracerías los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito.

En la actualidad se conocen dos tipos básicos de pavimentos: -- flexibles y rígidos. El término rígido o flexible es relativo que tan flexible es un pavimento asfáltico o que tan rígido es un pavimento de concreto hidráulico, es difícil definir, lo más correcto sería decir pavimentos de concreto hidráulico o pavimentos asfálticos.

Los pavimentos flexibles están compuestos, por una carpeta asfáltica apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub-base, la calidad de las capas es descendente hacia abajo. El diseño de estos pavimentos emplea el principio de que una carga de cualquier magnitud, puede disiparse con la profundidad a través de capas sucesivas de material, o sea que la intensidad de la carga disminuye en proporción geométrica al ser transmitida hacia abajo de la superficie, ya que se va repartiendo en un área mayor. Por esa causa, los materiales conforme aumenta la profundidad disminuye su calidad.

Los pavimentos rígidos están formados por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa de ma

terial seleccionado (sub-base).

Estos pavimentos son regidos por las características estructurales de la losa de concreto, ya que ésta, a causa de su rigidez y alto módulo de elasticidad, tiende a repartir la carga sobre un área relativamente grande del terreno, de este modo la mayor parte de la capacidad estructural la proporciona la losa, por lo cual el factor principal considerado en el diseño de los pavimentos rígidos es la resistencia del concreto.

Por lo que se ha expuesto, la diferencia fundamental entre los dos tipos de pavimentos es en la forma de como se distribuye la carga del tránsito a las terracerías.

FUNCIONES DE LAS DISTINTAS CAPAS DE UN PAVIMENTO.

1) PAVIMENTOS FLEXIBLES.

CARPETA.

La carpeta debe proporcionar una superficie de rodamiento adecuado, con textura y color convenientes y resistir los efectos abrasivos del tráfico, debe cumplir con determinados índices de impermeabilidad con el fin de formar una capa de protección para la base.

Cuando se construye con concreto esfáltico colabora a la resistencia estructural del pavimento, cuando se construye por el sistema de riegos no se toma en cuenta para el cálculo del pavimento. Desde el punto de vista del objetivo funcional del pavimento, es el elemento más importante.

BASE

La base en muchos casos debe drenar el agua que se introduzca a través de la carpeta o por los acotamientos del camino, así-

como impedir la ascención capilar.

Desde el punto de vista económico la base permite reducir el espesor de la carpeta que es más costosa. La función fundamental de la base de un pavimento consiste en proporcionar el elemento resistente que transmite a la sub-base los esfuerzos producidos por el tránsito disminuidos a una intensidad apropiada.

SUB-BASE

En el aspecto económico la sub-base permite disminuir el espesor de la base, logrando un ahorro en el costo del pavimento. Su función desde el punto de vista estructural es similar a la base.

La sub-base también se coloca para absorber deformaciones perjudiciales de las terracerías, por ejemplo cambios volumétricos asociados a cambios de humedad, impidiendo que se reflejen en la superficie del pavimento.

Además sirve de transición entre el material de base generalmente más o menos grueso y la propia subrasante, generalmente formado por materiales finos. La sub-base más fina que la base, actúa como filtro de ésta e impide su incrustación en la subrasante.

La sub-base también tiene la función de actuar como dren para desalojar el agua que se infiltre al pavimento y para impedir la ascención capilar hacia la base, de agua procedente de las terracerías.

2) PAVIMENTOS RIGIDOS

LOSA DE CONCRETO HIDRAULICO.

Las funciones de la losa en el pavimento rígido son las mismas

que las correspondientes a la carpeta en el flexible, más la función estructural de soportar y transmitir en nivel adecuado los esfuerzos que se le aplican.

SUB-BASE

Sus funciones son análogas a las que de una sub-base en un pavimento flexible y sirve también para proporcionar una superficie uniforme que sirva de apoyo a la losa y facilite su colado protege a la losa de cambios volumétricos en la subrasante, -- que de otra manera inducirían esfuerzos adicionales a aquella. Además sirve para controlar el efecto de bombeo. En los pavimentos rígidos la sub-base no desempeña ningún aspecto estructural, pues como se comentó; la losa debe ser suficiente para soportar las cargas del tránsito.

FACTORES QUE AFECTAN EL DISEÑO DE LOS PAVIMENTOS.

Independientemente del método y calidad del pavimento, los factores que afectan en forma predominante a ésta pueden quedar comprendidos en los siguientes tres grupos:

a) CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES QUE CONSTITUYEN LA TERRACERÍA Y LA CAPA SUBRASANTE.

Los materiales que constituyen la terracería y la capa subrasante de un camino juegan un papel fundamental en el comportamiento del pavimento ya sea flexible ó rígido, así como en el diseño del espesor de los pavimentos flexibles, tienen poca influencia en el diseño del espesor de la losa.

Por esto es vital determinar las características del suelo que formarán la terracería y la capa subrasante.

b) EL CLIMA

El factor climático que mas afecta a los pavimentos es la pre-

cipitación pluvial, ya sea por su acción directa o por la elevación que genera en las aguas frías. Por lo cual nos vemos obligados al diseño y construcción de las diversas estructuras de drenaje que ya fueron comentadas en el capítulo - - VI. 6.

Otro factor que afecta el diseño es la temperatura y su variación extremosa, sobre todo en las losas de concreto, pues inducen esfuerzos muy importantes en tales estructuras.

c) EL TRÁNSITO

Debido a que el pavimento debe resistir en forma adecuada los esfuerzos, que generan las cargas que produce el tránsito, a que va a estar sujeto; para su diseño se requerirá conocer - la magnitud de esas cargas, las presiones de inflado, 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 mayor parte de estas características de las cargas son muy difíciles o imposibles de reproducir en los laboratorios confines de investigación y en ella radica en buena parte, las - incertidumbres que se tienen sobre los efectos del tránsito - en el pavimento.

En este trabajo se describen en forma somera tres métodos para el diseño de pavimentos flexibles, por ser estos los que se consideran más adecuados a las características del tránsito que opera en las carreteras que se construyen en el País.

1) MÉTODO DE LEADO POR LA SAHOP.

Este método está basado en la determinación del valor relati-

mo de soporte del material que forma la subrasante y en la intensidad de tránsito de los vehículos con capacidad de carga igual o superior a 3 toneladas métricas, considerando en un solo sentido.

El valor relativo de soporte del material que forma la subrasante se determina mediante alguna de las 4 modificaciones a la prueba standar de valor relativo de soporte según el caso; la prueba que se usa generalmente para determinar el VRS de la capa de subrasante, es la prueba modificada de valor relativo de soporte para diferentes grados de compactación.

La intensidad de tránsito puede determinarse mediante alguno de los métodos de aforo o bien, obtenerlo mediante los estudios de planeación del camino.

Una vez determinados el VRS e intensidad de tránsito se puede determinar el espesor mínimo de sub-base y base por medio de la figura 8; en este método no se cuenta con herramientas para calcular el espesor de la carpeta.

Este método tiende a dar pavimentos sobrediseñados para caminos de bajo tránsito; en caminos de alto volumen de tránsito ocurre lo contrario. Su principal limitación consiste en el número de variables de diseño que aparecen en forma explícita. Enseguida se mencionan algunas de las principales limitaciones de estas variables.

El procedimiento para determinar el VRS de la subrasante se basa en una prueba de laboratorio, la cual de acuerdo con estudios realizados, no tiene correlación directa con el valor relativo de soporte en el campo.

No permite tomar en cuenta la vida de proyecto del pavimento ni la tasa de crecimiento anual del tránsito.

Además, únicamente hay cuatro niveles de intensidad de tránsito en cuanto a número total de vehículos de carga. La curva superior se refiere a carreteras con más de 2000 vehículos o autopistas, el límite superior es abierto, con lo cual para condiciones fijas de calidad de la subrasante el diseño resulta idéntico si el tránsito es de 2500 o de 25000 camiones diarios. En la gráfica de la fig. 8 solo puede calcularse el espesor total de base más sub-base; es decir, el criterio de diseño solo trata de prevenir fallos en la subrasante.

2) MÉTODO DEL INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA UNAM.

En su planteamiento, el método establece la necesidad de realizar un cambio básico de criterio. En efecto,, normalmente se habla del diseño del pavimento que por definición está constituido por las capas de carpeta, base y sub-base, que son soportadas por la capa subrasante. Lo anterior supone implícitamente que la subrasante es la capa más débil y no hay posibilidad de falla en las demás capas que constituyen el camino. La hipótesis anterior, en muchos casos da lugar a estructuras inadecuadas, ya que la subrasante no es necesariamente la zona crítica.

El criterio propuesto en este método debe analizarse la totalidad de la estructura. Rigurosamente debe hablarse de diseño estructural de carreteras con pavimento flexible en vez de diseño de pavimentos flexibles.

Este método parte de la hipótesis de que la carretera más eco

nómica es aquella que tiene una resistencia relativa uniforme en todas sus capas y llega a la falla cuando ha soportado el número acumulado de aplicaciones de carga equivalente (ΣL) especificadas para la vida de proyecto del camino.

Define la falla del pavimento como la aparición de una deformación permanente de 2.5 cm. en un 20% del área pavimentada.

El método acepta que el VRS debería distribuirse en el espesor de la sección resistente del pavimento en forma análoga a como se distribuyen los esfuerzos normales verticales según la teoría de Boussinesq.

Así habría una distribución del VRS en forma escalonada que correspondería para resistir los esfuerzos transmitidos; con lo cual se admite la relación entre espesor y VRS es una típica curva de Boussinesq, así se dibujan varias de estas relaciones para diferentes repeticiones de carga esperadas o vidas útiles de proyecto, expresada esta vida útil deseada como un número de repeticiones de carga que han de ser aguantadas sin falla. En las figuras 9, 10, 11, 12 y 13, se presentan las gráficas necesarias para el diseño estructural de pavimentos flexibles para condiciones normales y para caminos secundarios en condiciones favorables.

3) METODO DEL INSTITUTO NORTEAMERICANO DEL ASFALTO.

La metodología de diseño consiste en determinar el espesor de la estructura del pavimento de acuerdo con una particular manera de estimar el volumen de tránsito a futuro, con algún parámetro que represente la resistencia y deformabilidad del material de apoyo o de terracería. En el método se recomien-

con equivalencia de espesores entre diversos materiales, según su calidad relativa, proporcionándose así una manera de visualizar con rapidez las virtudes de distintas combinaciones posibles buscando las más convenientes y económicas.

El tránsito futuro se refiere al denominado, Número de Tránsito para Diseño (N.T.D.), que es el promedio diario de cargas equivalentes de 8.2 ton. (18,000 lb), dispuestas en un eje sencillo, que se espera para el año de diseño de la obra, normalmente fijado en 20 años por el propio Instituto del Asfalto.

Para obtener el NTU deberá comenzarse por establecer con base en estudios previos de tránsito, económicos y sociales, el número diario medio de vehículos que sean de esperar en el camino durante el primer año de su operación.

Este número se conoce como Tránsito Diario Inicial (T.D.I.).

Con base en los datos de tránsito se determina el porcentaje de vehículos pesados que existirá en ese primer año, también deberá definirse cuanto de ese porcentaje corresponde al carril de diseño. En la table I, se indica cual es la distribución de vehículos pesados que conviene considerar en el carril de diseño según el Instituto.

TABLA I

Porcentaje del tránsito total de vehículos pesados en dos direcciones que deberá considerarse en el carril de diseño.

Número total de carriles en la carretera	Porcentaje de camiones a considerar en el carril de diseño.
2	50
4	45 (oscila entre 35 y 48)
6 ó más	40 (oscila entre 25 y 48)

Con base en los estudios de tránsito podrá conocerse también el peso promedio de los vehículos pesados, así como el límite de carga legal por eje sencillo establecido por las autoridades. Una vez recabado toda la información anterior podrá establecerse el Número de Tránsito Inicial (N.T.I.), haciendo uso del nomograma (a) de la fig. 14.

Para ello fijese en la escala D, el valor medio de la carga de los camiones; unase este punto con el número de camiones pesados en el carril de diseño, localizado sobre el eje C; con una línea que deberá prolongarse hasta cortar el eje de pivote B, marquese ahora en el eje E, el límite de carga legal para eje sencillo; este punto debe unirse con el anterior encontrado sobre el eje B y esa línea debe prolongarse hasta el eje A, sobre el cual se obtiene el N.T.I.

Con el período de diseño y la tasa de crecimiento se entra en la tabla (c) de la fig. 14 en la cual se obtiene el factor de corrección que debe aplicarse al número de tránsito inicial, de manera que el producto de las dos cantidades es igual al va

lor del número de tránsito de diseño (N.T.D.) que figura en el monograma (b) de la fig. 14.

La prueba para determinar el VRS que el Instituto recomienda es la determinada por el Cuerpo de Ingenieros Militares de los E.U.A.

Una vez que se ha determinado el valor o valores índice de resistencia del material (VRS) y el N.T.D. aplicable al caso, el espesor necesario de la capa de concreto asfáltico se obtiene del monograma (b) de la fig. 14.

Por economía este espesor de concreto asfáltico, se convierte en una estructuración más adecuada, es decir integrar la estructura del pavimento con capa de sub-base, de base y la carpeta propiamente dicha. En esta forma la substitución se puede hacer con una infinita variedad de combinaciones, que permiten el análisis del suficiente número de alternativas prácticas como para poder llegar a un diseño realista que tome en cuenta la disponibilidad regional de materiales, sus características y tratamientos necesarios, así como sus acarreos. Para lograr lo anterior, el propio Instituto propone los siguientes factores de equivalencia, en relación a capas convencionales de uso frecuente.

TABLA II

Factores de equivalencia entre capas convencionales y capas de concreto asfáltico, en cuanto a espesor.

Capas Convencionales	Factor de equivalencia
Bases asfálticas de arena, mezclas en planta.	1.3
Bases asfálticas elaboradas con asfaltos líquidos o emulsificantes.	1.4
Bases granulares de alta calidad (VRS 100%).	2.0
Bases granulares de baja calidad (VRS 20%).	2.7

También el Instituto del Asfalto especifica los espesores mínimos de concreto asfáltico que debe colocarse en la carpeta del pavimento cuando se utilicen bases asfálticas. Estos valores aparecen en la table III.

TABLA III

Espesores mínimos para carpetas de concreto asfáltico sobre bases asfálticas.

Número de Tránsito de Diseño (NTD)	Espesor mínimo ca.
Menor que 10 (tránsito ligero)	5
Entre 10 y 100 (tránsito medio)	7
Mayor de 100 (tránsito intenso)	10

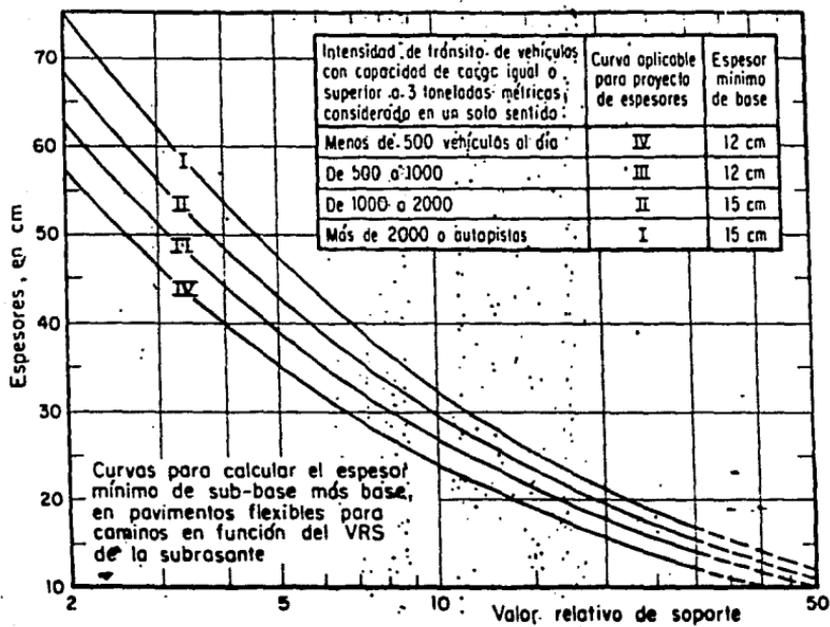
De los 3 métodos para diseño del pavimento anteriormente descritos, podemos hacer los siguientes comentarios:

a) Respecto al método empleado en la SAHDF, y debido a las li-

mitaciones que se presentan en cuanto a la determinación del - VRS, el límite superior abierto en cuanto al volúmen de tránsito se refiere y que no toma en cuenta el crecimiento de éste, - además este método supone que la zona crítica es la capa subrasante; por lo cuál podemos decir que el diseño obtenido por medio de este método únicamente se toma como un índice del espesor del pavimento, pero que de ninguna manera se acepte como el espesor definitivo del pavimento.

b) En relación con el método del Instituto de Ingeniería de la UNAM pensamos que ofrece mayor confiabilidad, y por lo tanto - los valores obtenidos con este método pueden ser aceptados en la práctica, ya que es producto de una investigación experimental seriamente tratada; e incluye parametros para considerar - la intensidad y frecuencia de las cargas producidas por el tránsito así como el crecimiento de éste, y además considera la calidad de todos los materiales involucrados en la estructura -- del pavimento y de las terracerías.

c) Los valores que se obtienen al aplicar el método del Instituto del Asfalto debe tomarse con ciertas reservas, ya que fué elaborado para condiciones de otro País, que son diferentes al nuestro, sin embargo nos proporciona espesores de pavimento -- que deben ser analizados y comparados.



Prueba 108-13, SCOP - 1957

Fig. B

Gráfica de diseño actual

NOTA
 K_p = Coeficiente de equivalencia para el vehículo vacío
 K_c = Coeficiente de equivalencia para el vehículo
 cargado



Características		
Pn	Peso, ton	P ₀
Carga, Vehic		
1	1.0	2.0
2	1.0	0.8
3		
Σ	2.0	1.8

Coeficientes de dato			
Carga, F.			
l = 0	l = 15	l = 22.5	l = 30
0.0023	0.0021	0.0020	0.0020
0.0023	0.0020	0.0018	0.0018
0.0046	0.0040	0.0036	0.0036

Coeficientes de dato			
Vehic, F.			
l = 0	l = 15	l = 22.5	l = 30
0.0013	0.0011	0.0010	0.0010
0.0013	0.0010	0.0008	0.0008
0.0044	0.0039	0.0036	0.0036



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

0.11*	0.002	0.001	0.001
0.17	0.046	0.010	0.010
0.34	0.042	0.011	0.010

0.17	0.011	0.001	0.001
0.17	0.010	0.008	0.008
0.34	0.001	0.001	0.001



1	4.2	3.0	3.8
2	8.2	7.0	3.8
3			
Σ	12.5	10.0	

1.0	0.110	0.064	0.050
1.0	1.000	1.020	1.050
2.0	1.150	1.100	1.100

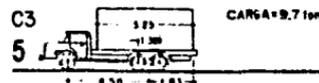
1.0	0.040	0.015	0.017
1.0	0.600	0.500	0.500
2.0	0.640	0.513	0.507



1	2.5	1.5	3.0
2	6.8	7	3.8
3			
Σ	9.3	4.2	

0.44	0.023	0.026	0.002
0.44	0.440	0.440	0.440
0.88	0.465	0.448	0.442

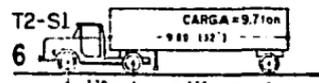
0.44	0.002	0.000	0.001
0.44	0.023	0.008	0.003
0.87	0.027	0.008	0.003



1	2.6	1.7	3.8
2	14.2	1.7	3.8
3			
Σ	16.8	6.9	

0.44	0.023	0.006	0.003
0.44	0.630	0.630	0.630
0.88	0.675	0.638	0.653

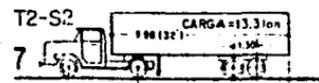
0.44	0.004	0.001	0.000
0.44	0.040	0.010	0.006
0.88	0.044	0.011	0.006



1	3.2	3.5	3.8
2	8.0	3.4	3.8
3	7.8	3.0	3.8
Σ	19.0	9.1	

1.0	0.048	0.015	0.007
1.0	0.900	0.900	0.900
1.0	0.900	0.900	0.900
3.0	1.740	1.715	1.707

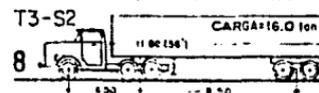
1.0	0.020	0.006	0.002
1.0	0.460	0.210	0.001
1.0	0.460	0.215	0.007
3.0	0.940	0.011	0.014



1	4.0	3.5	3.8
2	9.5	4.0	3.8
3	12.1	2.8	3.8
Σ	25.6	11.3	

1.0	0.120	0.040	0.030
1.0	1.000	1.020	1.000
2.0	0.450	0.400	0.400
4.0	1.570	1.460	1.400

1.0	0.080	0.030	0.020
1.0	0.120	0.060	0.020
2.0	0.110	0.012	0.011
4.2	0.310	0.012	0.011



1	3.4	3.5	3.8
2	13.0	1.4	3.8
3	13.0	3.4	3.8
Σ	29.4	11.1	

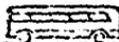
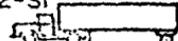
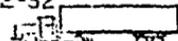
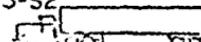
1.0	0.120	0.050	0.025
2.0	0.600	0.600	0.500
2.0	0.600	0.500	0.500
5.0	1.320	1.050	0.925

1.0	0.050	0.016	0.010
2.0	0.140	0.015	0.007
2.0	0.140	0.010	0.010
4.0	0.330	0.010	0.010

6-013

Notas _____

Fig. 10

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		
Total									

T_0, T'_0 : Tránsito equivalente inicial

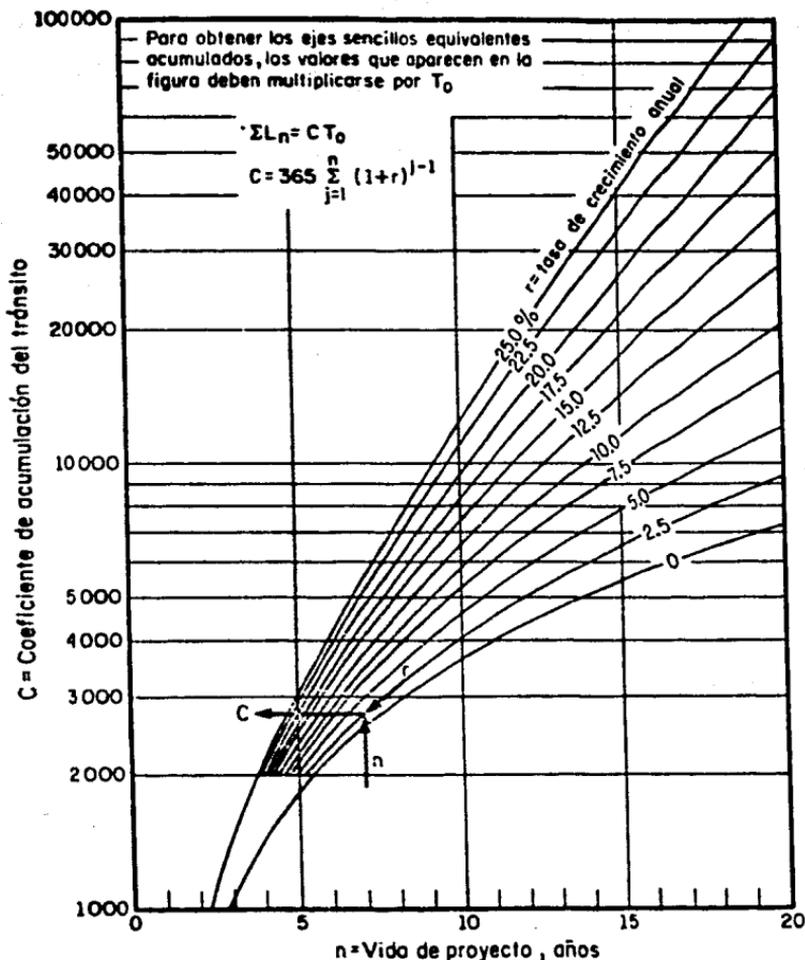
NÚMERO DE CARRILES EN AMBAS DIRECCIONES	COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN PARA EL CARRIL DE PROYECTO
2	50
4	40-50
6 ó más	30-40

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

Coeficiente de acumulación del tránsito, C : _____

Tránsito acumulado, $\sum L_n = C T_0$: _____ $\sum L'_n = C T'_0$: _____

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



ΣL_n tránsito acumulado al cabo de n años de servicio, ejes equivalentes de 8.2 ton

C coeficiente de acumulación del tránsito, para n años de servicio y una tasa de crecimiento anual r

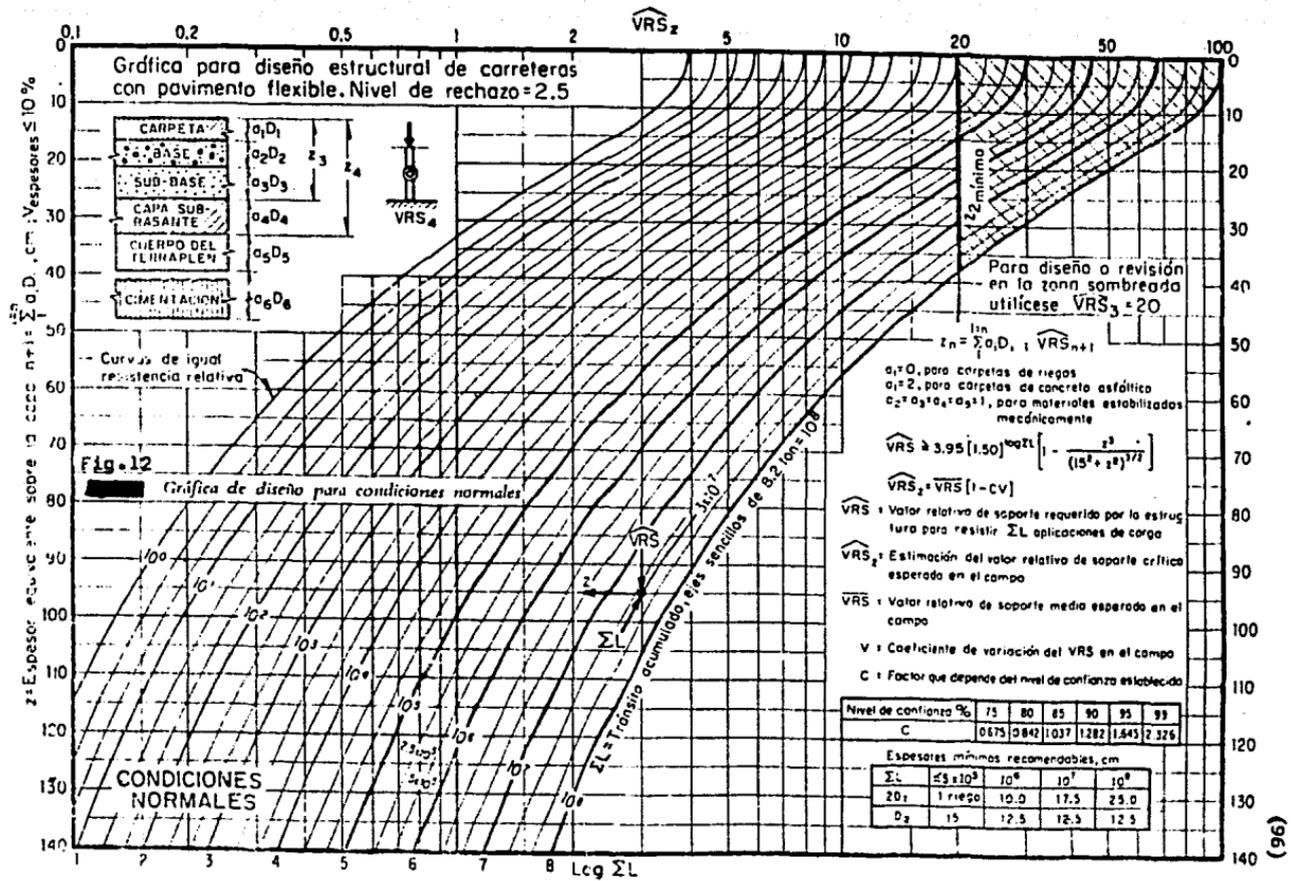
T_0 tránsito medio diario por carril en el primer año de servicio, ejes equivalentes de 8.2 ton

$$T_0 = \Sigma N_i F_i + \Sigma N'_i F'_i$$

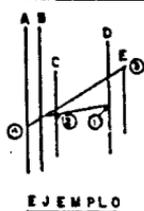
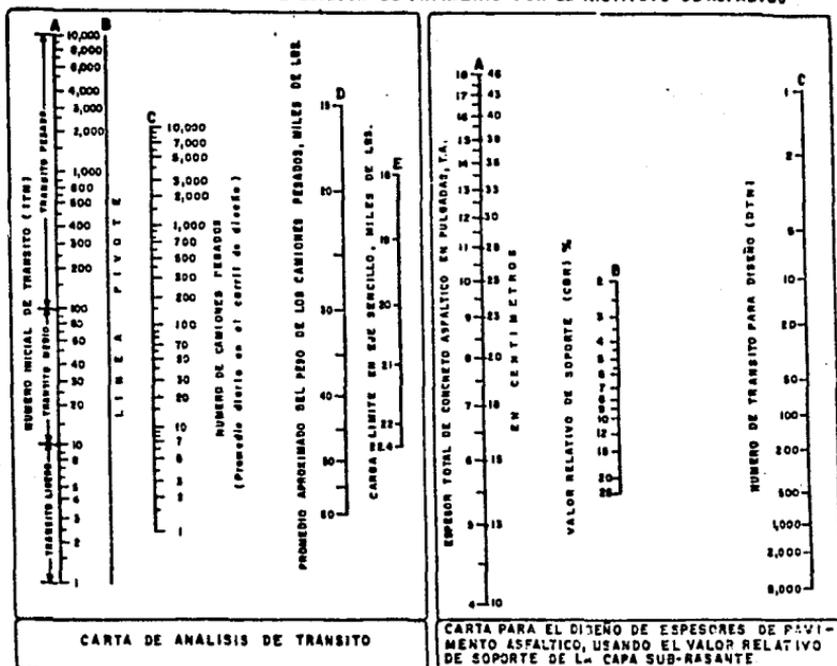
N_i, N'_i promedio diario por carril de vehículos tipo i (cargados o descargados respectivamente), durante el primer año de servicio

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

Fig. 11 Gráfica para determinar el tránsito equivalente acumulado



GRAFICA PARA DETERMINAR EL ESPESOR DE PAVIMENTO POR EL INSTITUTO DE ASFALTOS



(a)

PERIODO DE DISEÑO AÑOS	TASA DE CRECIMIENTO ANUAL, POR CIENTO					
	0	2	4	6	8	10
1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
2	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
4	0.20	0.21	0.21	0.22	0.22	0.23
6	0.30	0.32	0.33	0.35	0.37	0.39
8	0.40	0.43	0.46	0.50	0.53	0.57
10	0.50	0.55	0.60	0.66	0.72	0.80
12	0.60	0.67	0.75	0.84	0.95	1.07
14	0.70	0.80	0.92	1.05	1.21	1.40
16	0.80	0.93	1.09	1.28	1.52	1.80
18	0.90	1.07	1.28	1.55	1.87	2.28
20	1.00	1.21	1.47	1.74	2.09	2.56
25	1.25	1.60	2.09	2.74	3.65	4.92
30	1.50	2.03	2.60	3.35	4.66	6.22
35	1.75	2.50	3.23	4.17	5.62	7.55

(b)

FACTORES DE CORRECCION DEL NUMERO DE TRAFICO INICIAL (ITM)

Fig. 14

IV. 8.- SEÑALAMIENTO

Un buen señalamiento es fundamental para la buena operación de cualquier obra vial, ya que tiene como objeto prevenir a los conductores de vehículos sobre la existencia de peligros, su naturaleza, la existencia de determinadas restricciones o prohibiciones que limiten sus movimientos sobre el camino y proporcionarles la información necesaria para facilitar su viaje, lo anterior se logra mediante la instalación de dispositivos para el control de tránsito como son señales, semáforos, marcas en el pavimento, etc.

Es conveniente advertir que cualquier dispositivo para el control del tránsito exige la concurrencia de cinco requisitos fundamentales.

- 1.- Satisfacer una necesidad importante.
- 2.- Llamar la atención.
- 3.- Transmitir un mensaje claro.
- 4.- Imponer respeto a los usuarios del camino.
- 5.- Estar en el lugar apropiado a fin de dar tiempo para reaccionar.

Existen cuatro consideraciones básicas para asegurarse que tales requisitos se han cumplido. Ellos son: Proyecto, Ubicación Uniformidad y Conservación.

El proyecto de los dispositivos para el control del tránsito debe asegurar que características tales como tamaño, contraste colores, forme, composición, iluminación o efecto reflejante donde sea necesario, se combinen para llamar la atención del conductor.

La ubicación de la señal deberá estar dentro del cono visual del conductor, para provocar su atención y facilitar su lectura e interpretación de acuerdo a la velocidad a la que vaya el vehículo.

La uniformidad en el señalamiento de los caminos y calles, ayuda en las reacciones de los usuarios al encontrar igual interpretación de los problemas de tránsito a lo largo de la ruta.

La conservación deberá ser física y funcional; esto es, que no sólo se deberá procurar la limpieza y legibilidad de las señales, sino que éstas deberán colocarse y quitarse tan pronto como se vea la necesidad de ello.

En cuanto a su función, las señales se clasifican en:

- A) Preventivas
- B) Restrictivas
- C) Informativas

Las señales preventivas tienen por objeto advertir al usuario de la existencia y naturaleza de un peligro en el camino, estas señales se colocan antes del riesgo que se trata de señalar.

Las señales restrictivas son las que tienen por objeto indicar al usuario tanto en zona rural como urbana, la existencia de ciertas limitaciones físicas o prohibiciones reglamentarias que regulen el tránsito en las mismas, estas señales se colocan en el punto mismo donde existe la restricción o prohibición.

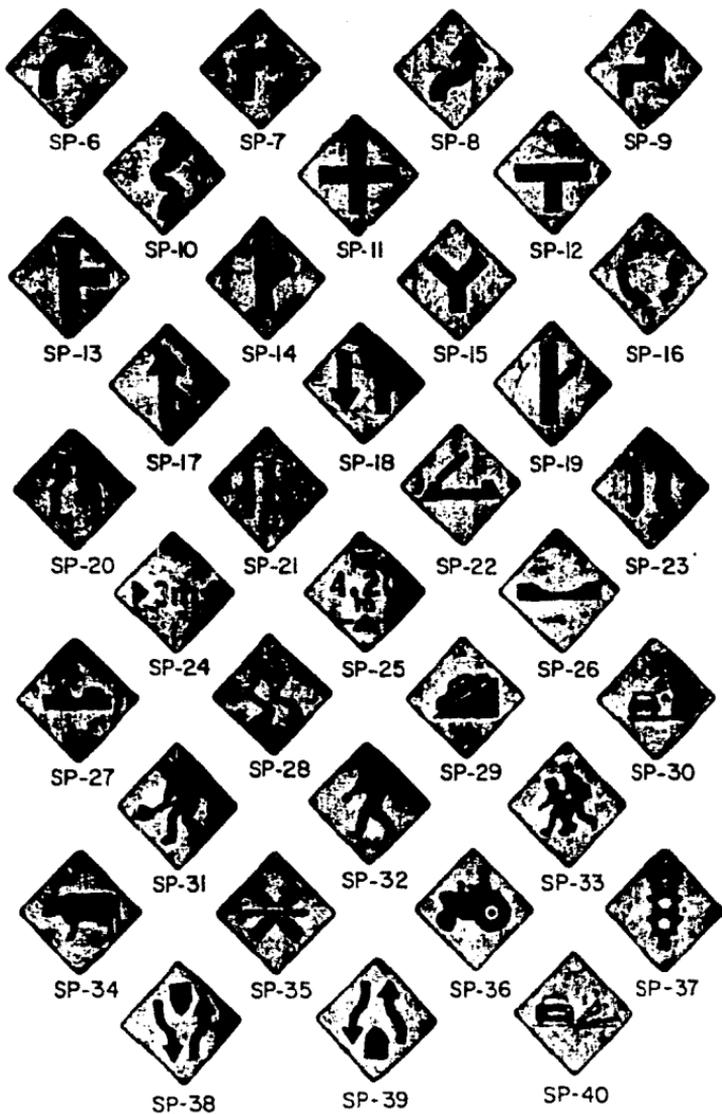
Respecto a las señales informativas son aquellas que sirven para guiar al usuario a lo largo de su itinerario e informarle sobre las calles o caminos que encuentra y los nombres de po-

blaciones, lugares de interés, etc., y sus distancias; también le proporcionan ciertas recomendaciones que debe observar.

Las rayas en el pavimento son blancas de 10 cm de ancho, con esferas de vidrio reflejante, y pueden ser continuas o discontinuas, dependiendo de lo que indique, en el borde de la carpeta se coloca raya continua para delimitar el ancho de la carpeta y en el centro la raya en algunos tramos es continua y en otros discontinua. En el primer caso indica la prohibición de cruzar el carril y en el segundo permite el rebase de vehículos. La raya continua se coloca en los cambios de alineamientos vertical y horizontal, en zonas de cruce de peatones (calles) u orilla de carpetas y para canalizaciones del tránsito. Para el proyecto de señalamiento de un camino se elaborará una planta del camino donde se indican los tipos de señales a colocar y la ubicación de las mismas.

En la figura 15 se presentan las diversas señales preventivas, en la figura 16 se encuentran las señales restrictivas, en la figura 17 aparecen los diversos tipos de señales informativas.

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

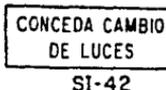
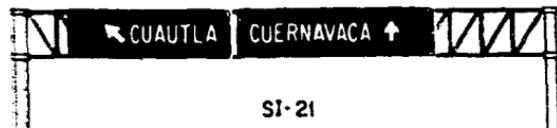
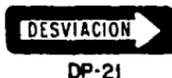
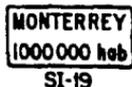
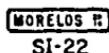
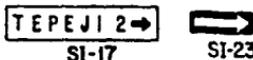
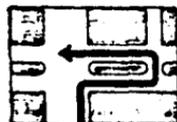
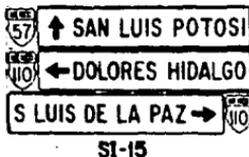
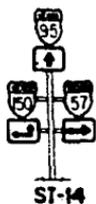


Fig. 17

IV. 9.- CONCLUSIONES

Por los estudios de planeación realizados para esta obra podemos decir que una vez terminada la construcción de esta obra vial y puesta en operación, la región por la que atraviesa será enormemente beneficiada, ya que esta carretera será factor importante para el desarrollo de la zona. No debe olvidarse que, para que la región alcance un desarrollo productivo deberán hacerse inversiones en otros sectores, así como proporcionar asistencia técnica y dotar a la zona de servicios asistenciales, educacionales, etc.

Respecto a la decisión de seleccionar para esta obra un camino tipo "C", se puede concluir que la elección fué acertada, ya que cuando se terminaron las terracerías y subrasante impregnada, entre los kms. 5+000 y 31+500 del tramo Cd. Altamirano--El Cedrel, se presentó un tránsito diario del orden de 60 vehículos.

Refiriéndonos al equipo empleado para la construcción de las terracerías, fué el adecuado ya que se tenían rendimientos algo mayores a los esperados, por lo cual fué posible cumplir con los programas de obra establecidos para el camino.

En los trabajos de construcción del camino se efectuó un control de calidad en los aspectos vitales de cada etapa del proyecto, apoyándose para dicho control en las Especificaciones Generales de Construcción de la S.A.H.D.P.

Debe tenerse presente que para lograr el nivel de calidad deseado en la construcción de las vías terrestres, el laboratorio de campo es un elemento indispensable.

Se hace notar que la buena conservación del camino aumentará - la vida útil del mismo, así como prestar un nivel de servicio - mejor con lo cual se tendrán ahorros de combustibles, tiempos - de recorrido, y seguridad para los usuarios de la carretera.