

151
28

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería



PROPOSICION DE UN SISTEMA DE CONTROL Y
ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE
UNA CARRETERA

T E S I S

Que para obtener el título de :

Ingeniero Civil

P r e s e n t a :

Victor Manuel Ruíz Galicia

Director de Tesis : Ing. Saturnino Suárez Fernández

México, D. F.

Febrero, 1987



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

PROPOSICION DE UN SISTEMA DE CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD
DE UNA CARRETERA

CONTENIDO

INTRODUCCION..... 1

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 Qué es un camino..... 3
1.1.1 Para qué sirve un camino..... 3
1.2 Datos generales sobre los caminos existentes (kilometraje)..... 3
1.2.1 Organismos que los construyen..... 3
1.3 Clasificación de las carreteras..... 5
1.4 Capacidad de un camino..... 6
1.5 Sección de un camino..... 8
1.6 Etapas sobre la planeación, proyecto, construcción, y operación
de una carretera..... 9
1.7 Importancia de los caminos en México..... 13

CAPITULO II

NORMAS QUE DEBEN CUMPLIR LOS MATERIALES QUE SE EMPLEAN EN LA —
CONSTRUCCION DE UNA CARRETERA.

2.1 Materiales para estructuras y túneles..... 17
2.2 Materiales para obras de drenaje..... 36
2.3 Materiales para terracerías..... 40
2.4 Materiales para revestimiento, sub-bases y bases..... 44
2.5 Materiales para carpeta..... 52
2.5.1 Carpetas de riego..... 61
2.5.2 Carpetas de mezcla en el lugar..... 65

2.5.3	Carpetas de mezcla en planta.....	66
2.5.4	Riego de sello.....	67

CAPITULO III

PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION.

3.1	Estructuras.....	68
3.2	Obras de drenaje.....	77
3.3	Terracerfas.....	83
3.3.1.	Cuerpo de las terracerfas.....	87
3.3.2.	Capa subrasante.....	91
3.4	Pavimento.....	93
3.4.1.	Pavimento flexible.....	94
3.4.1.1.	Sub-base.....	96
3.4.1.2.	Base.....	97
3.4.1.3.	Carpeta.....	103
3.4.1.4.	Riego de sello.....	107
3.4.2.	Pavimento rígido.....	111
3.4.2.1.	Sub-base.....	112
3.4.2.2.	Losa de concreto hidráulico.....	113

CAPITULO IV

CONTROL DE LA CALIDAD DURANTE LA CONSTRUCCION DE UNA CARRETERA.

4.1	Concepto de calidad.....	116
4.2	Mecanismos para el control de calidad que utiliza la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (S.C.T.).....	116
4.3	Control de calidad durante las etapas constructivas de una carretera.....	119
4.3.1.	Terreno de cimentación.....	121

4.3.2	Terracerías.....	121
4.3.3	Obras de drenaje.....	121
4.3.4	Pavimento.....	121
4.3.4.1	Control de calidad en pavimentos flexibles.....	126
4.3.4.2	Control de calidad en pavimentos rígidos.....	127
4.4	Productos asfálticos usados en la construcción de carreteras.....	128
4.4.1	Cementos asfálticos.....	128
4.4.2	Asfaltos rebajados.....	128
4.4.3	Emulsiones asfálticas.....	129
4.5	Control de calidad que se lleva a cabo en la construcción de la carpeta.....	130
4.5.1	Control de calidad en la construcción de la carpeta de mezcla as- fáltica.....	130
4.5.2	Control de calidad en la carpeta de riegos.....	132
4.5.3	Control de calidad en el riego de sello.....	132
4.6	Control de calidad en los trabajos de señalamiento y protección de una carretera.....	133
4.7	Control de calidad en la conservación de una carretera.....	133
4.8	Muestreo y análisis de los resultados de las pruebas.....	136
4.9	Aseguramiento de la calidad durante la construcción de una carre- tera.....	136

CAPITULO V

FALLAS QUE SE PRESENTAN EN UNA CARRETERA.

5.1	Fallas que se presentan en los pavimentos y causas que las origi- nan.....	142
5.1.1	Falla funcional.....	142
5.1.2	Falla estructural.....	143
5.2	Clasificación de los principales tipos de fallas que se presentan en los pavimentos.....	148

5.3	Causas que originan fallas en los pavimentos flexibles y rígidos y que no son atribuibles a éstos.....	150
5.4	Causas que producen fallas en los pavimentos flexibles y rígidos y que tienen su origen en los propios pavimentos.....	151
5.5	posible origen de las fallas en los pavimentos flexibles y criterios probables de reparación.....	155
5.6	Posible origen de las fallas en los pavimentos rígidos y criterios probables de reparación.....	163

CAPITULO VI

PROCEDIMIENTOS DE REHABILITACION DE UNA CARRETERA.

6.1	Procedimientos para la conservación y reconstrucción de los pavimentos de una carretera.....	167
6.2	Métodos de evaluación de pavimentos y rehabilitación.....	183

CONCLUSIONES

Conclusiones.....	195
-------------------	-----

BIBLIOGRAFIA

Bibliografía.....	200
-------------------	-----

INTRODUCCION

En cualquier actividad que se desarrolle es conveniente usar racionalmente los recursos disponibles para llevar a cabo dicha actividad. En la construcción de las vías terrestres en nuestro País es necesario tomar en consideración el cumplimiento de las normas y especificaciones establecidas, logrando así el funcionamiento y servicio adecuado con un alto grado de eficiencia. Debido a la situación de crisis que en nuestro País prevalece en los últimos años, agudizada aún más por la baja en el precio del petróleo en el mundo, ha sido necesario recortar el presupuesto asignado para la construcción de obras públicas en México; por ese motivo, en el ejercicio de los recursos financieros para la construcción de caminos se hace necesario que en los trabajos ejecutados y por ejecutar en los programas del gobierno federal y en los privados, exista un perfecto control de calidad, evitando con esto molestias en el uso del servicio, gastos mayores innecesarios y duplicidad de funciones.

El objetivo principal de esta tesis es tratar de aportar un apoyo académico a las diferentes áreas de la Ingeniería Civil relacionadas con la construcción, modernización y mantenimiento de una red de carreteras.

INFRAESTRUCTURA BASICA.-

En la actualidad, el rápido desarrollo en que se encuentra el País ha obligado al gobierno a buscar el máximo aprovechamiento de sus recursos en el menor tiempo y al menor costo, siendo necesario diagnosticar y planear todas sus actividades. Por lo tanto, para determinar las necesidades que se tienen para formar la red básica de carreteras, se debe tomar en cuenta el desarrollo de todos los sectores que integran la vida económica y social del País.

Tomando en consideración lo anterior, clasificaremos en tres grupos la red:

- 1.- Carreteras Federales.
- 2.- Carreteras Alimentadoras.
- 3.- Caminos de Acceso.

La función principal de las primeras es la de ligar con nuevas obras, modernizando o ampliando las actuales, los principales centros administrativos, sociales y económicos del País.

El segundo grupo lo forman las obras que por medio de nuevas vías o mejorando las actuales, le den vida a nuevos poblados y zonas importantes en los aspectos social y económico, creando así nuevos centros de producción y distribución que alimenten y ayuden al crecimiento de los anteriores centros. De ahí la importancia tan grande que tiene este tipo de vías.

Por último, los caminos de mano de obra o de acceso tienen en el aspecto social su principal fin, ya que contribuyen en forma decisiva a proporcionar a la mayoría de los habitantes del País la oportunidad de participar en los beneficios del progreso.

CAPITULO I

GENERALIDADES.

1.1 QUE ES UN CAMINO.

Adaptación de una faja sobre la superficie terrestre que llene las condiciones de anchura, alineamiento y pendiente, para permitir el rodamiento adecuado de los vehículos para los cuales ha sido acondicionada.

1.1.1 PARA QUE SIRVE UN CAMINO.

Un camino sirve para comunicar dos o más poblaciones entre si, lo cual permite establecer relaciones económicas, políticas, sociales y culturales entre ellas, logrando así elevar el nivel de vida de los habitantes de las regiones en estudio.

1.2 DATOS GENERALES SOBRE LOS CAMINOS EXISTENTES (KILOMETRAJE).

Red caminera nacional (miles de Kms). _____ 225.0

DISTRIBUCION:

De cuota _____	1.4
De altas especificaciones _____	0.8
Federales y Estatales _____	103.0
Caminos Rurales _____	90.0
Brechas _____	29.8
Núm. de puentes de peaje _____	33.0

1.2.1 ORGANISMOS QUE LOS CONSTRUYEN.

CENTROS SCT Y DIRECCIONES GENERALES DE LA S.C.T.

La Dirección del Centro SCT tiene como función principal controlar, programar y dirigir el desarrollo, aplicación y cumplimiento de los programas — de obras públicas de la Secretaría en el ámbito de cada Entidad Federativa, vigilando el cumplimiento de los proyectos y contratos aprobados; — asimismo, proporcionar los apoyos administrativos requeridos; coordinar y apoyar las actividades normativas de supervisión y control que requieran —

efectuar las Direcciones constructoras de la Secretaría, que son las responsables directas de la ejecución de las obras, y ejercer las demás facultades que le sean conferidas.

Existen otros organismos que por sus actividades se ven en la necesidad de construir caminos modestos, como los siguientes:

S.A.R.H., es una Secretaría que básicamente hace caminos que la llevan a los sitios donde construyen sus presas así como sus distritos de riego; estos caminos no son sofisticados, más bien son caminos de bajas especificaciones de construcción.

PEMEX, es otro de los organismos que efectúa la construcción de caminos porque es la manera de llegar a donde se encuentran pozos, gasoductos, oleoductos, así como también a los campamentos de la gente que labora en ellos.

C.F.E., es un organismo que contribuye en la construcción de brechas que posteriormente pueden servir como medios de comunicación de algunas regiones cercanas; lo hace así con el fin de llegar a sus torres de transmisión de energía, básicamente. Así mismo, construye caminos de acceso para sus presas hidroeléctricas, termoeléctricas, carboseléctricas, etc.

La Secretaría de la Defensa Nacional construye brechas muy modestas que le sirven para llegar a los lugares donde se encuentran plantíos de estupefacientes, dañinos a la sociedad.

TELMEX, es otro de los organismos que para lograr llevar los servicios telefónicos a los lugares más recónditos del País se vale de brechas para lograr que este medio de comunicación se amplíe.

1.3 CLASIFICACION DE CARRETERAS.

Existen tres importantes clasificaciones de carreteras y son:

- A) CLASIFICACION POR SU TRANSIBILIDAD: Esta corresponde a las etapas de construcción y se divide en:
- 1.- TERRACERIAS: Cuando se ha construido la sección de proyecto hasta su nivel de subrasante transitable en tiempo de secas.
 - 2.- REVESTIDA: Cuando sobre la subrasante se ha colocado una o varias capas de material granular y es transitable en todo tiempo.
 - 3.- PAVIMENTADA: Cuando sobre la subrasante se ha construido ya totalmente el pavimento.

La clasificación anterior es casi universalmente usada en Cartografía y se representa así:

CAMINO EN TERRACERIAS



CAMINO REVESTIDO



CAMINO PAVIMENTADO



B) CLASIFICACION POR SU ASPECTO ADMINISTRATIVO.

- 1.- FEDERALES: Costeadas integralmente por la Federación y se encuentran por lo tanto a su cargo.
- 2.- ESTATALES: Construidos por el sistema de cooperación a razón del 50% aportado por el Estado donde se construye y el 50% por la Federación; estos caminos quedan a cargo de las Juntas Locales de Caminos.
- 3.- VECINALES: Construidas con la cooperación de los vecinos beneficiados, pagando éstos un tercio de su valor, otro tercio lo aporta la Federación y el tercio restante el Estado. Su construcción y conservación se hace por intermedio de las Juntas Locales de Caminos.

4.- DE COTA: Estas quedan a cargo de la dependencia oficial descentralizada denominada Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos, siendo de inversión recuperable a través de cuotas de peaje.

C) CLASIFICACION TECNICA OFICIAL.

Esta clasificación permite distinguir en forma precisa la categoría física del camino, ya que toma en cuenta los volúmenes de tránsito sobre el camino. En México, La Secretaría de Comunicaciones y Transportes clasifica técnicamente a las carreteras de la manera siguiente:

- TIPO ESPECIAL: Para tránsito promedio diario anual superior a 3000 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 360 vehículos o más.
- TIPO A: Para un tránsito promedio diario anual de 1500 a 3000 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 180 a 360 vehículos.
- TIPO B: Para un tránsito promedio diario anual de 500 a 1500 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 60 a 180 vehículos.
- TIPO C: Para un tránsito promedio diario anual de 50 a 500 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 6 a 60 vehículos.

1.4 CAPACIDAD DE UN CAMINO.

El ingeniero necesita saber cuál es la capacidad práctica de trabajo de un camino, tanto para los nuevos que va a construir y en los cuales puede prever los volúmenes de tránsito que va a lojar, como para los caminos antiguos, los cuales pueden llegar a la saturación y entonces requieren la construcción de otro camino paralelo o el mejoramiento del camino existente. La capacidad práctica de trabajo de un camino es el volumen máximo

que alcanza antes de congestionarse o antes de perder la velocidad estipulada.

El Departamento de Caminos Federales de los Estados Unidos de América, indica que la capacidad práctica máxima total que puede alcanzar un camino de dos carriles es de 900 vehículos totales por hora; estos carriles con dimensiones de 3.66 m por carril.

La capacidad de una carretera se mide generalmente en vehículos por hora y por carril, o bien en vehículos por hora por ambos carriles, etc.

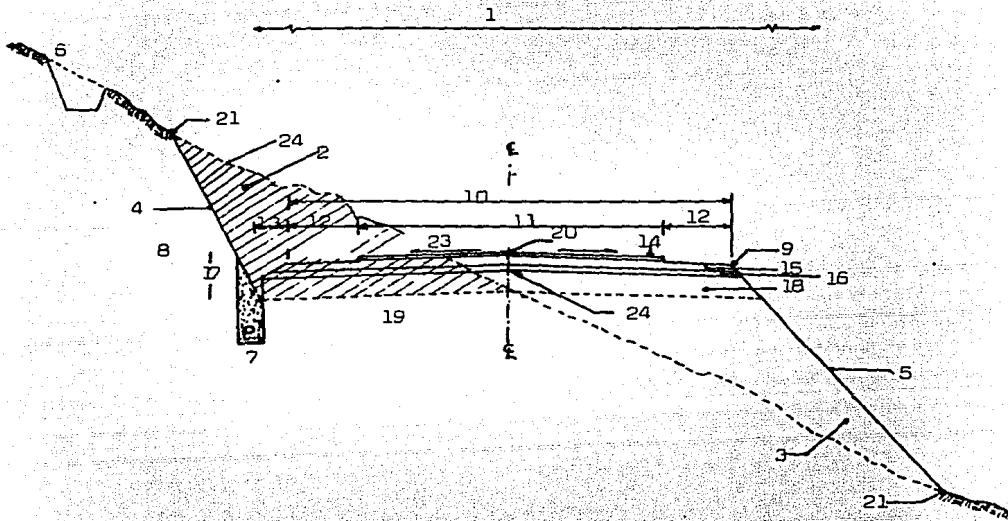
La capacidad teórica de un camino ha sido determinada tomando en cuenta — velocidades promedio entre 70 y 80 km por hora y separación entre vehículos de 30 m.

Como resultado de lo anterior, se ha obtenido una cifra cercana a los dos mil vehículos por hora, aplicando la fórmula: $Q = \frac{1000 \cdot V}{S}$ en la que V es la velocidad media de los vehículos en ese momento y S el intervalo medio entre ellos.

FACTORES QUE REDUCEN LA CAPACIDAD DE LAS CARRETERAS.—

Las condiciones más importantes que afectan la capacidad de las carreteras son: El ancho de la sección, visibilidad, pendientes, ancho de los acotamientos (hombros), porcentaje de vehículos pesados en la vía y la obstrucción lateral. Por lo tanto, cabe señalar que las capacidades en la realidad son menores que las antes mencionadas.

1.5 SECCION DE UN CAMINO



Sección transversal típica en una tangente del alineamiento horizontal,

- | | |
|-------------------------|---------------------------|
| 1.- DERECHO DE VIA. | 12.- ACOTAMIENTOS. |
| 2.- AREA DE CORTE. | 13.- ANCHO DE CUNETAS. |
| 3.- AREA DE TERRAPLEN. | 14.- CARPETA. |
| 4.- TALLO DE CORTE. | 15.- BASE. |
| 5.- TALLO DE TERRAPLEN. | 16.- SUB-BASE. |
| 6.- CONTRACUNETAS. | 17.- PROFUNDIDAD CUNETAS. |
| 7.- SUBDRENES. | 18.- CAPA SUBRASANTE. |
| 8.- CUNETAS. | 19.- TERRACERIAS. |
| 9.- HOMBROS. | 20.- RASANTE. |
| 10.- ANCHO DE CORONA. | 21.- CERO. |
| 11.- ANCHO DE CARPETA. | 22.- TERRENO NATURAL. |

23.- BOMBEO.

24.- SUBRASANTE.

1.6 ETAPAS SOBRE LA PLANEACION, PROYECTO, CONSTRUCCION Y OPERACION DE UNA CARRETERA.

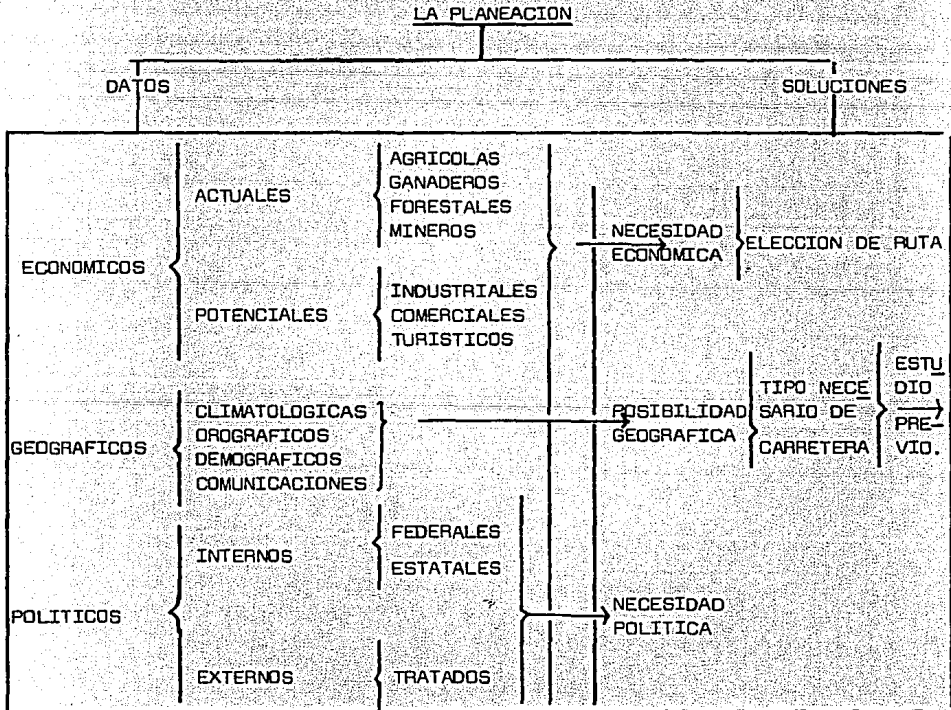
En el estudio de una carretera es necesario distinguir varias etapas — que a continuación se indican:

1.- PLANEACION	<ul style="list-style-type: none"> ESTUDIOS GEOGRAFICO-FISICOS. ESTUDIOS ECONOMICO-SOCIALES. ESTUDIOS POLITICOS.
2.- PROYECTO	<ul style="list-style-type: none"> ESTUDIOS TOPOGRAFICOS. ESTUDIOS DE MECANICA DE SUELOS. ESTUDIO DE ESTRUCTURAS.
3.- CONSTRUCCION	<ul style="list-style-type: none"> DIRECCION TECNICA. EJECUCION DE LA OBRA. CONTROL DE MECANICA DE SUELOS.
4.- USO	<ul style="list-style-type: none"> CONSERVACION. ESTUDIO DE TRANSITO. RECONSTRUCCION.

PLANEACION.-

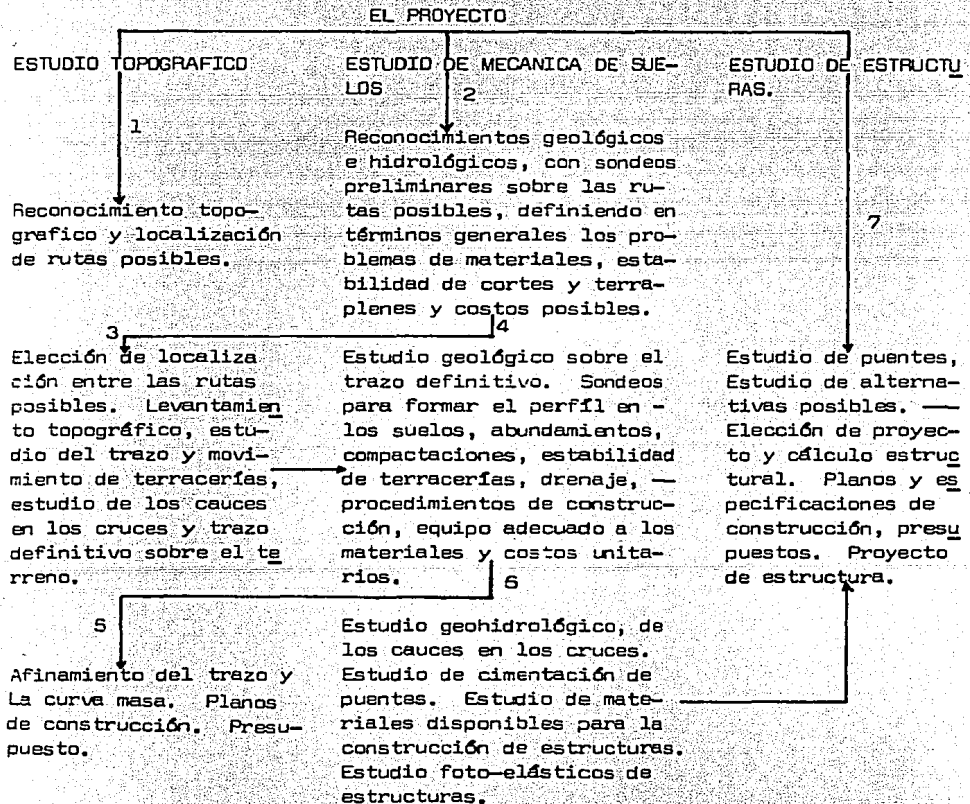
El proceso de la planeación consiste en un análisis documentado sistemático y tan cuantitativo como sea posible, previo al mejoramiento de una determinada situación.

Para cambiar cualquier situación previamente habrá que conocer tan ampliamente como sea factible la situación actual; no se podrá planear nada, si antes no se conoce el estado actual que guarda el problema por resolver.



PROYECTO.-

El proyecto se realiza a través de las tres partes en las que se divide: Estudios topográficos, estudios de mecánica de suelos y estudio de estructuras, tal como se muestra en el cuadro siguiente.



ESTUDIOS DE MECANICA DE SUELOS.-

Las muestras que fueron obtenidas durante el reconocimiento y que se enviaron a un laboratorio de mecánica de suelos, son inspeccionadas por el geólogo y por el ingeniero civil para hacerles las pruebas de clasificación petrográfica, granulometría, características plásticas, humedad en el lugar, etc., lo cual permite trazar un perfil geológico de las diversas rutas posibles de la localización. Con todos estos datos se puede elegir cuál de las alternativas es la más estable y económica.

ESTUDIOS ESTRUCTURALES.-

En esta parte se trata ampliamente lo relacionado al estudio de puentes, estudio de alternativas posibles. Elección de proyecto y cálculo estructural. Planos y especificaciones de construcción.

METODO DE ANALISIS PARA LA DETERMINACION DE ZONAS VITALES.

El método de planeación que se adopta para cada zona combina un procedimiento analítico con otro gráfico. El primero, un estudio socio-económico, tiene como objetivo describir y valorar las características de población, el grado de aprovechamiento de los recursos naturales, el rendimiento obtenido de las diversas actividades productivas y los niveles de consumo.

En cuanto a población se refiere, es necesario considerar sus tendencias generales de crecimiento, su distribución en núcleos urbanos, sub-urbanos o rurales, su estructura ocupacional y su repartición sobre la superficie considerada; el análisis económico, por otra parte, comprende los principales factores de la producción, la distribución y el consumo como son: agricultura, ganadería, silvicultura, pesca, minería, industria de transformación, actividades comerciales, crédito y hacienda, comunicaciones y transportes.

1.7 IMPORTANCIA DE LOS CAMINOS EN MEXICO.-

PRIMEROS ANDARES.-

Los caminos de los antiguos pobladores pretendieron unir los puntos más importantes de la región, en lo particular aquéllos por donde transitaban los cargamentos de cacao, algodón y otros artículos de vital interés. — Por ejemplo, en Oaxaca, el trayecto fundamental era el que une los lugares donde se asentaban las ramas gobernantes de los zapotecas, Zaachila y Tehuantepec, senda que pasa por Miahuatlán para tomar el rumbo de Huatulco y luego seguir sobre la costa hasta su destino final. Las caravanas de mercaderes desde luego, llevaban por sí o por medio de tamenes sus cargas. — Cuando el comercio se extiende hasta necesitar de una comunicación continua entre los reinos zapoteca y mexica, el camino adquiere preferencia en su conservación y arreglo. Dos trazos resultan los habituales: Uno, el de montaña, que sigue la cordillera por su cima hasta ser cortada por algún río que, traspuesto, le permite continuar por la sierra fronterera; el otro trazo es hecho en planicies facilitando de esta manera que el camino se realice, arregle o conserve con mayor prontitud por su gran regularidad de terreno.

El camino alto es preferido para desenvolver las empresas guerreras, evitando así sorpresas y emboscadas; el camino paralelo al río es más estimado por los mercaderes, dada su cercanía al agua, la sombra que evita la fatiga y lo plano de su desarrollo. Los vecinos son los encargados de su cuidado. El trazo ocupa un declive no muy pronunciado, salvando los pasos difíciles de la manera más hábil; tan es así, que en el momento de la Conquista éstos sirven de paso a los caballos. Los ríos tienen acceso por los lugares donde el terreno presenta una irregularidad en forma de canal, o por sitios estrechos sobre barrancas, que pueden cruzarse con puentes de hamaca, colgantes y resistentes.

En el siglo X, A.C., los caminos blancos que los mayas construyeron en la Península de Yucatán y las calzadas de la gran Tenochtitlan muestran la calidad y adelanto de los constructores de la época y al mismo tiempo el grado de desarrollo de los pueblos, que tomaban conciencia de que integrarse en una comunidad mayor, conducía a constituirse en una sociedad superior.

Las soluciones que abrieron la puerta a la edad del automóvil y entre las cuales destaca la progresiva aparición de una buena red de caminos pavimentados, significaron que un sector de la población cada vez mayor pudo contar con una forma de transporte confiable, agradable y conveniente; — disponible de día y de noche.

El resultado ha sido que la superficie de la Tierra se ha transformado, — con una habilitación de veinte millones de kilómetros de carreteras.

En los países en desarrollo, el impacto de la carretera es definitivo; su presencia, junto con la del vehículo automotor, está haciendo sentir sus efectos en la promoción del cambio social, para incorporar al progreso a los grupos más necesitados.

Las carreteras del futuro se caracterizarán por pendientes y curvas muy — suaves, uso generalizado de túneles y viaductos, dispositivos de seguridad, así como elementos de distracción y descanso para el conductor, y — sistemas informativos que faciliten y optimicen las decisiones tomadas — por el usuario.

La integración de la carretera al medio ambiente natural será cada vez — más importante en la localización, trazo y construcción.

Los sistemas microelectrónicos para facilitar la construcción y para preve— nir de cualquier situación anormal o de emergencia, serán de uso corrien—

te, así como la iluminación para el tránsito nocturno.

La presencia de los elementos de la vida urbana tales como paradores, restaurantes, zonas de servicio, harán de la carretera del mañana una calle cómoda y familiar para todos sus usuarios. Los países en desarrollo deben aceptar el reto de planear y resolver sus propios problemas; una preocupación básica debe ser conservar adecuadamente los sistemas de caminos existentes y extender las redes para beneficiar a toda la población del mundo.

En México actualmente la red de carreteras y caminos es de 225 000 km y se calcula que para el año 2000 habrá rebasado los 500 000 km, con un sistema de autopistas de casi 20 000 km y un conjunto de caminos alimentadores y locales, construidos con tecnología apropiada, cubrirán todo el territorio nacional.

A ese ritmo de crecimiento se requieren actualmente datos recientes sobre la red de caminos que comunican al territorio nacional; la planeación debe responder a las necesidades de la economía nacional para el adecuado aprovechamiento de los recursos materiales, a efecto de incorporar al desarrollo nacional a todas aquellas regiones que por su aislamiento o falta de comunicación se encuentren al margen de ese desarrollo.

El principal organismo público federal de la actual Administración, que se dedica a la construcción de caminos en México es la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Su estructura orgánica está constituida de tal manera que cuenta con los medios suficientes, tanto técnicos como administrativos, para la construcción de dichas obras. La Subsecretaría de Infraestructura de la citada Dependencia dirige, controla y evalúa el funcionamiento de las distintas Direcciones Constructoras de obras que integran esta Secretaría, pudiendo citarse primeramente la siguiente: La Dirección General de Carreteras Federales que tiene como función principal programar y controlar la construcción, modernización y reconstrucción de

carreteras y puentes federales e internacionales, incluyendo sus obras conexas y accesorias. Otra de las dependencias que integran a esta Subsecretaría es la Dirección General de Caminos Rurales que tiene como función — planear, dirigir y controlar la elaboración y ejecución de los programas — de construcción de caminos para el desarrollo rural, establecer los lineamientos al respecto y promover el aprovechamiento de los recursos locales. La Dirección General de Carreteras en Cooperación, tiene como función principal la de orientar y controlar la correcta integración, manejo y ejecución de los fondos cooperativos asignados a las Juntas Locales de Caminos de los Estados, así como intervenir en la programación, proyecto, construcción y conservación de caminos y puentes que se realicen en cooperación — con los gobiernos de los propios estados, municipios o particulares y en los concursos para el otorgamiento de contratos de obra. La Dirección General de Conservación de Obras Públicas tiene a su cuidado mantener en buenas condiciones de servicio tanto las carreteras federales como los caminos rurales.

CAPITULO II

NORMAS QUE DEBEN CUMPLIR LOS MATERIALES QUE SE EMPLEAN EN LA CONSTRUCCION DE UNA CARRETERA.

2.1 MATERIALES PARA ESTRUCTURAS Y TUNELES.-

En cada caso particular el proyecto fijará los requisitos que deben reunir los materiales que se emplean en la construcción de estructuras y túneles. Sin embargo, es conveniente hacer algunos comentarios en relación con las condiciones de uso de los materiales, como el cemento Portland, los agregados y el acero de refuerzo.

El cemento Portland es el producto que se obtiene de la pulverización del clinker, el cual está constituido esencialmente por silicatos de calcio - adicionado de lo siguiente:

- a) Agua y/o sulfato de calcio no tratado, en proporciones tales que se cumplan los requisitos químicos relativos a las cantidades máximas de anhídrido sulfúrico y pérdida por calcinación.
- b) Se podrán adicionar otros materiales en el proceso de fabricación del cemento Portland, siempre que no sean perjudiciales y no afecten las propiedades químicas y físicas prescritas.

El Cemento Portland se clasifica en los siguientes tipos:

Tipo I.- Para usarse en construcciones de concreto en general, cuando no requieran las propiedades especiales señaladas para los tipos - II, III, IV y V.

Tipo II.- Para usarse en construcciones de concreto expuestas a la acción moderada de sulfatos o cuando se requiera generación moderada - de calor de hidratación.

Tipo III.- Para usarse en construcciones de concreto cuando se requiera - alta resistencia, a corta edad.

Tipo IV.- Para usarse en construcciones de concreto cuando se requiera - bajo calor de hidratación.

Tipo V.- Para construcciones que requieran alta resistencia a la acción de los sulfatos.

Cuando el proyecto no indique el tipo de cemento que debe usarse en cada caso, se entenderá que se trata de cemento Portland Tipo I. El cemento Portland de cada uno de los cinco tipos, deberán satisfacer los requisitos físicos y químicos respectivos que se fijan en las tablas. Ver tablas N^{os}. 1 y 2.

Cuando exista la posibilidad de que los agregados del concreto puedan reaccionar con el cemento Portland, se deberán fijar cementos que contengan un mínimo (0.60%) de álcalis. Los álcalis se consideran como la suma del porcentaje de óxido de sodio (Na_2O) más (0.658) del porcentaje de óxido de potasio (K_2O), contenida en el cemento Portland.

El cemento Portland puzolánico tipo IP es una mezcla de cemento Portland o Portland de escorias de altos hornos y material puzolánico clase N: Como algunas tierras diatomeas, horstemos opalinos, pizarras, tobas, cenizas volcánicas o pumfticas. Clase F: Cenizas volátiles de carbón. Clase S: - Pómez procesadas, algunas pizarras, arcillas o diatomitas, calcinadas. Dicha mezcla puede obtenerse moliendo clinker de cemento de algunos de los tipos citados, junto con el material puzolánico fino o mediante el mezclado uniforme del cemento con la puzolana fina. El contenido del material puzolánico no será menor de (15%) ni mayor de 40%, en peso, del cemento Portland puzolánico. El material puzolánico es un material silicoso o silico aluminoso, que posee por sí mismo poco o ningún valor cementante pero que finamente molido y en presencia de humedad, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio a temperaturas ordinarias, para formar compuestos con propiedades cementantes.

El material puzolánico que se mezcla con el cemento Portland de escorias -

TABLA NUM. 1 - REQUISITOS QUIMICOS

COMPONENTES	TIPO				
	I	II	III	IV	V
Bióxido de silicio (SiO ₂), mínimo, por ciento.....		21.0			
Oxido de aluminio (Al ₂ O ₃), máximo, por ciento.....		6.0			
Oxido férrico (Fe ₂ O ₃), máximo, por ciento.....		6.0		6.5	
Oxido de magnesio (MgO), máximo, por ciento.....	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Trióxido de azufre (SO ₃):					
Cuando 3CaO.Al ₂ O ₃ es 8% o menor, máximo, por ciento.....	2.5	2.5	3.0	2.3	2.3
Cuando 3CaO.Al ₂ O ₃ es mayor de 8%, máximo, por ciento.....	3.0		4.0		
Pérdida por calcinación, máximo, por ciento.....	3.0	3.0	3.0	2.5	3.0
Residuo insoluble, máximo, por ciento.....	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Silicato tricálcico (3CaO.SiO ₂) (a), máximo por ciento.....				35	
Silicato dicálcico (2CaO.SiO ₂) (a), mínimo por ciento.....				40	
Aluminato tricálcico (3CaO.Al ₂ O ₃) (a), máximo, por ciento...		8	(b) 15	7	5
Suma de silicato tricálcico y aluminato tricálcico, máximo, por ciento.....	(c)	58			
Ferroaluminato tetracálcico más dos veces el aluminato tricálcico (a) (4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃ +2(3CaO.Al ₂ O ₃) o solución — sólida (4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃ +2CaO.Fe ₂ O ₃) como se indica posteriormente, máximo, por ciento.....					20

(a) El expresar limitaciones químicas por medio de compuestos que se suponen calculados, no significa necesariamente que los óxidos estén real o totalmente presentes como tales. Cuando la relación de los porcentajes de óxido de aluminio o óxido férrico sea de 0.64 o más, los porcentajes de silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico y ferroaluminato tetracálcico, serán calculados a partir de los resultados del análisis químico, en la forma siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Silicato tricálcico} &= (4.071 \times \% \text{CaO}) \\ &= (7.600 \times \% \text{SiO}_2) \end{aligned}$$

	- (6.718 x % Al_2O_3)
	- (1.430 x % Fe_2O_3)
	- (2.852 x % SO_3)
Silicato dicálcico	= (2.867 x % SiO_2)
	- (0.7544 x % C_3S)
Aluminato tricálcico	= (2.650 x % Al_2O_3)
	- (1.692 x % Fe_2O_3)
Ferroaluminato tetracálcico	= (3.043 x % Fe_2O_3)

Quando la relación de los porcentajes de óxido de aluminio a óxido férrico sea menor de 0.64, se formará una solución sólida de ferroaluminato de calcio expresado como $ss(C_4AF + C_2F)$. En este caso los contenidos de esta solución sólida y el silicato tricálcico se calcularán como sigue:

$ss(C_4AF + C_2F)$	= (2.100 x % Al_2O_3)
	+ (1.702 x % Fe_2O_3)
Silicato tricálcico	= (4.071 x % CaO)
	- (7.600 x % SiO_2)
	- (4.479 x % Al_2O_3)
	- (2.859 x % Fe_2O_3)
	- (2.852 x % SO_3)

En cementos que tengan esta última relación de óxidos, no se formará aluminato tricálcico y el silicato dicálcico se calculará como queda indicado anteriormente. El reporte del análisis químico de los cementos se hará con aproximación de un centésimo por ciento (0.01%). El reporte del cálculo de los compuestos químicos que resulten, se hará con aproximación de un décimo por ciento (0.1%).

- (b) Cuando se requiera resistencia moderada a los sulfatos en el cemento Portland tipo III, el aluminato tricálcico no deberá ser mayor de ocho por ciento (8%) y si se requiere alta resistencia a los sulfatos en dicho cemento, el aluminato tricálcico no deberá ser mayor del cinco por ciento (5%).
- (c) Cuando no se especifiquen pruebas para la determinación del calor de hidratación y se use cemento — Portland tipo II, se aplicará el valor señalado en la tabla.

TABLA NUM. 2
REQUISITOS FISICOS.

REQUISITOS	TIPO				
	I	II	III	IV	V
Finura, superficie específica, cm^2/g (métodos optativos)(a)					
Prueba con el Turbidímetro de Wagner:					
Valor promedio, mínimo.....	1 600	1 600		1 600	1 600
Valor mínimo en cualquier muestra.....	1 500	1 500		1 500	1 500
Prueba de permeabilidad de aire con el aparato Blaine:					
Valor promedio, mínimo.....	2 800	2 800		2 800	2 800
Valor mínimo en cualquier muestra.....	2 600	2 600		2 600	2 600
Sanidad:					
Expansión en autoclave, máximo, por ciento.....	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Tiempo de fraguado (métodos optativos) (b)					
Prueba de Gillmore:					
Fraguado inicial en minutos, no menos de	60	60	60	60	60
Fraguado final en horas, no más de.....	10	10	10	10	10
Prueba de Vicat:					
Fraguado en minutos, no menos de.....	45	45	45	45	45
Contenido de aire del mortero, por ciento en volumen, no mayor de.....	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
Resistencia a la compresión, en kg/cm^2 (c):					
La resistencia a la compresión en cubos de mortero compuesto de una (1) parte de cemento y dos partes de arena graduada, en peso, será igual o mayor que los valores especificados para las edades indicadas a continuación:					
Un (1) día en aire húmedo.....			120		
Un (1) día en aire húmedo y dos (2) días en agua....	85	70	210		
Un (1) día en aire húmedo y seis (6) días en agua...	150	130		56	105
Un (1) día en aire húmedo y veintisiete (27) días en agua.....	245	245		140	210

REQUISITOS FISICOS
(continuación)

REQUISITOS	T I P O				
	I	II	III	IV	V
Resistencia a la tensión, en kg/cm ² (c)					
La resistencia a la tensión en briquetas de mortero compuesto de una(1) parte de cemento y tres(3) partes de arena - estándar en peso, será igual o mayor que los valores especificados para las edades indicadas a continuación:					
Un (1) día en aire húmedo.....			19		
Un (1) día en aire húmedo y dos(2) días en agua.....	10	9	26		
Un (1) día en aire húmedo y seis(6) días en agua.....	19	18	(c)	12	18
Un (1) día en aire húmedo y veintisiete(27) días en agua	25	23	(c)	21	23
Calor de hidratación en calorías por gramo, a las edades indicadas a continuación: (d)					
Siete (7) días, máximo.....		70			
veintiocho (28) días, máximo.....		80			
Falso fraguado, penetración final, mínimo, por ciento (e)....	50	50	50	50	50

- (a) Puede usarse cualquiera de los dos(2) métodos optativos de finura a elección de la Secretaría. Sin embargo, en caso de desacuerdo o cuando la muestra no cumpla con los requisitos señalados para la prueba con el aparato de Blaine, se usará el turbidímetro de Wagner y regirán los requisitos señalados en este inciso, para este método.
- (b) La Secretaría deberá especificar el tipo de prueba de tiempo de fraguado requerido. En caso de no especificarlo o de desacuerdo, únicamente se considerarán válidos los resultados de la prueba de Vicat.
- (c) La Secretaría deberá especificar el tipo de prueba de resistencia requerido. En caso de que no lo especifique, únicamente regirán los requisitos de la prueba de resistencia a la compresión. La resistencia a cualquier edad será mayor que la obtenida a la edad inmediata anterior. A menos que se especifique otra cosa, las pruebas de resistencia a la tensión y a la compresión para los tipos de cemento I y II, se harán únicamente a los tres (3) y a los siete (7) días. Si a petición de la Secretaría, se requiere una prueba a los siete (7) días en un cemento tipo III, la resistencia a dicha edad será más alta que la correspondiente a los tres (3) días.
- (d) Estos requisitos se exigirán únicamente cuando la Secretaría lo solicite. Cuando se especifiquen los requisitos de calor de hidratación, la resistencia requerida para el tipo II deberá ser del ochenta por ciento (80%) de todos los valores consignados en la tabla.
- (e) Estos requisitos se aplicarán únicamente cuando la Secretaría lo requiera.

de altos hornos, para producir cemento Portland puzolánico, deberá cumplir con lo siguiente:

A) Requisitos físicos:

Finura: Retenido por vía húmeda en la malla Núm. 325 (44 micras), en por ciento, máximo 12.0

Prueba de Actividad Puzolánica: resistencia del material puzolánico, en kg/cm^2 , mínimo..... 55.0

B) Cuando el cemento Portland puzolánico se obtenga mediante la molienda conjunta del material puzolánico como los citados en la clase "N", "S" y "F" y el clinker de cemento Portland y dicha puzolana no cumpla con los requisitos de finura descritos en el inciso A) anterior, deberá molerse en el laboratorio para que los cumpla antes de que se emplee en la prueba de actividad puzolánica.

El cemento Portland puzolánico tipo IP, cumplirá los requisitos químicos siguientes:

Oxido de magnesio (Mg O), máximo % 5.0

Trióxido de azufre (SO_3), máximo % 4.0

Pérdida por calcinación, máximo % 5.0

El cemento Portland puzolánico tipo IP, deberá satisfacer los requisitos físicos que se fijan en la tabla Núm. 3

El cemento Portland puzolánico que permanezca almacenado a granel más de 6 meses o almacenado en sacos más de tres meses, después del reporte de las pruebas de control correspondientes, deberá ser muestreado y probado nuevamente antes de usarlo.

El cemento Portland de escorias de altos hornos tipo IE es una mezcla de clinker de cemento Portland y escorias granuladas de altos hornos, molidos conjuntamente o una mezcla uniforme de cemento Portland y escorias de altos hornos, molida finamente. El contenido de escorias de altos —

TABLA NUM. 3

CONCEPTOS	Tipo IP
Finura: Retenido por vía húmeda en la malla Núm. 325 (44 micras), por ciento, máximo.... Superficie específica determinada mediante el aparato de permeabilidad de aire (Blaine) cm^2/g : (a) Valor promedio, mínimo..... Valor mínimo en cualquier muestra.....	12.0 2 800 2 600
Sanidad: Expansión o contracción en autoclave, por ciento, máximo (b).....	0.50
Tiempo de fraguado, en la prueba de Vicat: Fraguado inicial en minutos, no menos de. Fraguado final en horas, no más de	45 7
Contenido de aire en el mortero, por ciento en volumen, máximo.....	12.0
Resistencia a la compresión en kg/cm^2: La resistencia a la compresión en cubos de mortero compuestos de una (1) parte de cemento y dos punto setenta y cinco (2.75) partes en peso de arena graduada, será igual o mayor que los valores especificados para las edades indicadas a — continuación: Un (1) día en aire húmedo y dos (2) días en agua.....	85

- (a) Estos requisitos se aplicarán cuando la Secretaría lo indique en — cada caso particular.
- (b) La muestra permanecerá compacta, dura y no mostrará signos de distorsión, ruptura, grietas, agujeros o desintegración, cuando se ha ya sometido a la prueba de expansión en autoclave.

hornos no será menor de 25% ni mayor del 65%, en peso, del cemento Portland de escorias de altos hornos.

El cemento Portland de escorias de altos hornos tipo IE, cumplirá con los - requisitos químicos siguientes:

Trióxido de azufre (SO_3)	% máximo	.....	3.0
Azufre de sulfuros (S)	% máximo	.....	2.0
Residuo insoluble	% máximo	.....	1.0
Pérdida por calcinación	% máximo	.....	3.0

El cemento Portland de escorias de altos hornos tipo IE, deberá satisfacer los requisitos físicos que se fijan en la tabla siguiente. Ver tabla Núm. 4.

C) Las puzolanas son materiales silicosos o sílico aluminosos que poseen - poco o ningún valor cementante por sí mismos, pero que finalmente pulve rizados y en presencia de humedad, reaccionan químicamente con el hidró xido de calcio a la temperatura ambiente para formar compuestos con pro piedades cementantes.

Las puzolanas se dividen en tres clases:

- A) Puzolanas de clase N; éstas se encuentran en estado nativo o calcinadas pudiendo ser pizarras, tobas, cenizas volcánicas o pumíticas.
- B) Puzolanas de clase F; son las cenizas volátiles finamente divididas, -- obtenidas como residuo de la combustión del carbón o de algunas tierras que son transportadas de la cámara de combustión por los gases de esca- pe.
- C) Puzolanas de clase S, que pueden ser ciertas pómez procesadas y algunas pizarras, arcillas o diatomitas, calcinadas.

Las puzolanas deberán cumplir con los requisitos químicos fijados en la -- siguiente tabla Núm. 5

TABLA NUM. 4

CONCEPTOS	TIPO IE
Finura:	
Retenido por vía húmeda en la malla Núm. 325 (44 micras), por ciento, máximo.....	12
Superficie específica determinada mediante el aparato de permeabilidad de aire (Blaine) cm ² /g: (a)	
Valor promedio, mínimo.....	2 800
Valor mínimo en cualquier muestra.....	2 600
Sanidad:	
Expansión o contracción en autoclave, por ciento, máximo (b).....	0,20
Tiempo de fraguado, en la prueba de Vicat:	
Fraguado inicial en minutos, no menos de	45
Fraguado final en horas, no más de	7
Contenido de aire en el mortero, por ciento en volumen, máximo.....	12,0
Resistencia a la compresión, en kg/cm²:	
La resistencia a la compresión en cubos - de mortero compuestos de una (1) parte de cemento y dos punto setenta y cinco (2.75) partes en peso de arena estándar graduada será igual o mayor que los valores especificados para las edades indicadas a continuación:	
Un (1) día en aire húmedo y dos (2) días en agua.....	85
Un (1) día en aire húmedo y seis (6) días en agua.....	150
Un (1) día en aire húmedo y veintisiete (27) días en agua.....	245
Calor de hidratación en calorías gramo, para las edades indicadas a continuación: (c)	
Siete (7) días, máximo.....	70
Veintiocho (28) días, máximo.....	80

- (a) Estos requisitos se aplicarán cuando la Secretaría lo indique en cada caso particular.
- (b) La muestra permanecerá compacta, dura y no mostrará signos de desintegración, cuando se haya sometido a la prueba de expansión en autoclave.
- (c) Aplicarle únicamente cuando se especifique calor moderado de hidratación, en cuyo caso, los requisitos de resistencia a la compresión de berán reducirse al 80% de los que aparecen en la tabla.

TABLA NUM. 5

CONCEPTOS	CLASE DE PUZOLANA		
	N	F	S
Sflice más alúmina más óxido férrico ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$), en por ciento, mínimo.....	70.0	70.0	70.0
Óxido de magnesio (MgO), en por ciento, máximo.....	5.0		5.0
Trióxido de azufre (SO_3), en por ciento, máximo.....	3.0	5.0	3.0
Humedad, en por ciento, máximo.....	3.0	3.0	3.0
Pérdida por ignición, en por ciento, máximo.....	10.0	12.0	10.0
Alcalis disponibles como óxido de sodio (Na_2O), en por ciento, máximo (a).....		1.5	1.5

(a) Aplicable solo cuando se usen con agregados reactivos y se requiera que el cemento tenga limitación en el contenido de álcalis, a juicio de la Secretaría.

También deberán cumplir con los requisitos físicos siguientes: Ver tabla Núm. 6.

El uso de las puzolanas en la mayoría de los casos, logrará incrementar la cantidad requerida de un producto inductor de aire para producir un concreto con cierto contenido de aire. Algunos agentes inductores de aire contienen sustancias que aceleran o retardan el fraguado y la velocidad de endurecimiento del concreto.

La cantidad óptima de puzolana para un proyecto en particular, se determinará por las características del concreto y sus constituyentes y se establecerá por investigación.

D) El agua que se use deberá satisfacer los requisitos indicados a continuación o los que en cada caso fije el proyecto. El agua que se emplea en la elaboración de concreto deberá estar libre de materias perjudiciales, ta—

TABLA NUM. 6

CONCEPTOS	CLASE DE PUZOLANA		
	N	F	S
Finura:			
Area superficial, en centímetros cuadrados entre centímetros cúbicos, mínimo	12 000	6 500	6 500
Retenido por vía húmeda en la malla Núm. 325, en por ciento, máximo.....	12.0		
Resistencia a la compresión en cubos de mortero, en por ciento respecto al — espécimen patrón:			
A siete(7) días, mínimo.....		100	100
A veintiocho(28) días, mínimo.....		100	100
Índice de actividad puzolánica: (a) Con cemento Portland, a veintiocho (28) días en por ciento respecto al espécimen patrón, mínimo.....	75	85	85
Con cal, a siete (7) días, en kilogramos por centímetro cuadrado, mínimo.	55	55	55
Agua requerida, en por ciento respecto al espécimen patrón, máximo.....	115	105	105
Incremento en la contracción por secado — de barras de mortero, a veintiocho (28) días, en por ciento, máximo.....	0.03	0.03	0.03
Sanidad: (b)			
Expansión o contracción en autoclave, en por ciento, máximo.....	0.05	0.05	0.05
Aire incluido en el concreto (c), con relación al espécimen patrón, máximo....	(d) 2.0		
Requisitos de homogeneidad:			
La superficie específica y la densidad de muestras individuales no deberán variar del promedio establecido por las diez (10), muestras anteriores o por todas ellas si son menor de diez (10), en más de:			
Superficie específica, variación respecto al promedio, en por ciento, máximo.....	15	15	15
Densidad, variación respecto al promedio, en por ciento, máximo.....	5	5	5

Como complemento cuando se especifique concreto con aire incluido, la cantidad de agente inclusor de aire requerido para producir un contenido de aire de dieciocho por ciento (18 %) en volumen del mortero, no deberá variar del promedio establecido por las diez (10) pruebas anteriores o por todas ellas si son menores de diez (10), en más de, en por ciento...	20	20	20
Reactividad con los álcalis del cemento: (e)			
Reducción en la expansión del mortero, a los catorce (14) días en por ciento, mínimo.....	75		
Expansión del mortero, a los catorce (14) días, en por ciento, máximo.....	0.020	0.020	0.020

- (a) Ninguno de los dos (2) índices de actividad puzolánica deben considerarse como una medida de la resistencia a la compresión del concreto que contenga puzolana. El índice con cemento Portland se determina en una prueba acelerada y su objeto es valuar la contribución que se espera de la puzolana en el desarrollo de una mayor resistencia del concreto.
- (b) El espécimen debe permanecer compacto y duro y no mostrar distorsión, agrietamiento, porosidades o desintegración, cuando se someta a la prueba de expansión en autoclave.
- (c) Aplicable sólo si se indica concreto con aire incluido. El contenido de aire recomendado es adecuado para el concreto que pueda estar sujeto a congelación y deshielo.
- (d) Si se excede de este límite, la mezcla de prueba deberá cumplir con lo indicado en la cláusula 96-09.
- (e) Las pruebas indicadas para la reactividad con los álcalis del cemento son optativas y sus requisitos alternos deberán aplicarse solamente a petición de la Secretaría; dichos requisitos serán necesarios solamente cuando se empleen puzolanas junto con agregados que tengan potencialidad para reaccionar con los álcalis del cemento.

les como el aceite, grasas, etc. Deberá satisfacer los siguientes requisitos químicos:

A) Agua de composición:

Sulfatos (convertidos a Na_2SO_4) máximo.....	1000 P.P.m.
Cloruros (convertidos a Na Cl) máximo.....	1000 P.P.m.
Materia orgánica (óxido consumido en medio ácido) máximo.....	50 P.P.m.
Turbiedad, máximo.....	1500 P.P.m.

B) Agua para el curado y para lavado de agregados:

Sulfatos (convertidos a Na_2SO_4) máximo.....	1500 P.P.m.
Cloruros (convertidos a Na Cl) máximo.....	2000 P.P.m.

El contenido de impurezas deberá ser tal, que no produzca un incremento mayor del 25% en el tiempo de fraguado, en comparación el determinado con agua destilada.

MATERIALES PÉTREOS PARA CONCRETO.

Los materiales pétreos que se usan en la elaboración de concreto se clasifican en agregados finos y gruesos. El agregado fino deberá cumplir los siguientes requisitos:

A) DE GRANULOMETRIA:

1) Estará comprendida entre los siguientes límites:

	<u>MALLAS</u>	<u>% QUE PASA</u>
3/8"	(9.51 mm)	100
Núm. 4	(4.760 mm)	95 a 100
Núm. 8	(2.380 mm)	80 a 100
Núm. 16	(1.190 mm)	50 a 85
Núm. 30	(0.595 mm)	25 a 60
Núm. 50	(0.297 mm)	10 a 30
Núm. 100	(0.149 mm)	2 a 10

- 2) Los porcentajes mínimos especificados en la tabla anterior para el material que pasa las mallas Núms. 50 y 100 pueden reducirse a (5) y a cero (0) respectivamente, si el agregado va a ser empleado en concretos — con aire incluido con un contenido de cemento de más de 250 kg/m³, o en concretos sin aire incluido con un contenido de cemento mayor de 300 — kg/m³. Se considera como concreto con aire incluido, el obtenido mediante el empleo de un agente inclusor de aire y con un contenido de aire — mayor de 3%.
- 3) El agregado fino no deberá tener más del 45% retenido entre 2 mallas consecutivas de las mencionadas en la tabla de arriba y su módulo de finura no deberá ser menor de 2.30 ni mayor de 3.10.
- 4) Si el módulo de finura varía en más de (0.20) del valor empleado en el — cálculo de las proporciones del concreto, se harán los ajustes necesarios en dichas proporciones, para compensar las variaciones de composición granulométrica.

B) DE CONTENIDO DE SUBSTANCIAS PERJUDICIALES:

- 1) Estará comprendido dentro de las tolerancias siguientes:

SUBSTANCIAS PERJUDICIALES.	PORCENTAJE MAXIMO EN PESO DE LA MUESTRA TOTAL
Partículas delezna <u>bles</u>	1.0
Material que pasa la malla N <u>úm.</u> 200:	
Para concretos sujetos a desgast <u>e</u>	3.0
Para concretos de cualquier otro tipo.....	5.0
Carbón y lignit <u>o</u> :	
Para concretos aparent <u>es</u>	0.5
Para concretos de cualquier otro tipo.....	1.0

El agregado grueso podrá ser grava natural, grava triturada o escorias de —

altos hornos enfriadas en aire o una combinación de dichos materiales, que satisfagan los requisitos que se fijan a continuación.

A) DE GRANULOMETRIA.- Indicados en la tabla Núm. 7

Seleccionando una adecuada granulometría de los materiales pétreos, la superficie de rodamiento podrá tener una textura que la haga resistente al deslizamiento, teniendo como resultado una mayor seguridad para los conductores.

B) DE CONTENIDO DE SUBSTANCIAS PERJUDICIALES:

1) Estará comprendido dentro de las tolerancias siguientes: Ver tabla Núm. 8

ACERO DE REFUERZO.

Por lo que respecta al acero, puede decirse que casi todas las estructuras requieren de materiales metálicos, principalmente de hierro y acero; sin embargo el hierro no se encuentra puro en la naturaleza, sino que se haya mezclado en forma de óxidos. La utilización del hierro requiere de procesos especiales para eliminar todo tipo de impurezas.

Por otro lado, el acero es un producto derivado del hierro relativamente puro; para su obtención es necesario combinarlo además con carbono y cantidades mínimas de magnesio, fósforo, azufre, silicio, etc.

Por medio de ensayos de laboratorio se han obtenido las curvas llamadas de esfuerzo - deformación del acero. Tienen una gran importancia, puesto que de esas gráficas podemos definir las principales características de este material metálico, como el límite de fluencia que es el punto en donde el acero cambia del estado elástico al estado plástico, es decir, es el punto donde empieza a fluir el acero.

Resistencia al esfuerzo cortante: 75% de la resistencia a tensión:

Módulo de elasticidad 2×10^6 kg/cm²

TABLA NUM. 7

TAMAÑO NOMINAL	POR CIENTO EN PESO QUE PASA POR LAS MALLAS												
	4" 101.6 mm	3½" 90.5 mm	3" 76.1 mm	2½" 64.0 mm	2" 50.8 mm	1½" 38.1 mm	1" 25.4 mm	¾" 19.0 mm	½" 12.7 mm	⅜" 9.51 mm	Núm. 4 4.75 mm	Núm. 8 2.38 mm	Núm. 16 1.19 mm
88.9 mm a 38.1 mm	100	90 a		25 a		0 a		0 a					
3½" a 1½"		100		60		15		5					
64.0 mm a 38.1 mm			100	90 a	35 a	0 a		0 a					
2½" a 1½"				100	70	15		5					
50.8 mm a 4.75 mm				100	95 a		35 a		10 a		0 a		
2" a Núm. 4					100		70		30		5		
38.1 mm a 4.75 mm					100	95 a		35 a		10 a	0 a		
1½" a Núm. 4						100		70		30	5		
25.4 mm a 4.75 mm						100	95 a		25 a		0 a	0 a	
1" a Núm. 4							100		60		10	5	
19.0 mm a 4.75 mm								100		20 a	0 a	0 a	
¾" a Núm. 4										55	10	5	
12.7 mm a 4.75 mm								100	90 a	40 a	0 a	0 a	
½" a Núm. 4									100	70	15	5	
9.51 mm a 2.38 mm									100	85 a	10 a	0 a	0 a
⅜" a Núm. 8										100	30	10	5
50.8 mm a 25.4 mm				100	90 a	35 a	0 a		0 a				
2" a 1"					100	70	15		5				
38.1 mm a 19.0 mm					100	90 a	20 a	0 a		0 a			
1½" a ¾"						100	55	15		5			

TABLA NUM. 8

SUBSTANCIAS PERJUDICIALES	Porcentaje máximo en peso de la muestra total
Partículas deleznales.....	0.25
Partículas suaves.....	5.0
Pedernal como impureza (a) que se desintegre en los cinco (5) ciclos de la — prueba de sanidad o aquél que tenga una gravedad específica, saturado y superficialmente seco, menor de dos punto — treinta y cinco (2.35): Para condiciones severas de exposición Para condiciones medias de exposición.	1.0 5.0
Material que pasa la malla Núm. 200	1.0 (b)
Carbón mineral y lignito: Para concretos aparentes..... Para concretos de cualquier otro tipo	0.5 1.0

- (a) Las limitaciones de sanidad de estos agregados deberán estar basadas adicionalmente en la experiencia tenida por el comportamiento en el medio ambiente en que se empleen, todo ello a juicio de la Secretaría.
- (b) En el caso de agregados triturados, si el material que pasa la malla Núm. 200, constituido por el polvo producto de la trituración, está exento de arcillas o pizarras, el porcentaje puede ser uno punto — cinco (1.5).

Peso volumétrico	7,800	kg/m ³
Coefficiente de dilatación:	0.00001	m/°C

Algunos de los productos comerciales que se consiguen en el mercado y que interesan a la industria de la construcción, son: Varilla de refuerzo para concreto, perfiles laminados, tuberías, rieles de ferrocarril, cables, etc.

Las varillas empleadas para reforzar concreto, tienen diámetros de $\frac{1}{4}$ a 4" ó más, en casos muy especiales; su longitud comercial puede ser de 10 a 12 m; las varillas laminadas en caliente tienen límites de fluencia comprendidas entre los 2300 kg/cm² hasta los 4 200 kg/cm²; las varillas obtenidas de acero trabajado en frío tienen entre 4 000 y 6 000 kg/cm² como límite de fluencia.

Casi cualquier obra de cierta importancia requiere acero, en cualquiera de sus presentaciones. Por ejemplo, en obras que requieran concreto, el acero siempre estará presente; puentes, pasos a desnivel, viaductos, estructuras presforzadas, etc., son sólo algunas de las aplicaciones que tiene el acero.

TUNELES.

Los túneles pueden construirse en condiciones diversas como son: Túneles en roca sana e intacta, túneles en roca fisurada, túneles en roca fragmentada, túneles en roca alterada y en arcilla.

La utilización de los túneles en la Tecnología de las vías terrestres está muy limitada debido a sus altos costos. Desde luego estas estructuras constituyen un recurso familiar a los proyectistas y constructores de vías férreas en todo el mundo, pero en las carreteras el empleo de los túneles parece, hasta cierto grado, materia de preferencia personal de los proyectistas o de costumbres y tradiciones imperantes en cada País. Hay naciones en cuya red carretera el túnel es una estructura frecuente y hasta hay algunas, en que cabría preguntarse si no es demasiado frecuente; muchos países de Europa son ejemplo de todo lo anterior. Desde luego, el

que haya o no un túnel en un determinado lugar de una carretera es, ante todo, una cuestión de topografía, de que exista un obstáculo que al ser atravesado permita ahorrar longitud de trazo, guardando los requerimientos adecuados de curvatura y pendiente.

El túnel es una estructura cuya construcción es un poco incierta, pese a los avances que sus técnicas han experimentado en los últimos años; por lo menos esa es la opinión de muchas personas con experiencia en la construcción de vías de transporte. Mucho más que en otras estructuras de las vías terrestres, ocurren en los túneles situaciones no previstas por la exploración y los estudios previos, que hacen aparecer montos adicionales muy importantes de trabajo, tiempo y dinero que transtornan los programas de construcción y provocan dificultades sociales y políticas. El túnel debe ser sistemáticamente tomado en cuenta dentro del conjunto de soluciones disponibles y construido cuando resulte ser la solución más económica segura y conveniente. Muchas veces el túnel es una solución muy apropiada para la construcción de alcantarillas, obras de drenaje y de desvío, y también en estos campos debe de ser tomado en consideración.

Existen algunas otras estructuras como son los viaductos, periféricos, etc. que para su construcción se basan principalmente en el uso de concreto hidráulico, acero, asfaltos, cemento, agregados pétreos, agua, etc. que aunadas estas estructuras a los puentes y túneles vendrían a ser objeto de estudio especial, que no es el objetivo principal de esta tesis.

2.2 MATERIALES PARA OBRAS DE DRENAJE.-

Las obras de drenaje son todas aquellas cuya finalidad consiste en que el agua superficial o subterránea que llegue o tienda a llegar a la estructura de la carretera, pista o calle, sea desalojada rápidamente o interceptada de manera adecuada, evitando con ello que se produzcan deterioros en dichas estructuras y que se afecten su buen funcionamiento y su duración.

En estas obras se utilizan materiales como el cemento Portland, acero de refuerzo, agregados para concreto agua, etc , cuyas normas de calidad se han mencionado en el punto 2.1

Las obras de drenaje están constituidas principalmente por alcantarillas — (de losa, tubo o bóveda), cunetas, contracunetas, bordillos, lavaderos, vados, subdrenes en zanja, drenes de penetración, capas permeables o rompedoras de capilaridad, el propio bombeo de la superficie de rodamiento, etc. — Los puentes son también obras de drenaje que se construyen para salvar cañadas o cruzar corrientes de cierta importancia y cuyos claros son mayores de 6m.

Respecto a estas obras, es conveniente hacer algunos comentarios, como los siguientes: En las alcantarillas y puentes en ocasiones se producen deterioros que afectan la estructura de la carretera, cuando son insuficientes en su capacidad o número, cuando no se les hacen las debidas canalizaciones para que las corrientes se encaucen fácilmente a través de ellos, produciéndose almacenamientos de agua perjudiciales o erosiones en las terracerías, que muchas veces llegan a afectar el pavimento. Hay casos en que las alcantarillas no quedan alojadas debidamente en los cauces de las corrientes, otros en que no se les proporciona limpieza para eliminar azolves, se descuidan en ocasiones las salidas de las mismas, propiciando que las descargas del agua erosionen los terraplenes, etc.

Las cunetas, si no se les vigila frecuentemente y se les limpia de azolves no funcionan en forma correcta y el agua que debía correr por ellas, lo — hace por la superficie de rodamiento, ocasionando deterioros en ésta. A veces no se les protege con el recubrimiento necesario, sufriendo erosiones que pueden perjudicar al pavimento. En el caso de las contracunetas, si no tienen la debida pendiente, si no son adecuadamente impermeabilizadas, pueden ser causa de desperfectos en los taludes del corte y hasta del pavimento, ya que si el agua permanece estancada en ellas, es factible que

se originen filtraciones peligrosas; cuando se descuidan las canalizaciones para llevar hacia las alcantarillas las descargas de las aguas captadas por las contracunetas, pueden producirse almacenamientos perjudiciales de aquellas, que darán lugar a erosiones en las terracerías.

Los bordillos, que encauzan hacia los lavaderos las aguas de lluvia que caen en la superficie de rodamiento, a veces no se construyen con materiales adecuados o no se les proporciona el debido anclaje o liga con el pavimento, originándose su destrucción y produciéndose erosiones en los taludes de los terraplenes y en el propio pavimento. En ocasiones, las entradas hacia los lavaderos se hacen defectuosas y el agua no es encauzada fácilmente hacia ellos, corriendo por la corona de la carretera. Los lavaderos, si no quedan bien apoyados sobre el terraplén o bien anclados, se destruyen rápidamente y las aguas erosionan los taludes y las orillas.

En el caso de los subdrenes en zanja, cuando no existen en los lugares en que se requieren, se producen filtraciones de agua de los cortes hacia la corona del camino, en donde dan lugar a asentamientos, baches, deformaciones o agrietamientos, por disminución de resistencia de las capas, de terracerías y pavimento. En ocasiones, aún cuando se tengan subdrenes, estos pueden estar funcionando mal, bien sea por no tener la profundidad necesaria para cortar el paso del agua, porque el material filtrante fue inadecuado y se encuentra obstruido o porque las perforaciones del tubo están tapadas, presentándose situaciones que pueden ser aún más perjudiciales, que las que se producen en el primer caso en que no existe el subdrén, ya que el agua, al no tener fácil salida, satura el material adyacente y adquiere cierta presión que hace que busque vías más accesibles, yendo a ocasionar deterioros en áreas más cercanas y hasta en otras relativamente alejadas del subdrén existente. A veces los propios tubos se azolvan y si no se les proporciona limpieza, se presentan situaciones como las acabadas de señalar. Es frecuente en el caso del material filtrante, que se recurra a gravas y -

arenas que no tienen la adecuada granulometría, originándose la obstrucción ya señalada del mismo, por efecto del material saturado del corte (material por proteger), o la obstrucción de las perforaciones del tubo, por el propio material filtrante, lo cual ocurre cuando no se toman en cuenta, en la elección de éste, las siguientes relaciones de tamaño que han sido experimentadas ampliamente con éxito:

A) Para evitar que se obstruya el material del filtro:

$$\frac{\text{tamaño del 15\% del material del filtro}}{\text{tamaño del 85\% del material por proteger}} \geq 5$$

$$\text{y } \frac{\text{tamaño del 50\% del material del filtro}}{\text{tamaño del 50\% del material por proteger}} \geq 25$$

B) Para asegurar la adecuada capacidad del filtro:

$$\frac{\text{tamaño del 15\% del material del filtro}}{\text{tamaño del 15\% del material por proteger}} \geq 5$$

C) Para que no se tapen las perforaciones del tubo que por lo general son - de 3/8", se debe tener:

$$\frac{\text{tamaño del 85\% del material del filtro}}{\text{diámetro de las perforaciones del tubo}} \geq 2$$

Los defectos de acabado de la superficie de rodamiento, que no aseguran un bombeo adecuado y que en consecuencia impiden la rápida eliminación del - agua pluvial, dan lugar a encharcamientos de la misma que, sobre todo cuando permanece bastante tiempo, hacen que el agua vaya infiltrándose hacia - las capas subyacentes del pavimento y hasta las propias terracerías, originándose baches, deformaciones, agrietamientos, desintegraciones, etc.

2.3 MATERIALES PARA TERRACERIAS.-

Los materiales para las terracerías son los que provienen de la corteza terrestre, ya sea que se extraigan de cortes o préstamos y que se utilizan en la construcción de terraplenes o rellenos, los cuales se pueden emplear solos, mezclados o estabilizados con otros materiales naturales o elaborados, en tal forma que reúnan características adecuadas para su uso.

Clasificación de fragmentos de rocas y suelos para fines de su utilización en terracerías.

Los materiales para terracerías se clasifican de acuerdo con lo indicado en la tabla 9. (En la siguiente página).

La carta de plasticidad se utiliza como complemento en la clasificación de los suelos y es la que se indica en la figura 1.

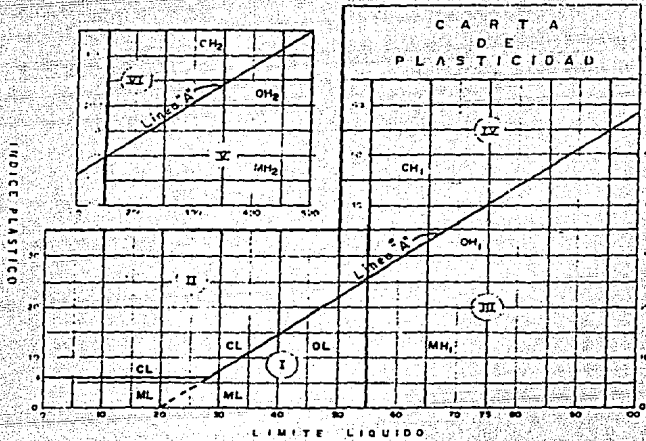


Figura Núm. 1

Para obtener mejores resultados, al usar los materiales de terracerías se recomienda, de acuerdo a sus características, cumplir con lo indicado en la tabla Núm. 10 (En la siguiente página).

En el caso de que por condiciones de extrema necesidad tengan que emplearse, en el cuerpo del terraplén, materiales que en la tabla Núm. 10 se indican que no deben usarse, con base en pruebas de laboratorio podrá autorizarse su empleo, fijando los porcentajes de compactación que se juzguen adecuados, así como las pruebas para determinar los pesos volumétricos secos máximos a que deben referirse los citados porcentajes de compactación.

Los materiales constituidos por fragmentos de roca grandes, medianos o chicos, que aparecen en la tabla Núm. 10, serán susceptibles de compactarse con equipo especial, siempre y cuando después de tendidos en la obra, en una capa con el espesor que permite el tamaño máximo del material, de regarle agua en cantidad aproximada de 100 L/m^3 de material, de aplicarle en cada lugar tres (3) pasadas con tractor de 20 toneladas, cumpla con el requisito de tener como máximo el 20% en volumen retenido en la malla de 76mm (3"), -

aceptándose que este retenido no contenga más de 5% en volumen de fragmentos mayores de 15 cm (6"), determinados de acuerdo con los métodos de prueba indicados en las normas de construcción SCT. Esta determinación se hará en los 20 cm superiores de la capa tratada, mediante sondeos a cielo — abierto con volumen de 0.50 m³, aproximadamente, y el valor que se aplique será el que resulte del promedio de 3 pruebas en distintos lugares de la — capa, fijados convenientemente.

Los materiales que se utilicen en la capa subrasante deberán cumplir con — las normas de calidad que se indican en la última columna de la tabla Núm. 10 en un espesor no menor de 30 cm. Cuando se trate de usar terracerías — ya existentes y su capa subrasante no reúna las características adecuadas, deberá dársele el tratamiento que en cada caso se determine, para ponerla dentro de especificaciones, o bien si esto no es posible, se construirá — una nueva capa subrasante, ya sea sobre la anterior, o bien, después de — rebajar ésta en el espesor necesario, si hay necesidad de respetar un determinado nivel de la subrasante.

En algunos casos podrán emplearse en la construcción de la capa subrasante, materiales estabilizados con cal, cemento Portland, materiales puzolánicos, o materiales asfálticos, siendo necesario, para esto, hacer los estudios y proyectos correspondientes.

La clasificación, característica y requisitos para el uso adecuado de los materiales empleados en la construcción de terracerías, tal como quedan de — finidos en la clasificación de fragmentos de roca y suelos para fines de — su utilización en terracerías, deberán verificarse haciendo las pruebas ne — cesarias, en cada caso.

TIPO	SUB-TIPOS	SIMBOLO DE GRUPO	CARACTERISTICAS PARA SU ACOMODO	PRUEBAS ESPECIFICADAS PARA LA DETERMINACION DE LOS PESOS VOLUMETRICOS BROS MAXIMOS	RECOMENDACIONES PARA SU USO					
					CUERPO DEL TERRAPLEN	CAPA DE SUB-BANANTE EN TERRAPLENES Y CORRES				
FRAGMENTOS DE ROCA	GRANDES MAYORES DE 75 cm y MENORES DE 2 m	Fg Fgm Fgo Fgms Fgom	Susceptibles de acomodarse con tractor y/o con el equipo de construcción.			Pueden utilizarse en todo el cuerpo del terraplén, acomodándolos en su posición más estable, entendiéndose que al simple volteo no constituye un acomodo adecuado.	NO DEBEN USARSE			
	MEDIANOS MAYORES DE 20 cm y MENORES DE 75 cm	Fm Fmo Fmg Fmgo Fmgo	Susceptibles de acomodarse por bandeo con tractor y/o con el equipo de construcción.			Pueden utilizarse en todo el cuerpo del terraplén, tendiéndolos en capas del espesor mínimo que permita el tamaño de los fragmentos mayores.	NO DEBEN USARSE			
	CHICOS MAYORES DE 7,5 cm y MENORES DE 20 cm	Fo Fom Fog Fomg Fogm	Susceptibles de acomodarse por bandeo con tractor y/o con el equipo de construcción.			Pueden utilizarse en todo el cuerpo del terraplén, tendiéndolos en capas del espesor mínimo que permita el tamaño de los fragmentos mayores.	NO DEBEN USARSE			
S U E L O S	GRUESOS	GRAVAS	GW GP GM GO	Porter Porter Porter Porter	En los casos de suelos en que por su baja cementación no está bien definida la prueba que debe aplicarse para determinar el peso volumétrico seco máximo, un peso volumétrico seco máximo más alto. Porter, optando por aquella que de Porter para Ip < 6 Porter SOP para Ip > 6 Porter SOP Porter SOP Porter SOP	90% de Compactación	95% de Compactación			
		ARENAS	SW SP SM SC	Porter Porter Porter Porter SOP						
	FINOS	LIMITE LIQUIDO MENOR DE 50	ML CL OL	Susceptibles de compactarse con equipo especial.				Porter para Ip < 6 Porter SOP para Ip > 6 Porter SOP Porter SOP	90% de Compactación	95% de Compactación en carreteras. En Aeroportos no deben usarse.
		LIMITE LIQUIDO MAYOR DE 50 Y 100	MH ₁ CH ₁ OH ₁					Porter SOP Porter SOP Porter SOP		
		LIMITE LIQUIDO MAYOR DE 100	MH ₂ CH ₂ OH ₂					Porter SOP		
	AITAMIENTOS ORGANICOS	TURBA	Pt						NO DEBEN USARSE	NO DEBEN USARSE

El proyecto deberá especificar aquellos casos en que no sea posible construir por capas, todo o parte del terraplén, en el caso de que el tipo de suelo sea especial, así como el equipo especial, siempre que no pueda determinarse el grado de compactación. Esto sólo podrá hacerse en el cuerpo del terraplén y el proyecto fijará el procedimiento a seguir en estos casos.

No deberán usarse materiales con valor relativo de soporte saturado menor de 5% o expansión mayor de 5%.

Nota: En cuanto a los porcentajes de compactación y de expansión de los suelos, que aparecen en el presente cuadro, se hace notar que puede haber algunas excepciones, en más o en menos, que deberán ser objeto de estudios especiales y especificaciones complementarias.

2.4 MATERIALES PARA REVESTIMIENTO, SUB-BASES Y BASES.-

Son los materiales seleccionados que se emplean en la construcción de revestimientos, sub-bases y bases de pavimento, ya sea que se establezcan o no, con algún producto natural o elaborado.

Los materiales para revestimiento, sub-bases y bases de pavimento, se clasifican como sigue:

- I) Materiales pétreos que no requieran ningún tratamiento de disgregación, cribado o trituración.
- II) Materiales pétreos que para su utilización requieren tratamientos de disgregación, cribado o trituración.
- III) Mezclas de dos o más materiales del grupo I, del grupo II o de materiales provenientes de ambos grupos.
- IV) Materiales de los grupos I, II, o III, mezclados con un material asfáltico.
- V) Materiales de los grupos I, II, o III, mezclados con cemento Portland o una mezcla adecuada de cemento y puzolana.
- VI) Materiales de los grupos I, II, o III, mezclados con cal hidratada, cal hidratada y puzolana, o cal hidratada y cemento Portland.

Los materiales que se mencionan en los incisos anteriores, cuando se emplean como revestimiento de carreteras, deberán llenar los requisitos siguientes:

- A) De granulometría, de acuerdo con los métodos de prueba citados en las normas de construcción SCT.
 - 1) La curva granulométrica del material de revestimiento deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 3, de la figura Núm. 2; de preferencia no deberán utilizarse materiales cuya curva se encuentre alojada en la zona 1.

ZONAS DE ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS

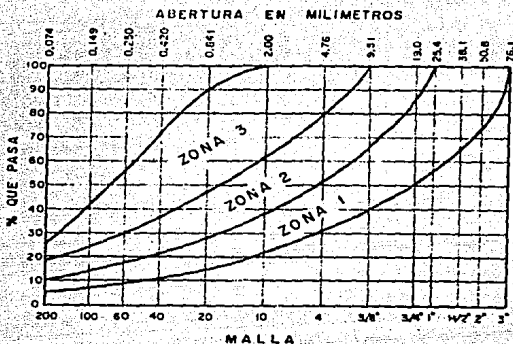


Figura Núm. 2

2) La curva granulométrica deberá afectar una forma semejante a las de las curvas que limitan las zonas, sin presentar cambios bruscos de pendiente y la relación del porcentaje en el peso que pase la malla Núm. 200 - al que pase la malla Núm. 40, no deberá ser mayor de 0.65. Podrá aceptarse hasta un 5% en volumen, de partículas de tamaño mayor de 76 mm (3 "), en el material transportado a la carretera, en donde deberán eliminarse.

B) De contracción lineal, valor cementante y valor relativo de soporte: — los valores fijados en la tabla Núm. 11, determinados con los métodos — de prueba establecidos por la SCT.

Cuando la curva granulométrica del material se aloje en 2 o más zonas, en la parte correspondiente a las fracciones comprendidas entre las — mallas Núms. 40 y 200, la contracción lineal deberá considerarse para la zona en la cual quede alojada la mayor longitud de dicha parte de —

TABLA NUM. 11

CARACTERISTICAS	ZONAS EN QUE SE CLASIFICA EL MATERIAL DE ACERDO — CON SU GRANULOMETRIA.		
	1	2	3
Contracción lineal, en por ciento.....	6.0 M _{áx.}	4.5 M _{áx.}	3.0 M _{áx.}
Valor cementante para materiales angulosos, en kg/cm ²	5.5 M _{ín.}	4.5 M _{ín.}	3.5 M _{ín.}
Valor cementante para materiales redondeados y lisos, en kg/cm ²	8.0 M _{ín.}	6.5 M _{ín.}	5.0 M _{ín.}
Valor relativo de soporte estándar saturado, en por ciento.....		30 M _{ín.}	

la curva, excepto cuando la fracción que pase la malla Núm. 200 sea menor de 15%, en cuyo caso la zona considerada será aquella en la que se aloje la mayor longitud de la totalidad de la curva.

C) De grado de compactación. Estos materiales, en cada caso, se compactan al grado que fije el proyecto.

Los materiales que se mencionan en los párrafos I, II y III, cuando se emplean para sub-base en pavimento flexible de carreteras, deberá llenar los requisitos siguientes:

A) De granulometría.

- 1.- La curva granulométrica del material que se emplea para sub-base en pavimentos flexibles deberá quedar comprendida entre el limine inferior de la zona 1 y el superior de la zona 3 de la Figura Núm. 3 y

deberá afectar una forma semejante a las de las curvas que limitan las zonas, sin presentar cambios bruscos de pendiente. La relación del porcentaje en peso que pase la malla Núm. 200 al que pase la malla Núm. 40, no deberá ser mayor de 0.65.

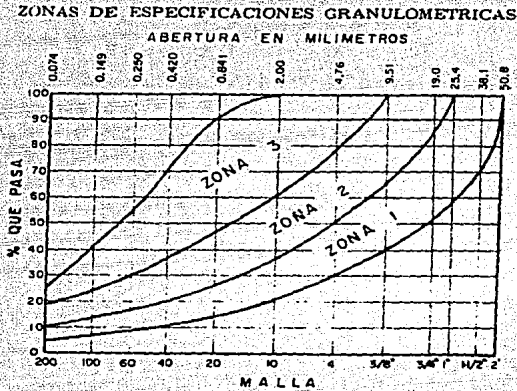


Figura Núm. 3

2.- El tamaño máximo de las partículas del material no deberá ser mayor de 51 mm (2 ").

- B) De contracción lineal, valor cementante, valor relativo de soporte y equivalente de arena, los valores fijados en la tabla Núm. 12 determinados por los métodos de prueba citados en la parte novena (SCT). Cuando la curva granulométrica del material se aloje en 2 zonas, en la parte comprendida entre las mallas 40 y 200, la contracción lineal deberá considerarse para la zona en la cual queda alojada la mayor longitud de

dicha parte de la curva, excepto cuando la fracción que pase la malla N^om. 200 sea menor de quince por ciento (15%), en cuyo caso la zona - considerada será aquella en la que se aloje la mayor longitud de la - totalidad de la curva.

- C) De grado de compactación en la carretera o aeropista. El material de - será compactarse a noventa y cinco por ciento (95%) mínimo de su peso - volumétrico seco máximo, salvo que el proyecto fije un grado diferen- te de compactación. La compactación será determinada mediante uno - (1) de los métodos de prueba citados en la Parte Novena.

TABLA NUM. 12

CARACTERISTICAS	ZONAS EN QUE SE CLASIFICA EL MATERIAL DE ACUERDO CON SU GRANULOMETRIA		
	1	2	3
Contracción lineal, en por ciento.....	6.0 Máx.	4.5 Máx.	3.0 Máx.
Valor cementante para materiales angulosos, en kg/cm ²	3.5 Mín.	3.0 Mín.	2.5 Mín.
Valor cementante para materiales redondeados y lisos, en kg/cm ²	5.5 Mín.	4.5 Mín.	3.5 Mín.
Valor relativo de soporte estándar saturado, en - por ciento.....	50 Mín.		
Equivalente de arena, en - por ciento.....	20 Mín. (Tentativo)		

Los materiales clasificados en el grupo IV, que predominantemente contengan partículas que pasen la malla Núm. 4 (más del 70%), para formar sub-bases de pavimento flexible, deberán llenar los siguientes requisitos:

A) Los materiales para formar sub-bases de pavimento flexible que acusen — valores para la contracción lineal y el equivalente de arena fuera de — los límites señalados, pueden utilizarse como sub-bases de pavimento, si una vez estabilizados con algún material asfáltico, satisfacen los requisitos de estabilidad, expansión y absorción siguientes:

- | | |
|--------------------------|----------------------------|
| 1) Valor de estabilidad. | 180 kg mínimo (TENTATIVO). |
| 2) Expansión. | 2 % máximo (TENTATIVO). |
| 3) Absorción. | 5 % máximo (TENTATIVO). |

B) Los materiales no plásticos, como las arenas, pueden emplearse como sub-bases de pavimento si tienen un valor de soporte Florida modificado de — 65 kg mínimo (TENTATIVO).

C) De afinidad con asfalto, de acuerdo con lo que fije en cada caso el proyecto.

D) Los materiales asfálticos que se empleen en estabilizaciones de suelos, deberán cumplir con las normas fijadas en cada caso.

E) De grado de compactación en la carretera. Los materiales mencionados en los párrafos A) y B) anteriores, deberán compactarse a 95% mínimo de su peso volumétrico máximo, obtenido de la mezcla asfáltica, salvo que el — proyecto fije un grado diferente de compactación.

Los materiales clasificados en el grupo V para formar sub-bases de pavimento, deberán satisfacer los siguientes requisitos:

A) En las estabilizaciones de materiales para sub-bases de tipo flexible — (suelo modificado), cuyo objeto es disminuir la plasticidad del material por estabilizar:

- 1) El material por estabilizar no deberá contener una cantidad de materia orgánica mayor de 3%.
 - 2) Los materiales estabilizados, deberán satisfacer las normas establecidas.
 - 3) Los materiales ya estabilizados, deberán compactarse en la carretera a 95% mínimo de su peso volumétrico seco máximo, salvo que el proyecto fije un grado diferente de compactación.
- B) En las estabilizaciones de materiales para sub-bases de tipo rígido (suelo cemento), en cada caso particular el proyecto fijará las normas de calidad que deberán cumplirse para el cemento Portland, las puzolanas y el agua.

Los materiales clasificados en el grupo VI antes citado, para formar sub-bases de pavimento, deberán llenar los siguientes requisitos:

- A) Para materiales antes de estabilizarse.
- 1) Su índice plástico debe estar entre 45 máximo y 10 mínimo.
 - 2) Su límite líquido debe ser de 45 máximo.
 - 3) Su contenido de materia orgánica debe ser del 3% máximo.
- B) Para material estabilizado con cal hidratada, con una mezcla de cal hidratada y puzolana o con una mezcla de cemento Portland y cal hidratada, se deberán satisfacer los requisitos establecidos en cada caso. Los materiales una vez estabilizados, deberán compactarse en la carretera a 95% mínimo de su peso volumétrico seco máximo, salvo que el proyecto fije un grado de compactación.

Los materiales cuando son empleados para bases en pavimento flexible en carreteras y para sub-bases en pavimento rígido deben llenar una serie de requisitos que son los de granulometría, en que la curva granulométrica del material debe localizarse en las zonas 1 ó 2 de la Figura Núm. 2

La curva granulométrica deberá afectar una forma semejante a las de las curvas que limitan las zonas, sin presentar cambios bruscos de pendiente y la relación del porcentaje en peso que pase la malla Núm. 200 al que pase la malla Núm. 40, no deberá ser mayor de 0.65; el tamaño máximo de las partículas de material no deberá ser mayor de 50 mm (2") o de 38 mm (1 1/2").

De límite líquido, contracción lineal y valor cementante, los fijados en la Tabla Núm. 13

TABLA 13

CARACTERISTICAS	ZONAS EN QUE SE CLASIFICA EL MATERIAL DE ACUERDO CON SU GRANULOMETRIA.		
	1	2	3
Límite líquido, en por ciento.....	30 Máx	30 Máx	30 Máx
Contracción lineal, en por ciento.....	4.5 Máx	3.5 Máx	2.0 Máx
Valor cementante, para materiales angulosos, en Kg/cm ²	3.5 Mfn	3.0 Mfn	2.5 Mfn
Valor cementante, para materiales redondeados y lisos, en kg/cm ²	5.5 Mfn	4.5 Mfn	3.5 Mfn

El valor relativo de soporte estándar, equivalente de arena e índice de — durabilidad para una carretera se presenta la Tabla Núm. 14

TABLA NUM. 14

INTENSIDAD DE TRANSITO EN AMBOS SENTIDOS	Valor relativo de soporte estándar.	Equivalen- te de arena — (Tentati- vo)	Indice de du- rabilidad — (Tentati- vo)
Hasta 1 000 vehículos pesados al día.....	80 Mfn	30 Mfn	35 Mfn
Más de 1 000 vehícu- los pesados al día...	100 Mfn	50 Mfn	40 Mfn

Los vehículos pesados incluyen los autobuses y los — camiones en todos sus tipos.

Prueba Hubbard Field modificada, para estabilizaciones:

- 1) Valor de estabilidad 180 kg mínimo.
- 2) Expansión 2 % máximo.
- 3) Absorción 5 % máximo.

Los materiales no plásticos, como la arena pueden emplearse como bases de — pavimento, si una vez estabilizados con un material asfáltico, satisfacen — el requisito siguiente de valor soporte Florida modificado utilizado en zo- nas de climas cálidos: 65 kg mínimo.

Las puzolanas y arcillas o diatomitas, calcinadas, como son algunas pizarras, tobas, cenizas pumíticas, pómez procesadas que se utilicen para la estabili- zación de materiales para revestimientos sub-bases y bases de pavimento pue- den emplearse para la construcción de bases asfálticas y/o capas de renivela- ción, ambas también llamadas bases negras; además, se pueden emplear para — bacheos. En todos estos casos los materiales pétreos deberán reunir requisi- tos de granulometría dentro de la zona (1) de la Figura Núm. 4 El tamaño —

máximo de las partículas del material no deberá ser mayor de 38 mm (1 1/2") ni de 2/3 del espesor compacto de la capa base o de renovación; de contracción lineal 3% máximo; de afinidad con el asfalto, según Tabla Núm. 22; de desgaste Los Angeles 45% máximo.

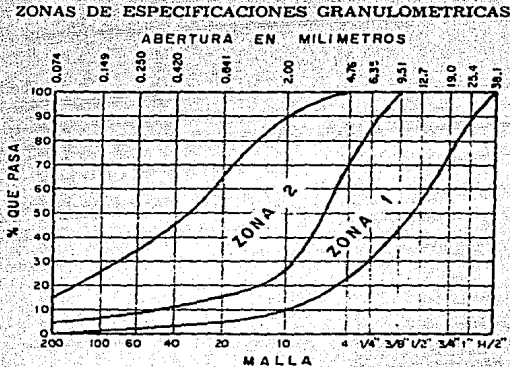


Figura Núm. 4

2.5 MATERIALES PARA CARPETA. -

Los materiales pétreos para carpetas son los materiales pétreos seleccionados recubiertos total o parcialmente por una película asfáltica. Los materiales pétreos se clasifican en:

- a) Materiales naturales que requieren uno o varios de los tratamientos indicados a continuación: Disgregación, cribado, trituración y lavado.
- b) Mezclas de 2 o más materiales pétreos.

Los materiales pétreos para carpetas asfálticas deben llenar los siguientes requisitos:

- a) No deben emplearse agregados pétreos que presenten fragmentos en forma de laja; generalmente se considera como lajas las que tengan una longi-

tud mayor de tres veces la dimensión menor del agregado.

- b) No deben emplearse agregados pétreos que contengan materia orgánica en forma perjudicial o arcilla en grumos.
- c) Los agregados pétreos no deben tener más del 20% de fragmentos suaves.
- d) Los agregados pétreos deben emplearse de preferencia secos o cuando mucho con una humedad igual a la de absorción de este material. En caso contrario, debe emplearse un aditivo en el asfalto.

MATERIALES ASFÁLTICOS.

Los asfaltos o productos asfálticos son materiales aglutinantes sólidos o semi-sólidos, que se licúan gradualmente al calentarse, cuyos componentes básicos son los hidrocarburos. Los asfaltos y productos asfálticos se emplean para:

- a) Aglutinar el material pétreo en las carpetas de rodamiento.
- b) Impermiabilizar y aglutinar superficialmente las bases de pavimento.
- c) Cubrir las partículas de arcilla en la estabilización de materiales de sub-base o base de pavimento, para modificar sus características plásticas.
- d) Cementar los materiales granulares finos en trabajos de estabilización de sub-bases y bases de pavimento.

Los asfaltos se clasifican en los siguientes grupos:

- a) Cementos asfálticos, que son los productos de la destilación del petróleo al que se han eliminado sus solventes volátiles y parte de los aceites, cuya penetración varía entre 40 y 300 grados.
- b) Asfaltos rebajados de fraguado rápido, que son los productos que se obtienen mediante la adición de gasolinas a un cemento asfáltico.

- c) Asfaltos rebajados de fraguado medio, que son los productos - que se obtienen mediante la adición de kerosinas a un cemento asfáltico.
- d) Asfaltos rebajados o residuales de fraguado lento, que son - residuos asfálticos de petróleo crudo o cemento asfáltico rebajado con destilados de volatilización lenta.
- e) Emulsiones asfálticas, que son dispersiones estables de un cemento asfáltico de agua.

La película de cemento asfáltico que cubre las partículas de material pétreo en una carpeta, debe satisfacer las siguientes condiciones de uso:

- a) Tener propiedades cementantes en cualquier condición del medio ambiente.
- b) Ser resistente a la acción de los agentes atmosféricos (la luz, la temperatura, el agua).
- c) Estar libre de impurezas.

Los productos asfálticos deberán satisfacer los requisitos que se indican en las siguientes tablas: 15, 16, 17, 18, 19 y 20.

TABLA NUM. 15

NORMAS PARA CEMENTOS ASFALTICOS

CARACTERISTICAS	CEMENTO ASFALTICO			
	NUM. 3	NUM. 6	NUM. 7	NUM. 8
Penetración, 100 g, 5 s, 25°C, grados..	180-200	80-100	60-70	40-50
Viscosidad Saybolt-Furol:				
A 135°C,s, mínimo.....	60	85	100	120
Punto de inflamación (copa abierta de Cleveland), °C mínimo.....	220	232	232	232
Punto de reblandecimiento, °C.....	37-43	45-52	48-56	52-60
Ductilidad, 25°C, cm, mínimo.....	60	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo.....	99.5	99.5	99.5	99.5
Prueba de la película delgada, 50 cm ³ , 5h, 163°C:				
Penetración retenida, por ciento, mí- nimo.....	40	50	54	58
Pérdida por calentamiento, por ciento, máximo.....	1.4	1.0	0.8	0.8

TABLA NUM. 16

NORMAS DE ASFALTOS REBAJADOS DE FRAGUADO RAPIDO

C A R A C T E R I S T I C A S	G R A D O				
	FR-0	FR-1	FR-2	FR-3	FR-4
PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO					
Punto de inflamación (copa abierta de Tag), °C mínimo.....			27	27	27
Viscosidad Saybolt-Furol:					
A 25°C, segundos.....	75-150				
A 50°C, segundos.....		75-150			
A 60°C, segundos.....			100-200	200-500	
A 82°C, segundos.....					125-250
Destilación: Por ciento del total					
Destilado a 360°C					
Hasta 190°C, mínimo.....	15	10			
Hasta 225°C, mínimo.....	55	50	40	25	8
Hasta 260°C, mínimo.....	75	70	65	55	40
Hasta 315°C, mínimo.....	90	88	87	83	80
Residuo de la destilación a 360°C.					
Por ciento del volumen total por — diferencia, mínimo.....	50	60	67	73	78
Agua por destilación, por ciento, má- ximo.....	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION					
Penetración, grados.....	80-120	80-120	80-120	80-120	80-120
Ductilidad en centímetros, mínimo....	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbó no, por ciento, mínimo.....	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

TABLA NUM. 17

NORMAS DE ASFALTOS REBAJADOS DE FRAGUADO MEDIO

CARACTERISTICAS	GRADO				
	FM-0	FM-1	FM-2	FM-3	FM-4
PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO					
Punto de inflamación (copa abierta de Tag), °C mínimo.....	38	38	66	66	66
Viscosidad Saybolt-Furol:					
A 25°C, segundos.....	75-150				
A 50°C, segundos.....		75-150			
A 60°C, segundos.....			100-200	250-500	
A 82°C, segundos.....					125-250
Destilación: Por ciento del total destilado a 360°C					
Hasta 225°C, máximo.....	25	20	10	5	0
Hasta 260°C,	40-70	25-65	15-55	5-40	30 Máx.
Hasta 315°C,	75-93	70-90	60-87	55-85	40-80
Residuo de la destilación a 360°C, Por ciento del volumen total por diferencia, mínimo.....	50	60	67	73	78
Agua por destilación, por ciento, máximo.....	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION					
Penetración, grados.....	120-300	120-300	120-300	120-300	120-300
Ductilidad en centímetros, mínimo.	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de — carbono, por ciento, mínimo.....	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

TABLA NUM. 18

NORMAS DE ASFALTOS REBAJADOS DE FRAGUADO LENTO

CARACTERISTICAS	GRADO				
	FL-0	FL-1	FL-2	FL-3	FL-4
PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO					
Punto de inflamación (copa abierta de Cleveland), °C mínimo.....	66	66	80	93	107
Viscosidad Saybolt-Furol:					
A 25°C, segundos.....	75-150				
A 50°C, segundos.....		75-150			
A 60°C, segundos.....			100-200	250-500	
A 82°C, segundos.....					125-250
Destilación: Destilado total a 360°C, por ciento en volumen.....	15-40	10-30	5-25	2-15	10 Máx.
Agua por destilación, por ciento, máximo.....	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Residuo asfáltico de 100 grados de penetración, por ciento, mínimo...	40	50	60	70	75
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION					
Flotación en el residuo de la destilación, a 25°C, segundos.....	15-100	20-100	25-100	50-125	60-150
Ductilidad del residuo asfáltico de 100 grados de penetración, 25°C, cm., mínimo.....	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo.....	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

TABLA NUM. 19

NORMAS DE EMULSIONES ASFALTICAS ANIONICAS

CARACTERISTICAS	GRADO				
	ROMPIMIENTO RAPIDO		ROMPIMIENTO MEDIO	ROMPIMIENTO LENTO	
	RR-1	RR-2	RM - 2	RL-1	RL-2
PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO					
Viscosidad Saybolt-Furol a 25°C, segundos.....	20-100		100 Mfn.	20-100	20-100
Viscosidad Saybolt-Furol a 50°C, segundos.....		75-400			
Residuo de la destilación, por ciento en peso, mínimo.....	57	62	62	57	57
Asentamiento en 5 días, diferencia en por ciento, máximo.....	3	3	3	3	3
Demulsibilidad:					
35 ml de 0.02N CaCl ₂ por ciento, mínimo.....	60	50			
50 ml de 0.10N CaCl ₂ , por ciento, máximo.....			30		
Retenido en la malla N.ºm. 20, por ciento, máximo.....	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Miscibilidad con cemento Portland, por ciento, máximo.....				2.0	2.0
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION					
Penetración, 25°C, 100 g, 5 segundos, grados.....	100-200	100-200	100-200	100-200	40-90
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo.....	97.5	97.5	97.5	97.5	97.5
Ductilidad, 25°C, cm., mínimo.....	40	40	40	40	40

NOTA: La viscosidad de las emulsiones no debe aumentar más de 30% al bajar su temperatura de 20°C a 10°C, ni bajar más de 30% al subir su temperatura de 20°C, a 40°C.

TABLA NUM. 20
NORMAS DE EMULSIONES ASFALTICAS CATIONICAS

CARACTERISTICAS.	GRADO.					
	Rompimiento rápido		Rompimiento medio		Rompimiento lento	
	RR-2K	RR-3K	RM-2K	RM-3K	RL-2K	RL-3K
PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO.						
Viscosidad Saybolt-Furol, 25°C, segundos.....					20-100	20-100
Viscosidad Saybolt-Furol, 50°C, segundos.....	20-100	100-400	50-500	50-500		
Residuo de la destilación, por ciento en peso, mínimo.....	60	65	60	65	57	57
Asentamiento en 5 días, diferencia en por ciento, máximo.....	5	5	5	5	5	5
Retenido en la malla Núm. 20, por ciento, máximo.....	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Cubrimiento del agregado (en condiciones de trabajo). Prueba de resistencia al agua:						
Agregado seco, por ciento de cubrimiento, mínimo.....			80	80		
Agregado húmedo, por ciento de cubrimiento, mínimo.....			60	60		
Miscibilidad con cemento Portland, por ciento, máximo.....					2	2
Carga de la partícula.....	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva		
pH, máximo.....					6.7	6.7
Disolvente en volumen, por ciento, máximo.....	3	3	20	12		
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION						
Penetración, 25°C, 100 g, 5 segundos, grados..	100-250	100-250	100-250	100-250	100-200	40-90
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo.....	97	97	97	97	97	97
Ductilidad, 25°C, cm, mínimo.....	40	40	40	40	40	40

Nota: La viscosidad de las emulsiones no debe aumentar más de treinta por ciento(30%) al bajar su temperatura de veinte grados centigrados(20°C) a diez grados centigrados(10°C), ni bajar más de treinta por ciento - (30%) al subir su temperatura de veinte grados centigrados (20°C) a cuarenta grados centigrados (40°C).

2.5.1 CARPETAS DE RIEGOS.-

Los materiales pétreos para carpetas asfálticas por el sistema de riegos — (tratamientos superficiales) deberán satisfacer los siguientes requisitos:

- A) De granulometría., ver Tabla Núm. 21
- B) De desgaste los Angeles, para cualquier tipo de material pétreo: 30% máximo.
- C) De intemperismo acelerado: 12% máximo.
- D) De forma de las partículas: Partículas alargadas y/o en forma de laja: 35% máximo.
- E) De afinidad con el asfalto, de acuerdo a la Tabla Núm. 22

Condiciones de uso que deberán llenar las carpetas de riegos:

- A) No deberán desplazarse por la acción del tránsito.
- B) No deberán desintegrarse por la acción del tránsito.
- C) Serán prácticamente impermeables.
- D) Deberán resistir sin agrietarse las deformaciones normales en las bases de pavimentación.
- E) Presentarán una superficie uniforme y de textura ligeramente áspera para hacerlas antiderrapantes.
- F) Tendrán una superficie que estando seca refleje los rayos luminosos.

MEZCLAS ASFÁLTICAS.

Una mezcla asfáltica fundamentalmente es el producto obtenido mediante la — incorporación y distribución uniforme de un material asfáltico en un pétreo. Las mezclas asfálticas, de acuerdo con sus características y condiciones de uso a que se destinan, deberán elaborarse con los materiales asfálticos que se fijan en la Tabla Núm. 23

Para mejorar las características de adherencia entre el agregado pétreo y — los materiales asfálticos, se pueden emplear aditivos para que produzcan — una actividad superficial iónica, por la que tiendan a incrementar la adhe-

TABLA NUM. 21

NORMAS GRANULOMETRICAS PARA MATERIALES PETREOS QUE SE EMPLEEN EN CARPETAS ASFALTICAS
 POR EL SISTEMA DE RIEGOS O PARA RIEGO DE SELLO

DENOMI- NACION DEL MATERIAL PETREO.	P O R C I E N T O Q U E P A S A L A M A L L A										
	50.8 mm (2")	38.1 mm ($\frac{1}{2}$ ")	32.0mm ($1\frac{1}{4}$ ")	25.4mm (1")	19.0 mm ($\frac{3}{4}$ ")	12.7 mm ($\frac{1}{2}$ ")	9.51 mm ($\frac{3}{8}$ ")	6.35 mm ($\frac{1}{4}$ ")	4.76mm (Núm. 4)	2.38 mm (Núm. 8)	0.420 mm (Núm. 40)
1			100	95 Mín		5 Máx		0			
2					100	95 Mín.		5 Máx.		0	
3-A						100	95 Mín			5 Máx	0
3-B							100	95 Mín		5 Máx	0
3-E							100	95 Mín	5 Máx	0	

TABLA NUM. 22

REQUISITOS DE AFINIDAD DE LOS MATERIALES PETREOS

CAPA DE PAVIMENTO \ PRUEBA	Desprendimiento por fricción % (1)	Cubrimiento con asfalto. Método Inglés % (2)	Desprendimiento de la película % (3)	Pérdida de estabilidad por inmersión en agua % (4)	REQUISITOS DE ACEPTACION
Sub-base de pavimento rígido, no estabilizada o estabilizada — con materiales no asfálticos..	...	90 Mín.	25 Máx.	....	Que cumpla cuando menos con una (1) de las pruebas marcadas.
Sub-base de pavimento rígido, no estabilizada con materiales asfálticos.	25 Máx.	90 Mín.	25 Máx.	25 Máx.	Que cumpla cuando menos con una (1) de las pruebas marcadas.
Base de pavimento flexible, no estabilizada o estabilizada con materiales no asfálticos.	25 Máx.	90 Mín.	25 Máx.	...	Que cumpla cuando menos con (2) de las pruebas marcadas
Base de pavimento flexible, estabilizada con materiales asfálticos.	25 Máx.	90 Mín.	25 Máx.	25 Máx.	Que cumpla cuando menos con dos (2) de las pruebas marcadas.
Carpetas y bases asfálticas (mezcla en el lugar y plantas estacionarias).	25 Máx.	90 Mín.	....	25 Máx.	Que cumpla cuando menos con dos (2) de las pruebas marcadas.
Carpetas asfálticas por el sistema de riegos.	25 Máx.	90 Mín.	....	....	Que cumpla con las dos (2) pruebas marcadas.
Morteros asfálticos.	25 Máx.	...	....	....	Que cumpla cuando menos con una (1) de las pruebas marcadas.

TABLA 23

MATERIAL ASFALTICO	EMPLEO RECOMENDABLE EN LA CONSTRUCCION DE CARPETAS Y SOBRECARPETAS	
	PARA CARRETERAS: Tránsito diario en ambos sentidos, en vehículos pesados (a)	PARA AEROPISTAS: Aviones con peso total, en to- neladas.
Cemento asfáltico.....	Más de 1 000	Más de 20
Asfalto rebajado.....	1 000 máximo (b)	20 máximo (b)
Emulsión asfáltica con disol- ventes.....	1 000 máximo (b)	20 máximo (b)
Emulsión asfáltica sin disol- ventes.....	1 000 máximo	20 máximo

- (a) Se consideran como vehículos pesados los camiones en todos sus tipos y los autobuses.
- (b) El empleo de las mezclas elaboradas con asfalto rebajado o con emulsión asfáltica con disolventes, que proporcionen textura lisa, debe limitarse a casos en que se tengan condiciones climáticas y equipo que permitan efectuar el tendido y compactación de la mezcla con pocos disolventes; por esta misma razón, no deberán hacerse mezclas como las antes indicadas empleando material pétreo de graduación fina.

rencia en la interfase entre el agregado pétreo y el material asfáltico, — conservándolo aún en presencia del agua. Estos aditivos, por lo general, — se aplican directamente al material asfáltico, antes de mezclar éste con el agregado pétreo.

2.5.2 CARPETAS DE MEZCLA EN EL LUGAR.—

Los materiales pétreos para las carpetas de una mezcla asfáltica elaborada en el lugar, deberán satisfacer las siguientes normas:

- A) De granulometría de acuerdo a la figura Núm. 5 La curva granulométrica de el material deberá cumplir con lo que indique el proyecto en cada — caso y en términos generales, deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 2. La zona 1, correspond de a materiales pétreos de granulometría gruesa y la zona 2, a los mate_ riales pétreos de granulometría fina. La curva granulométrica del mate_ rial deberá afectar una forma semejante a la de las curvas que limitan las zonas, por lo menos en 2/3 partes de su longitud, sin presentar cam_ bios bruscos de pendiente. El tamaño máximo del agregado deberá ser — menor de 2/3 del espesor de la carpeta.

ZONAS DE ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS PARA MATERIALES PETREOS QUE SE EMPLEEN EN MEZCLAS ASFALTICAS EN EL LUGAR

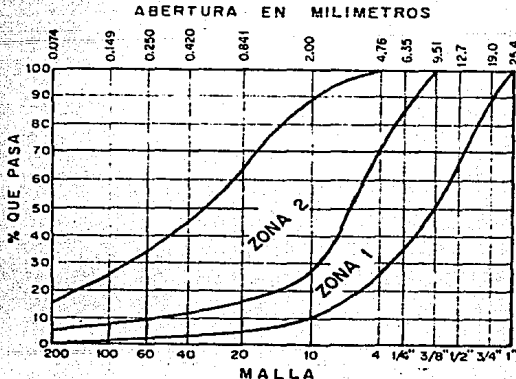


Figura Núm 5

- B) De contracción lineal: 3% máximo
- C) Desgasta Los Angeles: 40% máximo
- D) De intemperismo acelerado: máximo 12%
- E) De afinidad con el asfalto. Desprendimiento por fricción máximo 25%.
- F) Pérdida de estabilidad por inmersión en agua: 25% máximo.

2.5.3. CARPETAS DE MEZCLA EN PLANTA.-

Los materiales pétreos para carpetas asfálticas elaboradas por los sistemas en planta estacionaria, deberán satisfacer las siguientes normas:

- A) De granulometría.

La curva granulométrica del material pétreo para concretos asfálticos, en términos generales, deberá quedar comprendida en la zona limitada - por las 2 curvas de la figura Núm. 6

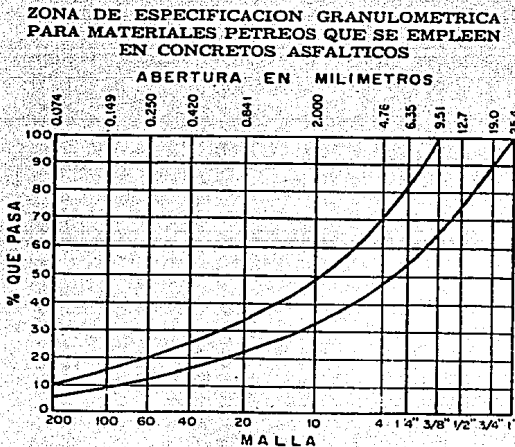


Figura Núm. 6

- B) De contracción lineal: 2% máximo.
- C) De desgaste los Angeles. 40% máximo.
- D) De forma de las partículas. Partículas alargadas y/o en forma de laja: 35% máximo.
- E) De afinidad con el asfalto de acuerdo con la tabla Núm. 22
- F) Equivalente de arena: 55% máximo.

2.5.4 RIEGO DE SELLO.-

Los materiales pétreos utilizados para riego de sello, deberán satisfacer los siguientes requisitos:

- A) De granulometría, determinada según la Tabla Núm. 21
- B) De desgaste Los Angeles: 30% máximo.
- C) De intemperismo acelerado: 12% máximo.
- D) De forma de las partículas. Partículas alargadas y/o en forma de laja: 35% máximo.
- E) De afinidad con el asfalto, de acuerdo con lo fijado en la tabla Núm. 22

CAPITULO III

PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION.

3.1 ESTRUCTURAS.

T U N E L E S .

La excavación de túneles se ha realizado desde hace muchos años. En varios países del mundo ha sido pionera de esta técnica la minería para la explotación de yacimientos minerales y carboníferos. Por otra parte, obras de alcantarillado, conducción de agua, hidroeléctricas, de vialidad urbana, en carreteras, ferrocarriles y aún para propósitos militares han requerido de túneles de diferentes tamaños excavados en distintos terrenos en muy diversas circunstancias.

La tecnología en la excavación de túneles presenta actualmente adelantos — muy importantes, tanto en rapidez como en seguridad, gracias al empleo de — máquinas perforadoras de túneles, (MPT) Ver Figura Núm.7 llamadas usualmente escudos, sobre todo desde hace 50 años a la fecha.

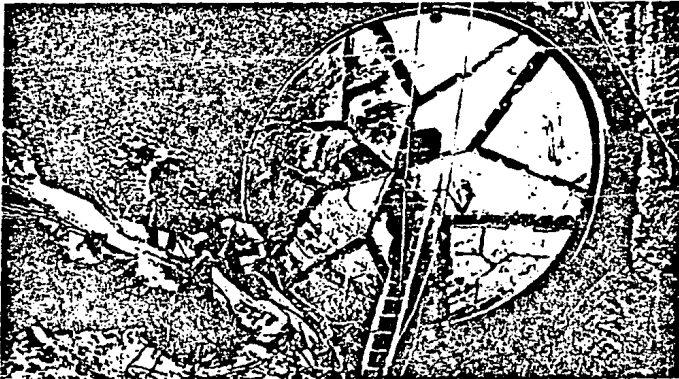


FOTO 1. MPT mostrando el frente de corte

Las ventajas que proporcionan estos escudos en la excavación, protección y soporte de túneles son reconocidas cada vez en mayor grado, considerando - las desventajas de los métodos convencionales. Así en el caso de rocas el empleo de barrenación y voladura es un procedimiento que tiene riesgos y - demoras. Para excavaciones de sección completa y diámetros grandes se necesitan plataformas de perforación, colocadas en una estructura metálica - cuadrada, llamada jumbo, que se apoya sobre vías, ruedas neumáticas o patines. El jumbo debe retirarse del frente no menos de 150 m al efectuarse - la voladura, lo mismo que todos los demás dispositivos y maquinaria de excavación y de rezaga. Para la carga de explosivos en los barrenos ya perforados, primero debe hacerse la limpieza de cada uno, mediante aire comprimido y cucharillas para extraer las obstrucciones. Para esta operación se protegen los agujeros introduciendo en ellos mangueras o tuberías de pvc - para impedir que se cierren por desprendimientos. Se introduce la dinamita con taco de madera y se colocan los estopines eléctricos cuyos circuitos deben revisarse cuidadosamente para eliminar peligrosas fallas. En - esta etapa y para seguridad se retiran también lámparas de energía eléctrica máquinas de soldar y todo artefacto que pueda causar explosiones prematuras obligando al uso de lámparas de aire para la iluminación del frente. Se necesita de una especial inyección de aire fresco y de extracción en - las operaciones de barrenación para la eliminación de humo, gases de explosivos y polvos en suspensión. Para que el jumbo avance nuevamente a su posición de trabajo junto al frente, hace falta quitar previamente el material excavado. Se requiere así de máquinas rezagadoras como las tipo - conway que trabajan y se mueven librando al jumbo. Es también necesario - revisar la superficie recién excavada, para evitar que haya desprendimiento de materiales poco afianzados y evitar así caídos intempestivos. Es - frecuente que se produzcan sobre-excavaciones en superficies muy irregulares que dificultan el ademe. El proceso exige la colocación de un ademe - provisional y procedimientos de estabilización mediante concreto lanzado,

pernos, mallas, marcos y tornapuntas, que eviten derrumbes.

Posteriormente se construye el ademe definitivo necesitándose para ello de todo un complejo sistema de armado, cimbrado, vaciando el concreto y des-cimbrado.

Cuando el terreno lo exige y la excavación por barrenación y voladura no puede realizarse a sección completa, se recurre a la media sección y al túnel piloto, lo cual hace lento el avance de excavación.

Con las máquinas perforadoras de túneles (MPT), mostradas en las Figuras - Números. 5, 10, 11 y 12 los problemas descritos anteriormente se reducen al empleo adecuado de las mismas y a implantar un sistema idóneo de rezaga, - Ver. Figura Núm. 8

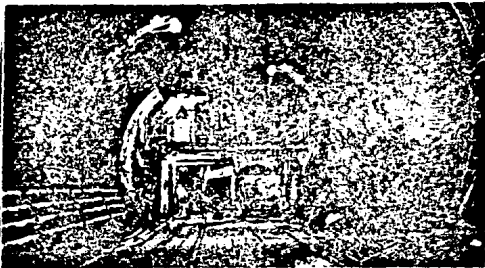


FOTO 5

Figura Núm. 8

aunado a una mayor seguridad en la construcción del túnel, sobre todo si éste se realiza en zonas urbanas.

La antigua idea de recurrir a los escudos únicamente al presentarse situaciones difíciles para el método convencional de barrenación y voladura, — está cambiando rápidamente a una convicción de utilizarlos como procedimiento y equipo usual de trabajo en todos los casos y para cualquier tipo de terreno. Esta necesidad ha llevado al desarrollo, diseño y fabricación



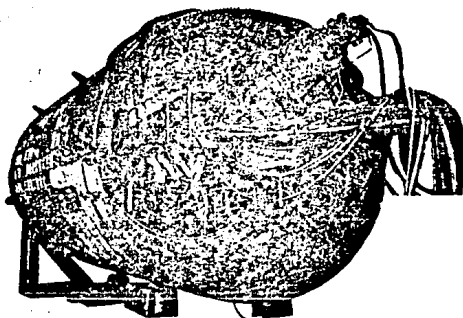
**FOTO 6 Una MPT iniciando la excavación de un túnel
adornado con marcos metálicos circulares.**

Figura Núm. 9



FOTO 8 MPT con su frente de corte

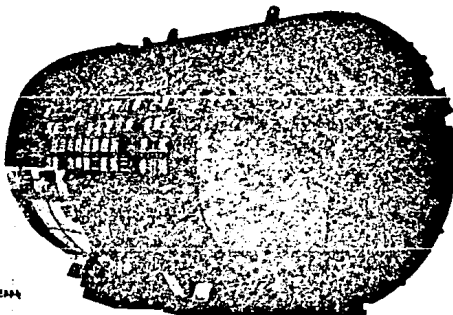
Figura Núm. 10



3D

FOTO 10 Parte trasera de una MPT japonesa.

Figura Núm. 11



770000000

FOTO 9 Una MPT japonesa mostrándose la parte frontal.

Figura Núm. 12

de maquinaria con dispositivos para excavar desde suelos muy blandos hasta rocas, todos a sección completa. Ver Figura Núm. 13

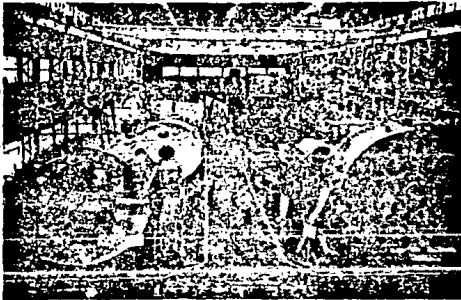


FOTO 4

Figura Núm. 13

Cuando se utilizan estas máquinas, casi todas las operaciones de perforación de túneles se llevan a cabo simultáneamente con la excavación, en contraste con la barrenación y voladura en la que son realizados individualmente. Ver Figura Núm. 14



FOTO 2 Construcción de un túnel con escudo

Figura Núm. 14

El objetivo de un escudo es prevenir la deformación del terreno hacia el túnel mediante una coraza de metal, ver Figura Núm. 15; permitir una excavación segura y colocar el ademe con sus propios dispositivos a medida que avanza. Ver Fig. Núm. 16



FOTO 11 MPT y túnel revestido con dovelas definitivas
Figura Núm. 15

Este ademe, constituido por dovelas de concreto, ya se proyecta en varios países para que sea el definitivo y no provisional como en un principio se juzgó adecuado.

En esencia, el diseño del escudo consiste en un cilindro de metal, rígido que para fines de diseño puede dividirse en tres secciones: Una parte delantera formada por una cuchilla, ver Figura Núm. 10, que va cortando el material; una estructura intermedia que sirve para rigidizar la coraza y alojar los sistemas hidráulicos que empujan el escudo, ver Figura Núm. 12, y una parte trasera que tiene una coraza cilíndrica o faldón en donde se coloca el mecanismo de instalación de las dovelas. Ver Figura Núm. 11

El escudo en sus tres partes debe ser capaz de resistir la fuerza del peso del terreno que actúa sobre él perimetralmente y la del empuje contra las dovelas para poderse encajar en el terreno.

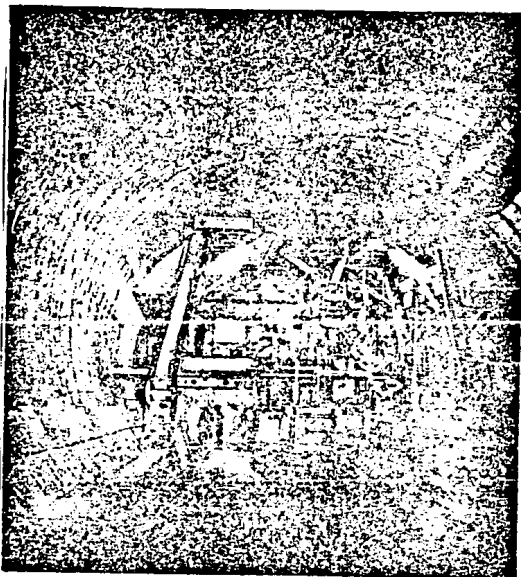
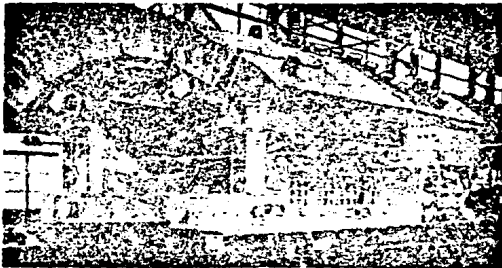


FOTO 7

Figura N.ºm. 16

Un ejemplo de estos escudos es el que se usó para la excavación de los interceptores del drenaje profundo del Distrito Federal, o en la construcción del llamado "Túnel de Tacubaya" en la línea 1 del metro; estos escudos fueron de 6.15 m. de diámetro, 6.35 m. de longitud total, 0.80 m. de cuchilla, 3.78 m. de cuerpo intermedio y 1.77 m. de faldón, con un brazo giratorio con mecanismos para sujetar las dovelas y colocarlas alrededor del túnel. Ver Figura Núm. 15. Estas dovelas son de un diámetro algo menor que el de la excavación, por lo que este espacio libre es relleno con un mortero de cemento - en el menor tiempo posible para el sostenimiento de la excavación.

Actualmente la tecnología en la fabricación de escudos se ha desarrollado y avanzado extraordinariamente. Países como Japón, Inglaterra, Alemania Oeste y Estados Unidos, construyen equipos de diámetros hasta de 10 m para excavar en todo tipo de suelos. Ver Figura Núm. 17



FOTOS 12 Algunas MPT japonesas para secciones no circulares.

Figura Núm. 17

Las máquinas perforadoras de túneles MPT se pueden clasificar en dos grandes grupos: Escudos para suelos suaves y relativamente firmes y escudos para suelos firmes y muy duros.

3.2 OBRAS DE DRENAJE.-

En este punto se establecen las normas de construcción relativas a las obras de drenaje que se requieren para una carretera, como pueden ser: Cunetas, — contracunetas, bombeo del camino, lavaderos, alcantarillas, subdrenos, puente vado, etc.

El objeto del drenaje en los caminos es el reducir al máximo posible la cantidad de agua que de una u otra forma llega al mismo, y en segundo término dar salida rápida al agua que llegue al camino.

Para que un camino tenga buen drenaje debe evitarse que el agua circule en cantidades excesivas por el mismo, destruyendo el pavimento y originando la formación de baches, así como también que el agua que debe escurrir por las cunetas se estanque y reblandezca las terracerías originando pérdidas de — estabilidad de las mismas con sus consiguientes asentamientos perjudiciales.

A continuación se exponen algunas normas que deben guiar al ingeniero localizador en lo relativo al drenaje de los caminos: Cuando el camino debe — seguir el curso de un valle o corriente de agua, las terracerías deben quedar a una altura conveniente sobre el nivel de aguas máximas del río o valle, ya sea que se admita o no que el agua llegue hasta mojar las terracerías. El mismo problema se presenta en el caso que el camino tenga que bordear algún lago o cualquier otra extensión considerable de agua, en cuyo caso es patente el problema de drenaje en relación con la estabilidad de — los terraplenes.

En cuanto al trazo de la subrasante, también debe estudiarse cuidadosamente

con relación al drenaje, ya que frecuentemente bastan ligeros cambios en ella para facilitar la remoción rápida y completa del agua. Además, es mucho más importante que la superficie sea rápida y correctamente drenada y protegida contra las inundaciones, que lograr que las terracerías tengan el costo mínimo. El estudio de drenaje que se va a exponer se dividirá en dos partes: Drenaje superficial y drenaje subterráneo.

Drenaje superficial: En éste se estudia la manera de reducir al mínimo al agua que afluye al camino, mediante la captación de dicha agua, y también la forma de dar rápida salida al agua que inevitablemente entra al mismo. Una de las obras de captación y de defensa son las cunetas.

Las cunetas son zanjas que se hacen en ambos lados del camino con el propósito de recibir y conducir el agua pluvial de la mitad del camino hacia ambos lados del mismo, el agua que escurre por los cortes y a veces la que escurre de pequeñas áreas adyacentes. Cuando las cunetas pasan del corte al terraplén, se prolongan a lo largo del pie del terraplén dejando una berma convencional entre dicho pie y al borde de la cuneta para evitar que se remoje el terraplén lo cual es causa de asentamientos, ver figura Núm. 18

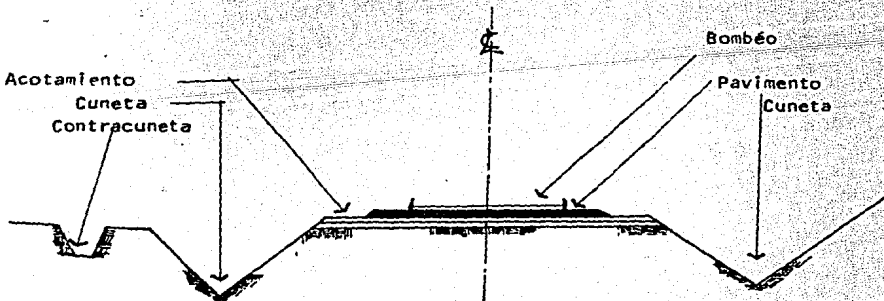


Figura Núm. 18

Las dimensiones, la pendiente y otras características de las cunetas, se determinan mediante el flujo que va a escurrir por las mismas; las cunetas generalmente se construyen de sección transversal triangular o trapezoidal y su diseño se basa en los principios del flujo de los canales abiertos.

No es aconsejable el empleo de cunetas de sección transversal rectangular porque muy pocas veces conservan sus taludes verticales, ya que se derrumban y asolvan las cunetas.

Las contracunetas son zanjas que se hacen en lugares convenientes con el fin de evitar que llegue a las cunetas más agua que aquella para la cual están proyectadas. Las contracunetas se colocan transversales a la pendiente del terreno, las cuales interceptan el paso del agua y la alejan de los terraplenes y cortes.

Quando el camino sigue aproximadamente la dirección de la misma pendiente del terreno, son innecesarias las contracunetas porque entonces el agua correrá paralelamente al camino en dirección de los talwegs y por ahí saldrá a las alcantarillas. Como se puede observar, el uso de las contracunetas está indicado en terrenos montañosos o en lomerío, las contracunetas se calculan igual que las cunetas y generalmente son de sección trapezoidal de 50 cm de plantilla y taludes de 1:1. En todos los casos el tamaño y forma deberán sujetarse a las necesidades hidráulicas y a las condiciones del terreno.

Se denomina bombeo de un camino a la forma de la sección transversal del mismo y que tiene como fin principal el drenar hacia los lados el agua que cae en el camino mismo. El bombeo que debe emplearse depende de la clase de superficie, facilidad de circulación de los vehículos y aspecto del camino. En México se acostumbra emplear un bombeo de 2% para los caminos asfaltados y de 1.5% para los de concreto hidráulico.

Los lavaderos o vertederos sirven para el desfogue de una corriente de agua y no son más que una cubierta o delantal de mampostería de concreto o de piedra acomodada simplemente, por donde se encauza el agua de los taludes o terráplenes, o en terreno muy erosionable, hasta llevarla a lugares donde la erosión continua no pueda llegar a afectar el camino en forma alguna. Cuando se construyan en terrenos inclinados es necesario anclarlos con dentallones para evitar que resbalen. Las dimensiones y forma de los lavaderos quedan generalmente a criterio del ingeniero drenajista.

Las obras de cruce, que son llamadas también de drenaje transversal, tienen por objeto dar paso rápido al agua que, por no poder desviarse en otra forma, tenga que cruzar de un lado a otro del camino. En estas obras de cruce están comprendidos los puentes y las alcantarillas. La diferencia fundamental entre los puentes y las alcantarillas es que éstas llevan encima un colchón de tierra y aquéllos no. Una alcantarilla consta del cañón y los muros de cabeza; el cañón forma el canal de la alcantarilla y es la parte principal de la estructura, los muros de cabeza sirven para impedir la erosión alrededor del cañón; según la forma del cañón las alcantarillas se dividen en alcantarillas de tubo, alcantarillas de cajón y alcantarillas de bóveda.

Drenaje profundo: El drenaje subterráneo, es muy semejante al drenaje superficial, ya que las capas impermeables forman canales bien definidos o vasos de almacenamiento de agua subterránea tal como sucede en la superficie del terreno; el drenaje subterráneo consiste en proporcionar ductos de drenaje adecuados para controlar el escurrimiento de esa agua rápidamente. Las obras de drenaje subterráneas más comunes para impedir que el agua llegue al camino y para remover aquella que haya llegado al mismo son:

Las zánjas son usadas frecuentemente en los caminos construidos en zonas bajas, a unos cuantos metros fuera del mismo y paralelas a él. Estas zan-

jas son usualmente de 0.60 m en la base y de 0.90 m a 1.20 m de profundidad; si se les hace suficientemente profundas pueden mantener el nivel freático bajo el nivel deseado.

No cabe duda de que de nada serviría que un proyecto determinado fuera cuidadosamente elaborado, si, por alguna circunstancia, se descuidan los procedimientos de construcción del mismo. Todo proyecto que haya sido bien elaborado merece, y debe ser bien construido. A continuación se expondrán algunos procedimientos básicos de algunas fases de la construcción ya que no sería posible exponerlos todos sin salirnos de la finalidad de este trabajo.

EXCAVACION PARA ESTRUCTURAS.

La excavación para estructuras es la remoción y extracción de materiales, — efectuados de acuerdo con lo fijado en el proyecto, para desplantar o alojar una estructura.

El proyecto fijará si las excavaciones para estructuras deben ejecutarse a — mano o a máquina. En este último caso, el equipo de construcción deberá previamente ser autorizado por el residente.

Cuando el lecho de roca o suelo de cimentación sea distinto de los previstos en el proyecto, no se iniciará el desplante hasta que esté elaborado un nuevo proyecto.

Cuando el proyecto fije que las paredes de la excavación puedan servir de — molde para un colado, sus dimensiones no deberán excederse en más de 10 cm — respecto a las fijadas en el proyecto. En caso de que se excedan de dicho — límite será forzoso poner moldes.

Cuando la cimentación deba hacerse en un lecho de roca o suelo que pueda ser afectado rápidamente por el intemperismo, las excavaciones deberán suspender

se a los 15 cm, aproximadamente, arriba del nivel de desplante. La excavación de esta capa deberá hacerse inmediatamente antes de ejecutar la obra.

Salvo indicación en contrario, se utilizarán los materiales producto de la excavación, en el relleno de la misma. Los materiales sobrantes deberán utilizarse o desperdiciarse, depositándolos en el lugar y en forma fijados en el proyecto.

En los casos en que no pueda drenarse la excavación por gravedad y se requiera bombeo para ejecutarla económicamente, el contratista indicará el equipo de bombeo que pretenda emplear, el cual deberá trabajar a la capacidad normal, de acuerdo con sus características y las condiciones locales.

RELLENOS.

Los rellenos consisten en la colocación de materiales en excavaciones para estructuras o en las obras de drenaje para su protección, utilizando el producto de las excavaciones para estructuras o el de préstamos, como lo fije el proyecto.

Los materiales que se emplean en el relleno de las excavaciones para estructuras o en las obras de drenaje para su protección, serán preferentemente aquéllos que provengan de las mismas excavaciones. De no ser aceptable el material de la excavación para la formación de relleno, se deberá hacer éste con material de préstamo.

Los rellenos se ajustarán a los procedimientos de ejecución fijados en el proyecto.

Los rellenos deberán hacerse por capas de espesores no mayores de 20 cm., proporcionando al material la humedad adecuada y compactando cada capa al 90%, salvo lo que fije el proyecto.

En rellenos de arcos y alcantarillas, el material deberá extenderse en capas simétricas colocadas, tanto respecto al eje transversal de la estructura como a su eje longitudinal y se compactarán tomando en cuenta lo indicado en el inciso anterior.

3.3 TERRACERIAS.-

Durante la construcción de las terracerías se debe pasar por una serie de operaciones como los acarreos que es el transporte del material producto de cortes, excavaciones adicionales abajo de la subrasante, ampliación y/o abatimiento de taludes, rebaje de la corona de cortes y/o terraplenes existentes, escalones, despalmes, préstamos, derrumbes y canales, para construir un terraplen o efectuar un desperdicio; así como el transporte del agua empleada en la compactación de terracerías.

DESMONTE: Procedimiento que se sigue en la construcción de las terracerías: El desmonte consiste en eliminar la vegetación (materia orgánica) de la zona (plantilla) que ocupará el camino; se realiza en una franja de un metro a cada lado de lo que será la superficie de rodamiento del camino, a partir de los cerros del mismo; excepto cuando en la zona de los cortes queden árboles de tamaño tal que pongan en peligro su estabilidad, en tal caso esta franja será mayor. Su ejecución se hace invariablemente a mano.

En los bancos de materiales, este desmonte se efectúa en toda el área por excavar, el desmonte comprende la ejecución de una o varias de las operaciones que siguen:

- a) Tala: Corte de árboles y arbustos.
- b) Roza: Eliminación de la maleza, hierba, zacate o residuos de siembras.
- c) Desentraice: Extracción de troncos y tocones con raíces o cortándolos.
- d) Limpia y quema: Retiro del producto del desmonte fuera del área del camino, estiba si procede y quema de lo no utilizable.

Las herramientas empleadas en estas operaciones son: Hachas, serruchos, y machetes para la tala; palas, zapapicos y azadones para la roza y desentraque; se emplean, además, hachas o dinamita para la extracción de tocones.

DESPALME:

El despalme es la operación que consiste en remover un determinado espesor del terreno natural, que por sus características es inadecuado para formar parte de la cama del camino o para emplearse en la construcción de terraplenes.

El espesor del despalme dependerá de varios factores. En el caso de caminos rurales, el factor que más influye para fijar el valor máximo es el económico. Generalmente un valor que varíe de 15 a 25 cm. es aceptable.

La remoción del material, en el caso de los referidos caminos, se efectúa con palas y zapapicos, traspaleándolo a las orillas del camino donde se almacena. Posteriormente se acarreará con carretilla a los sitios que se considere necesario, con objeto de que cumpla alguna función.

CORTES:

Los cortes son excavaciones ejecutadas a cielo abierto en el terreno natural, terraplenes y rellenos, que tienen por objeto preparar y/o formar la sección geométrica del camino. Para la excavación del material de los cortes se procede, en términos generales, como sigue:

I) CORTES EN MATERIAL "A"

Puede emplearse zapapico para aflojar el material y pala para cargarlo o traspalarlo. Cuando se requiere el acarreo se realiza en carretillas o equipo de transporte.

II) CORTES EN MATERIAL "B"

Pueden emplearse zapapicos en algunos casos, pero para mejorar los rendimientos se utilizan explosivos para aflojar el material.

III) CORTES EN MATERIAL "C"

Se requiere el uso de explosivos y comprende las siguientes actividades:

- 1.- Barrenación.- Es la operación de hacer orificios en la roca para alojar los explosivos; puede hacerse a mano o con equipo.
- 2.- Colocación de explosivos y voladura.- En esta operación es recomendable que sean efectuados por mano de obra especializada.
- 3.- Extracción y carga.- La carga se hace con máquina o a mano; si los fragmentos son grandes se marrean, previamente a su acarreo.
- 4.- Afinamiento de taludes.- Este afinamiento se hace generalmente amacizándolos a mano, con zapapico y pala, es decir retirando los materiales inestables.

Los materiales de terracería compensada, los de préstamos laterales y el agua para compactación tendrán un acarreo libre, a partir del término del cual su transporte se considerará como sobreacarreo. El acarreo libre es el efectuado hasta una distancia de 20 m; el término de los 20 m de acarreo libre es el origen del sobreacarreo. Para los materiales de préstamo laterales todo el acarreo es libre, y se determinará como sigue:

- a) En las terracerías compensadas, limitado en el diagrama de masa de proyecto.
- b) En los préstamos laterales, la totalidad del acarreo.
- c) Para el agua utilizada en la compactación de terraplenes, a partir del lugar de extracción de la misma, sobre la ruta más corta y conveniente.

El sobreacarreo de los materiales contado a partir de su origen, se considera como sigue:

- a) Hasta 5 estaciones de 20 m, es decir, hasta 100 m contados a partir del término del acarreo libre.
- b) Hasta 5 hectómetros, es decir, hasta 500 m contados a partir del término del acarreo libre.

- c) A más de 5 hectómetros, hasta 20 hectómetros, es decir, de 500 m hasta - 2 kilómetros contados a partir del término de acarreo libre.
- d) El acarreo a cualquier distancia para el agua utilizada en la compactación del terreno natural en el área de desplante de los terraplenes, de la corona de los cortes en que no se haya ordenado excavación adicional, de terraplenes, capa subrasante o rellenos.

El acarreo a cualquier distancia, para los materiales de préstamo, de banco se considerará como sigue:

- a) Para el primer kilómetro.
- b) Para los kilómetros subsecuentes.

En las terracerías compensadas, el volumen del material acarreado se determinará dividiendo el obtenido del diagrama de masas del proyecto entre el - coeficiente de variabilidad volumétrica de proyecto. La distancia de sobreacarreos de los materiales, salvo los provenientes de préstamos lateral para los cuales no hay sobreacarreos, se considerará a partir del origen del sobreacarreos y se medirá para cada material, en estaciones de 20 m, en hectómetros o en kilómetros, según corresponda, y en cada caso considerando sólo uno de los 5 sistemas que a continuación se indican:

- a) En sobreacarreos hasta de 5 estaciones, tomando como unidad la estación de 20 m, con aproximación de una decimal.
- b) En sobreacarreos hasta de 5 hectómetros, la distancia se divide en: Los primeros 100 m, tomando como unidad el hectómetro; y los hectómetros - adicionales a los primeros 100 m, tomando como unidad el hectómetro, con aproximación de una decimal.
- c) En sobreacarreos a más de 5 hectómetros y hasta 2 kilómetros, es decir - hasta 20 hectómetros, la distancia se divide en: Los primeros 5 hectómetros, tomando como unidad 5 Hm; y los Hm adicionales a los primeros 5 Hm hasta 2 km, tomando como unidad el Hm, con aproximación de una decimal.

- d) En los préstamos de banco, tanto para el primer kilómetro como para los subsecuentes, se medirá tomando como unidad el m^3/km , considerando las fracciones como kilómetro completo.
- e) En sobreacarreos a cualquier distancia del agua para las compactaciones, tomando como unidad el km, con aproximación de una decimal.

La distancia de sobreacarreos, cualquiera que ésta sea, se determinará según se indica a continuación:

- a) En las terracerías compensadas, según el diagrama de masas del proyecto, entre los centros de gravedad de la excavación y del terraplén, descontando la distancia de acarreo libre.
- b) En los préstamos laterales no se determina.
- c) En los préstamos de banco, entre el centro de lugar de la excavación del préstamo y el centro de gravedad del terraplén, capa subrasante y rellenos, según la ruta más corta y conveniente.
- d) En los desperdicios, derrumbes, despalmes, escalones, ampliación y/o abatimiento de taludes, rebajes en la corona de cortes y/o terraplenes existentes, y en canales, entre el centro del lugar de excavación y el centro del depósito, según la ruta accesible más corta y conveniente.
- e) La distancia de sobreacarreos de los volúmenes de agua para las compactaciones, se medirá según la ruta accesible más corta y conveniente, entre el lugar de su obtención y el centro del lugar de ampliación, descontando la distancia de acarreo libre.

3.3.1 CUERPO DE LAS TERRACERIAS.-

El cuerpo de las terracerías está constituido por el conjunto de excavaciones (cortes) y rellenos (terraplenes), que es necesario efectuar en la corteza terrestre para acondicionar la faja de ésta por donde se desarrollará la obra, ejecutados hasta la subrasante y de acuerdo con el proyecto.

La construcción de las terracerías debe llevarse a cabo de una manera cuida

dosa, ya que cualquier falla que se presente en ellas, puede afectar el comportamiento de la carretera y conducir a reparaciones muy costosas. En el caso de las terracerías en corte, éstas pueden tener materiales inestables - en los taludes que den lugar a derrumbes o deslizamientos que afecten al pavimento. En los rellenos o terraplenes se pueden haber usado suelos de mala calidad, inadecuadamente compactados o que presenten exceso de agua. Pueden ser suelos resilientes o elásticos que dan lugar al fenómeno de rebote, cuyo efecto es susceptible de deteriorar el pavimento.

Cuando en los terraplenes se usan fragmentos de roca, pueden no haber quedado éstos bien acomodados y dar origen después a movimientos perjudiciales en el cuerpo de la obra.

En las terracerías en balcón, la falta de escalones de liga produce deslizamientos del terraplen y agrietamientos en el pavimento. También se presenta el caso de materiales erosionables en los taludes de terraplenes y cortes, - que originan problemas cuando no se protegen en forma adecuada. Ver Figura Núm. 19

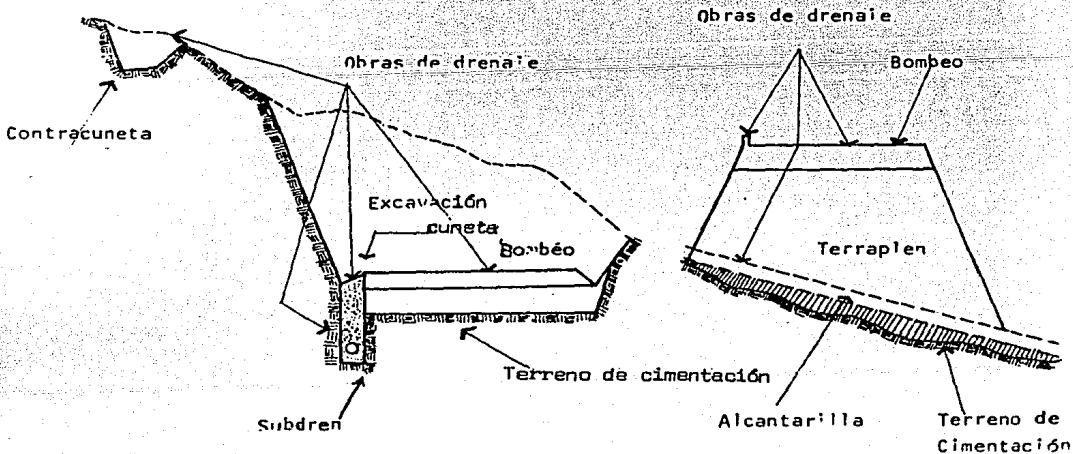


Figura Núm. 19

TERRAPLENES:

Los terraplenes son los rellenos que se forman sobre el terreno natural con materiales compensados producto de los cortes, de préstamos laterales o — préstamos de banco, dando con ellos la forma geométrica que las normas señalan para la sección de construcción, cuyos taludes dependerán del tipo de material que los forma en su ángulo de reposo. Ver Figura Núm. 20

Una vez obtenido el material para la formación del terraplén, se tiende por capas a lo largo del camino y se afina hasta lograr la sección proyectada.

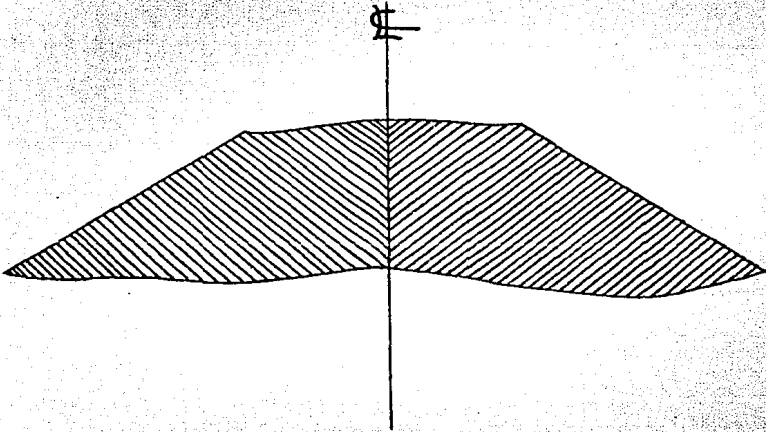


Figura Núm. 20

Secciones transversales mixtas de construcción. Son las que transversalmente se construyen con la forma geométrica que las normas señalen, parte en corte y parte en terraplen. Ver Figura Núm. 21

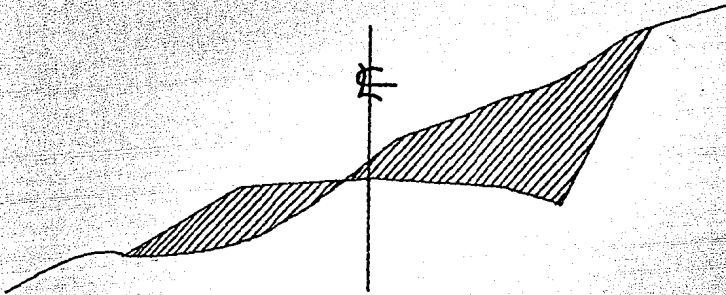


Figura Núm. 21

AFINAMIENTO DE TERRACERIAS:

Las terracerías se afinan para darles el bombeo y sobreelevación fijados en el proyecto, a fin de que el revestimiento o el pavimento, tengan un espesor uniforme y puedan alcanzar el bombeo o la sobreelevación de proyecto.

Cuando haya transcurrido algún tiempo después de terminadas las terracerías y no se haya colocado el revestimiento o el pavimento, deberán afinarse nuevamente antes de la colocación de éstos.

3.3.2 CAPA SUBRASANTE.-

La subrasante en el perfil de las terracerías del camino compuesto por líneas rectas que son las pendientes unidas por arcos de curvas parabólicas verticales.

Las pendientes se proyectan al décimo como 4.1%, 3.7%, etc., a no ser que un motivo determinado como igualdades, ligas, etc., obligue a calcular una pendiente fraccionaria que necesitará todos los decimales que se requiera para dar la diferencia de niveles entre los dos puntos que ligan. Según sea el sentido del cadenamamiento, las pendientes ascendentes se marcan con signo positivo y las descendentes con signo negativo. Ver Figura Núm. 22

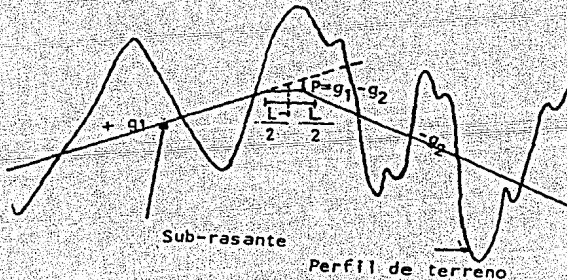


Figura Núm. 22

La subrasante que se proyecte debe compensar todo lo que sea posible, los cortes con los terraplenes en el sentido longitudinal y aún transversal - cuando se aloje en una ladera que permita la compensación lateral. Cuando la ladera sea muy inclinada y no se detienen los terraplenes, en el perfil aparece la subrasante como una línea mal compensada, continuamente en desperdicio, pero justificado ya que el camino debe alojarse totalmente en firme. Para proyectar la subrasante debe tenerse en cuenta las especificaciones de pendiente máxima y de longitud de curvas verticales, además de la conveniencia de no usar contrapendientes innecesarias, ni excesiva cantidad de quiebres que darían un aliniamiento vertical defectuoso, para el tránsito de vehículos el cual debe ser seguro y cómodo.

La capa subrasante sirve de soporte al pavimento; esta capa constituye la parte superior de las terracerías, con espesor mínimo de 30 cm y está siempre formada por un suelo (material pasando 100% la malla de 3"), de calidad adecuada y debidamente compactado.

La resistencia de la capa subrasante puede determinarse, según el propio método de diseño, mediante pruebas de CBR, pruebas de estabilómetro de HVEAM (valor de R) o pruebas de placa de 12" (valor soporte). En el caso de pavimentos rígidos la resistencia de la capa subrasante se mide generalmente por la prueba de módulo de reacción (valor de k).

Por considerarlo de interés para el ingeniero proyectista de pavimentos, - en seguida se enumeran las principales funciones de la capa subrasante.

- 1.- Resistir los esfuerzos de los vehículos, que son transmitidos por el pavimento.
- 2.- Transmitir los esfuerzos anteriores, al resto de las terracerías, distribuyéndolos de tal manera que puedan ser resistidos por los materiales subyacentes.

- 3.- Evitar la contaminación de la parte inferior del pavimento con los materiales que forman el cuerpo del terraplén.
- 4.- Evitar la incrustación del pavimento en el cuerpo del terraplén, en el caso de que esté formado por fragmentos de roca.
- 5.- Evitar que las imperfecciones de la cama de los cortes en roca se reflejen en la superficie de rodamiento.
- 6.- Disminuir el costo de las capas de pavimentos principalmente cuando no se tienen terracerías de baja calidad.
- 7.- Uniformar los espesores requeridos de pavimento, al compensar la variación de resistencia en la terracería.

En los casos en que se tengan terrenos naturales con bajo valor de soporte o cuando en los terraplenes se utilicen, por necesidad, materiales con rebote elástico, conviene colocar subrasante mejorada con cemento o cal, para que los esfuerzos se distribuyan en zonas mucho más amplias y lleguen a las capas inferiores bastante disminuidos.

3.4 PAVIMENTO.-

En la actualidad, se entiende por pavimento al conjunto de capas constituidas por materiales seleccionados, que proporciona una superficie de rodamiento adecuada, que resiste los esfuerzos originados por el tránsito y los transmite, adecuadamente distribuidos, a las terracerías. Convencionalmente, se clasifica a los pavimentos en flexibles y rígidos. Los primeros son aquéllos que como superficie de rodamiento tienen una carpeta asfáltica, en cambio, los segundos, cuentan con una losa de concreto hidráulico, la cual trabaja monolíticamente y transmite los esfuerzos a una zona más amplia de las capas inferiores en relación con los pavimentos flexibles. Ver Figura Núm. 23

PAVIMENTO FLEXIBLE

PAVIMENTO RIGIDO

RIEGO DE SELLO

CARPETA

BASE

SUB-BASE

CAPA SUBRASANTE

LOSA DE CONCRETO HIDR.

SUB-BASE

CAPA SUBRASANTE

FIGURA NUM. 23

3.4.1 PAVIMENTO FLEXIBLE.-

Las capas que generalmente constituyen un pavimento flexible, mencionadas de las superiores a las inferiores, son: Carpeta asfáltica (con o sin sello) base y subbase. El pavimento se construye sobre las terracerías que están formadas por la capa subrasante y el cuerpo del terraplén y la estructura se apoya en el terreno natural. Ver Figuras Nums. 24, 25 y 26

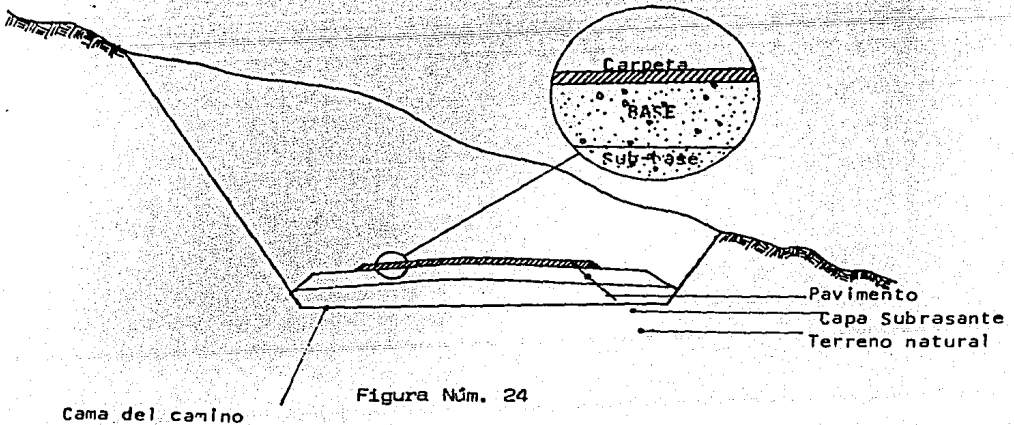


Figura Núm. 24

Cama del camino

SECCION EN TERRAPLEN

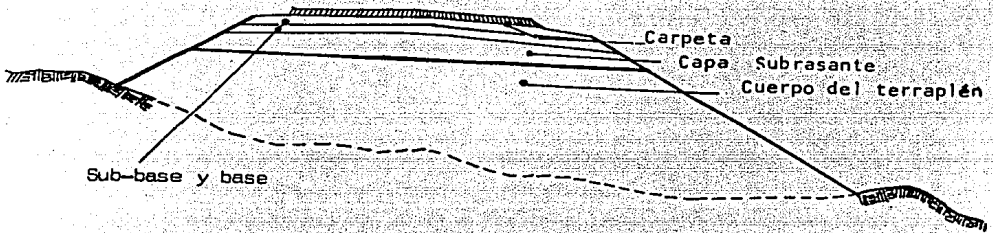


Figura Núm. 25

SECCION EN BALCON

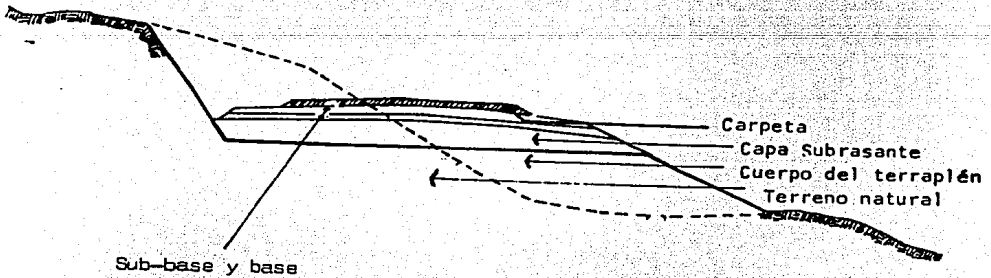


Figura Núm. 26

En general, los métodos actuales de proyecto de pavimento flexibles se basan en los tres aspectos siguientes:

- 1.- Teorías de distribución de esfuerzos y fallas.
- 2.- Pruebas de resistencia.
- 3.- Correlación de los aspectos anteriores con el comportamiento real de los pavimentos.

De acuerdo con la definición de pavimento, será necesario asegurarse de que los esfuerzos originados por el tránsito, que efectúen en las diferentes capas y en las terracerías sean de tal manera que la suma de las deformaciones, acumuladas durante la vida útil de la obra, sean menores o cuando menos iguales a la deflexión total permitida en la superficie de rodamiento.

Los principales problemas que el ingeniero debe resolver para proyectar adecuadamente los pavimentos, son los mismos a los que se enfrenta en la mecánica de suelos: resistencia y deformación. Por ello es necesario conocer la distribución de los esfuerzos en la estructura de una obra vial, originados por las cargas impuestas por el tránsito, sobre la superficie de rodamiento ya sea una calle o una carretera.

3.4.1.1 SUB-BASE.-

En las sub-bases de pavimentos flexibles pueden emplearse materiales naturales sin tratar o con algún tratamiento, o materiales estabilizados mediante la adición de ciertos productos como cal hidratada, cemento Portland o diferentes tipos de asfaltos; los tratamientos pueden consistir en disgregación cribado, lavado, trituración parcial cribado y trituración total. También pueden emplearse en dichas capas, mezcla de 2 o más suelos tratados o sin tratar. Igualmente, en el caso de estabilizaciones con algún producto de los señalados anteriormente, se pueden utilizar materiales con algún tratamiento o materiales sin tratar.

Los materiales para sub-bases tienen un tamaño máximo de 2", cuando se puede usar sin ningún tratamiento o cuando solo requiere disgregación o cribado. Si es necesario triturarlos parcial o totalmente y cribarlos, el tamaño máximo es de $1\frac{1}{2}$ ".

En un pavimento de asfalto, o flexible, la sub-base es la capa de material que se construye directamente sobre la terracería y que está formada por un material de mejor calidad que el de aquella; la sub-base tiene como función:

a) Reducir el costo del pavimento disminuyendo el espesor de la base que se construye, generalmente con materiales de mayor costo por tener que cumplir con especificaciones más rígidas; b) Protege a la base aislándola de la terracería, ya que cuando ésta está formada por material fino y plástico y — cuando la base es de textura abierta, de no existir el aislamiento dado por el material de sub-base, el material de la terracería se introduciría en la base pudiendo provocar cambios volumétricos perjudiciales al variar las condiciones de humedad, al igual que se disminuiría la resistencia estructural de la base.

Cuando un material de sub-base no tiene el valor cementante requerido, es necesario mezclarle pequeñas cantidades de materiales cuyos finos tengan — índices plásticos menores de 12%, o una contracción lineal menor de 4%. En general se utilizan arenas limo-arcillosas de origen calizo o silicoso, en proporciones que varían de 10 a 20%. Se deberá tener especial cuidado de — no abusar en el uso de materiales cementantes, pues si tienen contracciones lineales altas, en lugar de mejorar el material original, se pueden obtener mezclas con VRS o plasticidad fuera de especificaciones.

3.4.1.2 BASE.—

Tanto las sub-bases como las bases son capas sucesivas de materiales seleccionados que se construyen sobre la subrasante y cuya función es soportar —

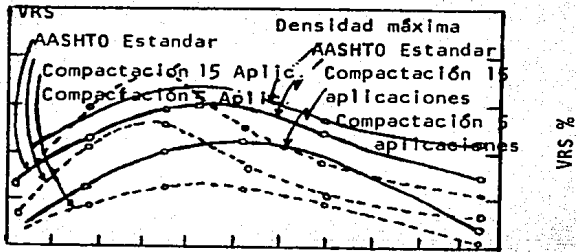
las cargas rodantes y transmitir las a las terracerías, distribuyéndolas en tal forma que no se produzcan deformaciones perjudiciales en estas. Los materiales para bases tienen un tamaño máximo de 2", cuando se pueden usar sin ningún tratamiento o cuando sólo requieren disgregación o cribado. Si es necesario triturarlos parcial o totalmente y cribarlos, el tamaño máximo es de 1 1/2". En las sub-bases o bases estabilizadas con asfalto, pueden usarse materiales con tamaños máximos hasta de 1 1/2".

Como en el caso de la sub-base, cuando un material base no tiene el valor cementante requerido, es conveniente mezclarle pequeñas cantidades de materiales cuyos finos tengan índices plásticos menores de 12% o contracción lineal menor de 4.0%. En general se utilizan arenas limo-arcillosas de origen calizo o silíceo de proporción que varían de 10 a 20%. Se deberá tener especial cuidado de no abusar en el uso de los materiales cementantes, pues si tienen contracciones lineales altas, en lugar de mejorar el material original, se pueden obtener mezclas con VRS o plasticidad fuera de especificaciones. Al cementar adecuadamente una base para carpetas delgadas, se obtiene:

- 1.- Sustentación adecuada a las carpetas, capaz de resistir los esfuerzos horizontales.
- 2.- Aumentar la eficiencia de la operación de compactación, pues un material inerte requiere más energía para alcanzar un cierto grado de compactación, que el mismo material cementado adecuadamente.
- 3.- Facilidad de mantenimiento en la etapa de construcción.
- 4.- Aumento de la resistencia general de los materiales.

Con respecto al último aspecto se han publicado los resultados de pruebas de resistencia efectuadas a materiales cementados con diferentes cantidades de finos que pasan la malla 200 (prueba de VRS), como se observa en la Figura Núm. 27

PESO ESPECIFICO SECO lb/PIE³

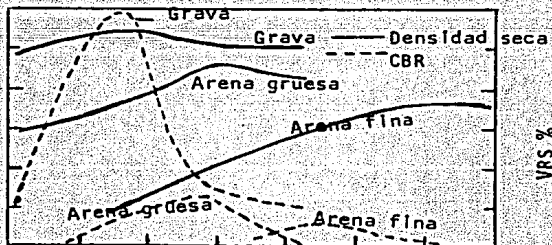


Por ciento que pasa la malla 200
 VARIACION DEL PESO ESPECIFICO Y VRS CON LA CANTIDAD DE FINOS

Figura Núm 27

Con el contenido de partículas finas las resistencias aumentan hasta un máximo, para luego disminuir en forma brusca; esto mismo pasa si se utilizan materiales con índice plástico alto, lo cual excede a la práctica nacional, — pues ante todo, como ya se dijo, se cuida que las mezclas cumplan las especificaciones en cuanto a VRS y plasticidad. Ver Figuras Núms. 28, 29 y 30

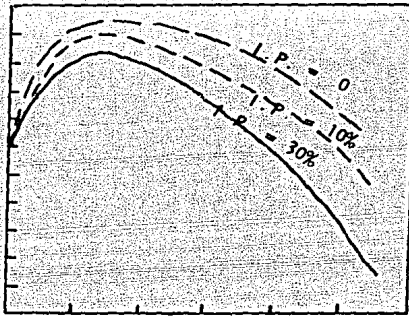
PESO ESPECIFICO SECO lb/PIE³



Por ciento que pasa la malla 200

Figura Núm 28

Resistencia triaxial con 15 lb/pulg²
de presión lateral (lb/pulg²)

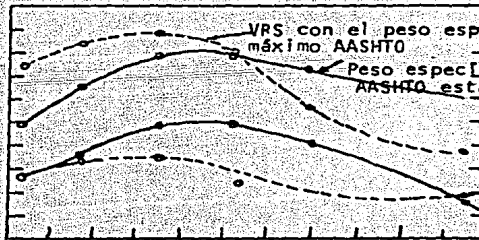


Por ciento que pasa la malla 30

EFFECTO DE LA PLASTICIDAD SOBRE LA RESISTENCIA DE UNA GRAVA. TA-
MAÑO MAX. DE 1"

Figura Núm 29

Peso específico seco lb/plie³



VRS%

Por ciento que pasa la malla 200

VARIACION DEL PESO ESPECIFICO Y VRS CON LA CANTIDAD DE FINOS
(piedra triturada)

Figura Núm 30

La construcción de la sub-base o de la base se iniciará cuando las terracerías o la sub-base, según sea el caso, estén terminadas dentro de las tolerancias fijadas en las Normas. La descarga de los materiales que se utilizan en la construcción de sub-bases o bases deberá hacerse sobre la subsistente o sub-base, según sea el caso, en la forma y en los volúmenes por estación de 20 m ya establecidos.

Los procedimientos de ejecución de la sub-base y base, así como sus proporcionamientos, serán fijados en el proyecto. En términos generales, la secuencia de éstas operaciones es la siguiente:

- a) Cuando se empleen 2 o más materiales, se mezclarán en seco con objeto de obtener un material uniforme.
- b) Cuando se empleen motoconformadoras para el mezclado y el tendido se extenderá parcialmente el material y se procederá a incorporarle agua de riegos y mezclados sucesivos, para alcanzar la humedad que se fije y obtener homogeneidad. A continuación se extenderá el material en capas sucesivas de materiales sin compactar, cuyo espesor no deberá ser mayor de 15 cm.
- c) Cada capa extendida se compactará hasta alcanzar el grado mínimo fijado en el proyecto, sobreponiéndose las capas hasta obtener el espesor y sección fijados en el proyecto y el residente podrá ordenar que cualquier capa ya compactada se escarifique superficialmente y se le agregue agua, si es necesario, antes de tender la siguiente capa, a fin de ligarlas debidamente. Podrá efectuarse la compactación en capas de espesores mayores que el indicado en el párrafo b) de este punto, siempre que se obtenga la compactación fijada en el proyecto y/o ordenada por el Residente.
- d) Cuando se emplee otro equipo para el mezclado y tendido, tanto el equipo como el procedimiento de construcción deberán ser previamente aprobados por el Residente de la obra.

- e) En las tangentes, las compactaciones se iniciarán de las orillas hacia el centro y en las curvas, de la parte interior de la curva hacia la parte exterior.

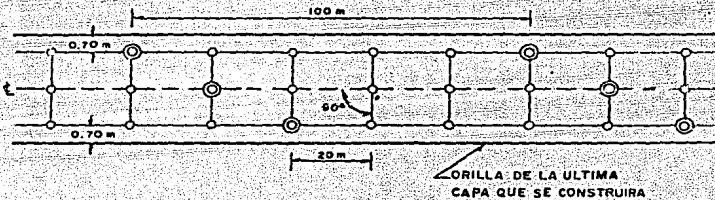
Para dar por terminada la construcción de la sub-base y de la base, se verificarán el aliniamiento, perfil, sección, compactación, espesor y acabado, de acuerdo con lo fijado en el proyecto y las siguientes tolerancias:

	Sub-base	Base
a) Ancho de la sección, del eje a la orilla, para carreteras.	+ 10	+ 10 cm
b) Nivel de la superficie, en sub-bases para losas de concreto hidráulico y en bases para carpetas asfálticas.	± 1 cm	± 1 cm
c) Pendiente transversal, para carreteras.	$\pm \frac{1}{2}\%$	$\pm \frac{1}{2}\%$
d) Profundidad de las depresiones, observadas colocando una regla de 3 m de longitud para carreteras, — paralela y normalmente al eje, máximo.	2 cm	1.5 cm
e) En espesores para carretera, la raíz cuadrada del promedio de los cuadros de las diferencias calculadas restando al espesor real obtenido en cada punto de prueba, el espesor real promedio correspondiente a todos los puntos de prueba siempre deberá ser — igual o menor que (0.14) del espesor real promedio de la sub-base para el caso de pavimentos flexibles, igual o menor que (0.12) del espesor real promedio de la sub-base de pavimentos rígidos.		

La operación de mezclado, tendido y compactación de materiales para sub-base y base, se medirá tomando como unidad el m^3 de material compactado de la sub-base o base, considerando el volumen que indique el proyecto y verificándolo de acuerdo con la sección en su forma, espesor, anchura, acabado y el grado

de compactación fijados. La operación de escarificación, disgregado en su caso, mezclado, acamellonado, tendido y compactación de los materiales para la construcción de sub-bases o bases, se medirá tomando como unidad el m^3 de material compactado en la sub-base o base. Ver Figura Núm. 31.

PUNTOS DE VERIFICACION CARRETERAS



- PUNTOS DE NIVELACION
- ⊙ PUNTOS DE NIVELACION Y SONDEO PARA COMPACTACION

Figura Núm. 31

3.4.1.3 CARPETA.—

Los materiales para la construcción de carpetas son materiales pétreos seleccionados por sus características físicas.

Las carpetas asfálticas empleadas en los pavimentos flexibles se pueden clasificar así:

- | | | |
|-------------------------------|---|--|
| a) Tratamientos superficiales | } | <ul style="list-style-type: none"> Simple o de un riego Doble o de dos riegos Triple o de tres riegos |
|-------------------------------|---|--|

- Elaborada con motoconformadora.
- b) Mezcla en el lugar
Elaborada con mezcladora ambulante.
- c) Mezcla en planta dosificada por volumen.
Dosificado por peso en planta,
- d) Concreto asfáltico
empleando cemento asfáltico y agregados calientes.

Es necesario hacer notar que para construir cualquiera de estas carpetas, se debe contar de antemano con una base debidamente conformada, compactada, impregnada y seca.

Tratamiento superficial simple:

Sobre la base de pavimento ya compactada, impregnada y seca se da un riego de producto asfáltico del tipo FR-3 a razón de 1.5 a 2 lts./m² e inmediatamente se cubre con material pétreo número 3A (clasificado entre las mallas de 3/8" a # 8) a razón de 6 a 8 lts./m², se rastrea para uniformar la superficie y se compacta con plancha liviana de 5 a 8 Ton., pudiendo abrirse al tránsito unos días después, debiendo barrerse de la superficie el material pétreo sobrante para evitar que propicie la formación de ondulaciones en la carpeta. Esta carpeta asfáltica es aconsejable para tránsito inferior a 200 vehículos por día.

Tratamiento superficial doble:

Sobre la base de pavimento ya compactada, impregnada y seca, se da un riego de producto asfáltico tipo FR-3 a razón de 2 lts./m² e inmediatamente se cubre con material pétreo número dos (clasificado entre las mallas de 1/2" y 3/4") a razón de unos 12 a 14 lts./m², se rastrea y se plancha con aplanadora liviana de 5 a 8 Ton., de peso; 2 ó 3 días después, se barre y se le da

un nuevo riego de producto asfáltico tipo FR-3 a razón de 1.5 a 2 lts./m² y se cubre inmediatamente con material pétreo # 38 (clasificado entre las mallas de $\frac{1}{4}$ " y #8), se rastrea para uniformar la superficie, y se plancha con aplanadora pequeña de 5 a 8 Ton., de peso. Este tipo de carpeta asfáltica es aconsejable para un tránsito inferior a 600 vehículos por día.

Tratamiento superficial triple:

La carpeta asfáltica formada por tres riegos se construye de la siguiente manera: Sobre la base de pavimento compactada, impregnada y seca, se da un riego de producto asfáltico del tipo FR-3 a razón de 2.5 lts/m² e inmediatamente después se cubre con un material pétreo número 1 (clasificado entre las mallas 1" y $\frac{1}{2}$ ") a razón de 20 a 22 lts/m², se rastrea y se plancha con aplanadora pequeña de 5 a 8 Ton. de peso. Dos o tres días después se barre el material pétreo sobrante y se coloca sobre ésta un tratamiento de dos riegos en la forma descrita, esta carpeta asfáltica admite perfectamente bien un tránsito hasta de 1000 vehículos por día.

Los materiales pétreos seleccionados que se empleen en la construcción de carpetas y mezclas asfálticas, requieran o no lavado, deberán ser de los tipos que se indican a continuación:

 Materiales que requieren ser cribados.

 Materiales que requieren ser triturados parcialmente y cribados.

 Materiales que requieren ser triturados totalmente y cribados.

Los materiales que requieren ser cribados son los poco o nada cohesivos — que al extraerlos quedan sueltos y que deben ser cribados según una de las condiciones siguientes:

- a) Por una malla, para eliminar el desperdicio de tamaños mayores de : —
25 mm (1"); 19 mm (3/4"); 13mm (1/2"); 6mm (1/4").
- b) Por dos mallas, para eliminar el desperdicio de tamaños mayores de : —

25 mm (1"); 19 mm (3/4"); y los tamaños menores que en cada caso se especificuen.

- c) Por tres mallas, para eliminar el desperdicio de tamaños mayores de: 25 mm (1"); 19 mm (3/4"); y obtener además, en cada caso, materiales — separados con tamaños máximos de 13 mm (1/2") y 6 mm (1/4").
- d) Por varias mallas para producir los materiales pétreos necesarios para la construcción de carpetas por el sistema de riegos, es decir: uno de los materiales 3-A, 3-B o 3-E, con dos mallas; materiales 2 y 3-B, con tres mallas; materiales 1, 2 y 3-B con 4 mallas.

Los materiales que requieren ser cribados deberán ser extraídos del banco y cribados por las mallas fijadas, utilizando medios mecánicos que aseguren — la separación y eliminación de desperdicios y la separación, en su caso, en los tamaños especificados. Los materiales que requieren ser triturados parcialmente y cribados deberán ser extraídos del banco, triturados y cribados a través de las mallas fijadas, utilizando medios mecánicos que aseguren la trituración y separación, en su caso, en los tamaños especificados. El material deberá hacerse pasar totalmente por el equipo, aunque sólo una parte de él se triture, determinando previamente el porcentaje por triturar.

Los materiales que requieren ser triturados totalmente y cribados deberán — ser extraídos, pepenados u obtenidos del depósito natural o desperdicio, — triturados y cribados por las mallas fijadas, con el equipo mecánico para — satisfacer la composición granulométrica requerida o la separación, en su — caso, en los tamaños estipulados.

Los volúmenes de los materiales producto de la explotación de bancos, tanto de los aprovechables como de los desperdicios y de sus maniobras y trata— mientos, se medirán tomando como unidad el m³. La extracción de los mate— riales producto de la explotación de bancos, tanto de los aprovechables como de los desperdicios, se medirá seccionando el banco después del despalme y al término su explotación, para obtener el volumen extraído, por el méto

do del promedio de áreas extremas; los volúmenes obtenidos se clasificarán en materiales A, B y C, como corresponda.

3.4.1.4 RIEGO DE SELLO.-

El riego de sello consiste en la aplicación de un material asfáltico, cubierto con una capa de material pétreo, para impermeabilizar la carpeta, protegerla del desgaste y proporcionar una superficie antiderrapante.

Los materiales pétreos que se empleen en la construcción de riego de sello serán los números 3-A ó 3-E, indicados en la Tabla Núm. 21

De acuerdo con lo fijado en el proyecto, los materiales asfálticos que se empleen en la construcción de riego de sello, serán cementos asfálticos, asfaltos rebajados de fraguado rápido o emulsiones de rompimiento rápido. Cuando se requiera un aditivo para los materiales asfálticos, será fijado en el proyecto y/o ordenado por el Residente de la obra.

Antes de aplicar el riego de sello, la superficie por tratar deberá estar — seca barrida para dejarla exenta de materiales extraños y polvo.— En cada caso, tomando en cuenta las condiciones de la carpeta por sellar y las características del material pétreo que se empleará en el riego, el laboratorio — determinará mediante pruebas sobre la carpeta por sellar, las cantidades que tanto de los materiales pétreos como de asfalto, deban utilizarse para el — riego de sello. En términos generales, las cantidades de materiales que deban aplicarse, en litros por metro cuadrado, estarán comprendidas dentro de los límites que se indican en la tabla Núm. 25

En cada caso el proyecto señalará la granulometría correspondiente, de acuerdo con los requisitos fijados en el diseño de mezcla. La granulometría del material cumple con los requisitos de proyecto, si está dentro de las siguientes tolerancias, ver Tabla Núm. 24

TABLA NUM. 24

TAMAÑO DEL MATERIAL PETREO		TOLERANCIA, POR CIENTO EN PESO DEL MATERIAL PETREO
MALLA QUE PASA	RETENIDO EN MALLA	
Correspondiente al tamaño máximo.	4.76 mm (Núm. 4)	± 5
4.76 mm (Núm. 4)	2.00 mm (Núm. 10)	± 4
2.0 mm (Núm. 10)	0.420 mm (Núm. 40)	± 3
0.420 mm (Núm. 40)	0.074 mm (Núm. 200)	± 1
0.074 mm (Núm. 200)	.....	± 1

TABLA NUM. 25

M A T E R I A L E S	TAMAÑO DEL MATERIAL	
	PÉTREO	
	3-A	3-B
Cemento asfáltico (lt/m ²)	0.7 a 1.0	0.8 a 1.0
Material pétreo (lt/m ²)	9 a 10	9 a 10

- 1) El cemento asfáltico considerado en esta tabla se refiere al que existe en los materiales asfálticos que se empleen.
- 2) Para calcular la cantidad de material asfáltico por aplicar, deberá dividirse al valor anotado en esta tabla, entre el contenido de cemento que presente el material asfáltico utilizado, ambos expresados en litros.

Deberá disponerse oportunamente del equipo de esparcidores mecánicos y del material pétreo necesario para cubrir de inmediato el riego de material asfáltico recién aplicado.

No deberán regarse con material asfáltico tramos mayores de los que puedan ser cubiertos de inmediato con material pétreo. El Residente deberá indicar la longitud del tramo que se deba regar y el momento en que deba cubrirse con el material pétreo.

En riego de sello, no deberá regarse material asfáltico si el material pétreo con que se cubrirá el riego contiene una humedad superior a la de la absorción o tiene agua superficial, aun cuando se usen aditivos, excepto -

cuando se empleen emulsiones, en cuyo caso el Residente fijará la humedad aceptable.

Al hacerse la aplicación del material asfáltico deberá tenerse especial cuidado para evitar que haya traslape con un riego anterior. En el punto donde se inicie cada riego se colocarán una o más tiras de papel u otro material que autorice previamente el Residente, protegiendo el riego anterior, de manera que el nuevo riego se empiece desde la protección y al retirarse ésta, quede la aplicación sin traslape.

Para la ejecución de riego de sello, en términos generales, se procederá de acuerdo con las etapas siguientes:

- a) Se barrerá la superficie por tratar.
- b) Se dará el riego de material asfáltico, del tipo y en la cantidad fijados en el proyecto o por el Residente.
- c) Se cubrirá el riego de material asfáltico con una capa del material pétreo que fije el proyecto o indique el Residente.
- d) Se rastreará y planchará el material pétreo.
- e) Se recolectará mediante barrido y se removerá el material pétreo excedente que no se adhiere al material asfáltico, depositándolo en el lugar que señale el Residente.

Cuando se ordene que se hagan 2 aplicaciones de material asfáltico, se dejarán transcurrir algunos días después de aplicado el primer riego y cuando lo indique el Residente o el laboratorio, se hará la siguiente aplicación:

El tendido de los materiales pétreos se hará con esparcidores mecánicos y para tener una mejor distribución de los mismos, se les pasará una rastra ligera de cepillos de fibra o de raíz, dejando así la superficie exenta de

ondulaciones, bordos y depresiones.

Los materiales pétreos, tendidos y rastreados, se plancharán inmediatamente con rodillo liso ligero únicamente para acomodar las partículas del material, teniendo especial cuidado para no fracturarles por exceso de planchado.

A continuación se plancharán con compactador de llantas neumáticas con peso de 4500 kg a 7300 kg, pasando una rastra de cepillos de fibra o de raíz las veces que se considere necesario, para mantener uniformemente distribuido el material y evitar que se formen bordes y ondulaciones.

3.4.2 PAVIMENTO RIGIDO.-

Los pavimentos rígidos se usan en México principalmente en áreas pavimentadas de aeropuertos importantes (por el tipo de aeronaves que los operan), o en las calles de ciudades. Prácticamente no se han usado en carreteras, seguramente porque su costo inicial de construcción es relativamente alto.

Los pavimentos rígidos están constituidos por una sub-base y una losa de concreto hidráulico. Ver figura Núm. 23

En el caso de los pavimentos de concreto hidráulico, son fundamentales el módulo de resistencia a la flexión del concreto y el coeficiente de seguridad que se tome para el diseño, entendiéndose por este coeficiente como la relación que existe entre el módulo de resistencia a la flexión del concreto y el máximo esfuerzo de trabajo del mismo, inducido por efectos de las cargas.

Según amplias experiencias que se tienen al respecto, se han determinado que cuando el concreto está trabajando a un esfuerzo igual o menor al 50% de su módulo de resistencia a la flexión (coeficiente de seguridad igual

o mayor de 2). Puede soportar un número infinito de repeticiones de la carga que origina dicho esfuerzo, sin sufrir fallos por fatiga.

Los pavimentos de concreto hidráulico están sujetos a los esfuerzos siguientes:

- a) Esfuerzos abrasivos causados por las llantas de los vehículos.
- b) Esfuerzos directos de compresión y de cortante causados por las cargas de las ruedas.
- c) Esfuerzos de compresión y tensión que resultan de la deflexión de las losas bajo las cargas de las ruedas.
- d) Esfuerzos de compresión y tensión causados por la expansión y contracción del concreto.
- e) Esfuerzos de compresión y tensión debidos a la combadura del pavimento por efectos de los cambios de temperatura.

En virtud de estar los pavimentos rígidos sujetos a los esfuerzos ya anotados, es notorio que para que estos pavimentos cumplan en forma satisfactoria y económica la vida útil que de ellos se espera, es necesario que su proyecto esté basado en los factores siguientes:

- a) Volumen, tipo y peso del tránsito a servir en la actualidad y en un futuro previsible.
- b) Valor relativo de soporte y características de la capa subrasante.
- c) Clima de la región.
- d) Resistencia y calidad del concreto a emplear.

3.4.2.1 SUB-BASE.-

En las sub-bases de pavimentos rígidos y bases de pavimentos flexibles pueden utilizarse materiales naturales sin tratar o con algún tratamiento, o materiales estabilizados mediante la adición de ciertos productos como cal hidratada, cemento Portland o diferentes tipos de asfaltos; los tratamien-

tos pueden consistir en disgregación cribado, lavado, trituración parcial y cribado y trituración total. También pueden emplearse en dichas capas mezclas de dos o más suelos tratados o sin tratar. Igualmente en el caso de estabilizaciones con algún producto de los señalados anteriormente, se pueden utilizar materiales con algún tratamiento o materiales sin tratar.

A la sub-base de los pavimentos rígidos, una vez compactada debidamente, se les da un riego de impregnación, principalmente para que no se deteriore durante las maniobras de construcción de las losas de concreto hidráulico. Impermeabiliza en cierta forma este riego a la citada sub-base, evitando pérdidas de agua en el concreto fresco. Es común que las características de los materiales que se emplean en la sub-base de estos pavimentos, se fijen con las mismas normas establecidas para los materiales de base de pavimentos flexibles.

3.4.2.2 LOSA DE CONCRETO HIDRAULICO.-

Los pavimentos rígidos se construyen con losas de concreto hidráulico, con o sin acero, cuya función es soportar y transmitir las cargas que actúan sobre ellas.

Las losas tendrán las características fijadas en el proyecto, tanto por lo que hace a sus dimensiones y todas las condiciones propias de este tipo de obra, como a la calidad del concreto con que se elaboren.

Cuando en las losas de concreto hidráulico se usen varillas de acero de refuerzo, el proyecto fijará tipo, diámetro, espaciamiento y posición de las mismas.

Cuando las losas sean de concreto presforzado, el proyecto fijará tipo, posición y tensión del acero de presfuerzo.

La cimbra será metálica y con una altura igual al espesor de las losas.

Los moldes se engrasaran o aceitarán y se asegurarán firmemente a la superficie de la sub-base para impedir su desplazamiento al colar el concreto y salvo indicación en contrario, no deberán removerse antes de transcurridas 8 horas antes de haber terminado el colado.

Las juntas longitudinales y transversales deberán construirse del tipo, dimensiones y la ubicación que fije para cada una de ellas el proyecto.

Cuando el proyecto no indique otra cosa, las juntas transversales de contracción deberán construirse aserrando el concreto, antes de que éste comience a endurecer, pero cuando ya tenga la consistencia suficiente para que no se desgrane con la sierra. El Residente fijará oportunamente el ancho y la profundidad de la ranura.

El relleno de las ranuras deberá hacerse dentro de un plazo tal que la presencia en ellas de cuerpos extraños no propicie fallas de orilla al producirse las expansiones de las losas. Antes del relleno se deberá limpiar y secar la ranura con aire a presión. Los métodos de aplicación y los materiales de sello que se utilicen, deberán ser previamente aprobados por el laboratorio o por el Residente.

La compactación se hará por medio de baterías de vibradores de inmersión, en el número y de la frecuencia adecuados. El acabado se podrá hacer con equipo mecánico dotado de aditamentos de enrasado, oscilatorios y/o vibratorios superficiales o a mano, usando vibradores de inmersión portátiles y regla vibratoria para el acabado superficial. Para el aplanado se usarán llanas grandes y con mango largo, que permitan su manejo desde afuera de los moldes. El afinado se debe ejecutar mediante bandeado y/o escobillado perpendiculares al eje de la losa.

Inmediatamente después de terminadas las operaciones de acabado de la superficie se procederá al curado, aplicando a la superficie expuesta una -

membrana impermeable que impida la evaporación del agua que contiene la masa de concreto; la clase, cantidad y forma de aplicación del producto que se emplee serán fijados en el proyecto y/o ordenados por el Residente o por el laboratorio.

Para dar por terminada la construcción de las losas de concreto hidráulico, se verificará el alineamiento, el perfil y la sección en su forma, espesor, anchura y acabado, de acuerdo con lo fijado en el proyecto, con las siguientes tolerancias:

- | | |
|---|-------------------------------|
| 1) Anchura de la superficie, del eje a la orilla | + 1 cm |
| 2) Pendiente transversal con respecto a la de proyecto. | ± 0.5% |
| 3) Profundidad máxima de las depresiones, observadas colocando una regla metálica de 3 m de longitud paralela al eje de la carretera y con un espaciamiento de 2 m, — transversalmente. | 0.5 cm |
| 4) En el 80% como mínimo del número total de los espesores determinados. | $e_r \geq e$ |
| 5) En el 20% como máximo del número total de los espesores determinados. | $e_r \geq e - 0.5 \text{ cm}$ |

Donde e_r significa espesor determinado o real y e significa espesor de proyecto.

CAPITULO IV

CONTROL DE LA CALIDAD DURANTE LA CONSTRUCCION DE UNA CARRETERA.

4.1 CONCEPTO DE CALIDAD.- La calidad puede definirse como el grado en que un bien, un material o producto, un servicio, satisfacen los requisitos establecidos para una determinada finalidad, al menor costo posible. El menor costo es una meta de todo trabajo de ingeniería, pero el menor costo no en aras del nivel de calidad, sino el menor costo cumpliendo con los requisitos preestablecidos.

Es conveniente recalcar que la calidad final de una obra, no sólo es la que se obtiene durante su ejecución. En realidad, la calidad comienza desde la concepción de la obra misma, es decir es un concepto más amplio que abarca la planeación de dicha obra, su diseño ejecución y conservación.

Aquí nos referimos principalmente a la calidad de ejecución de la obra, pero no hay que perder nunca de vista las otras etapas que la calidad comprende y que no son menos importantes que la de su propia ejecución; el resultado conjunto de todas estas etapas será el que haga que dicha obra cumpla con los objetivos para los que fue concebida.

4.2 MECANISMOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD QUE UTILIZA LA SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES (S.C.T.)

Ya se mencionó anteriormente que la Secretaría de Comunicaciones y Transportes es la Dependencia del Gobierno Federal que construye y conserva la mayoría de los caminos de la red del País. Se describirán a continuación por este motivo, los mecanismos que la citada Secretaría utiliza para verificar la calidad de estas obras.

Para el control de calidad durante la ejecución de sus obras, la S.C.T., tiene instalaciones de laboratorios en todo el País, que cuentan con los elementos necesarios para realizar este trabajo. Existen actualmente un número aproximado de 250 laboratorios dedicados a las actividades del con

trol de calidad, cuya ubicación en un momento dado depende de los lugares en que la Secretaría esté ejecutando sus obras. Se tiene también importantes instalaciones de laboratorios aquí en la ciudad de México, las cuales están adscritas a la Dirección General de Servicios Técnicos de la propia Secretaría y que cuentan con equipo muy completo y moderno para realizar todo tipo de ensayos. Estos laboratorios centrales auxilian a los laboratorios de campo en la ejecución de pruebas que éstos no pueden efectuar — por carecer de los elementos necesarios; también atienden obras que la Secretaría construye en el D.F., y en sus alrededores.

Las obras importantes, en cuanto a los montos de inversión, la Secretaría — las otorga mediante concursos a empresas constructoras con experiencia, seriedad y responsabilidad reconocidas, a las que previamente selecciona e — invita a participar en los concursos. Estas empresas están obligadas a contar con un laboratorio de materiales que durante la ejecución de la obra — les permita confiar que el trabajo que van efectuando se apega al proyecto y a las normas y especificaciones establecidas por la propia Secretaría.

Este requisito de que las empresas constructoras cuenten con un laboratorio de materiales, tiene muchas ventajas para ellas mismas, pues les asegura — que cuando el laboratorio de la S.C.T., les verifique la calidad, ésta se — habrá cumplido. De otra manera, tendrían que estar sujetas a tener que demoler o a hacer de nuevo una obra mal ejecutada, distrayendo recursos de — personal, maquinaria, materiales, etc., que ya estaban dedicados a otras — actividades dentro de la misma obra. En ocasiones cuando no se reúnen los requisitos de calidad, pero de acuerdo con el proyecto no se pone en peligro la estabilidad y buen comportamiento de la obra, la Secretaría aplica a las empresas constructoras ciertas sanciones económicas por no efectuar un buen trabajo. Desde luego que los resultados de prueba que la Secretaría toma en cuenta para cerciorarse de la calidad de las obras, son los —

que obtienen sus propios laboratorios. Sin embargo, como en sus especificaciones generales de construcción la mencionada Secretaría fija los métodos de prueba que deben seguirse para conocer la calidad de las obras y — dado que la empresa contratista tiene que apearse a dichos métodos de — prueba, los resultados de los laboratorios de las empresas deben ser muy — similares a los que obtienen los laboratorios de la Secretaría.

Estos últimos laboratorios reportan o informan los resultados de sus pruebas a los Residentes de las obras y emiten recomendaciones para corregir — alguna deficiencia de calidad que se presente, bien sea en las características de los materiales utilizados o en los procedimientos de construcción que se estén aplicando, lo cual viene a ser un gran auxilio para dichos — Residentes, ya que tienen una base para exigir oportunamente al contratista las correcciones de aquellas partes de la obra que no cumplieron con la calidad especificada o, si el caso lo requiere, para ordenarle demoler y — efectuar la reposición de los trabajos defectuosos, cosa que están en libertad de hacer debido a que la empresa constructora, al conferírsele el contrato para la ejecución de la obra, se compromete a realizarla de acuerdo — con el proyecto y las especificaciones correspondientes.

Como los laboratorios de la Secretaría no únicamente realizan pruebas para verificar la calidad de las obras en ejecución, sino también efectúan estudios para fines de proyecto de dichas obras y para proponer alguna modificación conveniente durante la construcción, en los aspectos de localización y utilización de bancos de materiales, procedimientos de explotación de dichos bancos, tratamientos a que deben someterse los materiales para su uso adecuado, espesores requeridos de pavimento, diseño de mezclas asfálticas, etc., se ha mantenido un adecuado nivel técnico de personal de dichos laboratorios así como del equipo necesario, en buenas condiciones de uso; se vigila asimismo que el muestreo de los materiales en los bancos o almace-

namientos y en las propias obras se lleve a cabo correctamente, para asegurar la representatividad de las muestras y la validez de los resultados de ensaye. Al personal se le capacita periódicamente a través de cursos, seminarios y conferencias y sería conveniente que los jefes de los laboratorios fueran pasantes de ingeniería preferentemente civiles.

La acción directa que en el campo ejercen las residencias y los laboratorios para llevar a cabo el control de calidad de las obras, se completa con las visitas de supervisión que efectúan frecuentemente el personal de las Direcciones constructoras de la Secretaría.

4.3 CONTROL DE CALIDAD DURANTE LAS ETAPAS CONSTRUCTIVAS DE UNA CARRETERA.-

El control de calidad que se realiza durante la ejecución de una obra está enfocado principalmente a conocer las características de los materiales — que se utilizan en ellas, la efectividad de los procedimientos de construcción y los aspectos y condiciones de acabado de dicha o dichas obras; los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio y de las observaciones o mediciones directas que se hacen en la obra, se comparan con los requerimientos del proyecto y de las normas, para definir la calidad con que están ejecutando los trabajos. Si se presenta alguna deficiencia en los mencionados aspectos de calidad, el Residente de la obra ordena al contratista su corrección o reposición.

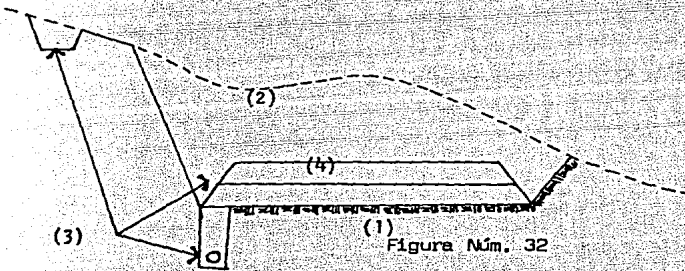
Entrando un poco en materia del control de calidad que se llevará a cabo — en la construcción de una obra vial se describirá someramente, cómo van — interviniendo los laboratorios y las residencias de la Secretaría durante la ejecución de la obra. Para esto, es útil volver a mencionar las diferentes etapas que implica la construcción de una carretera.

Puede decirse que las partes fundamentales que constituyen la estructura — de este tipo de obra son cuatro:

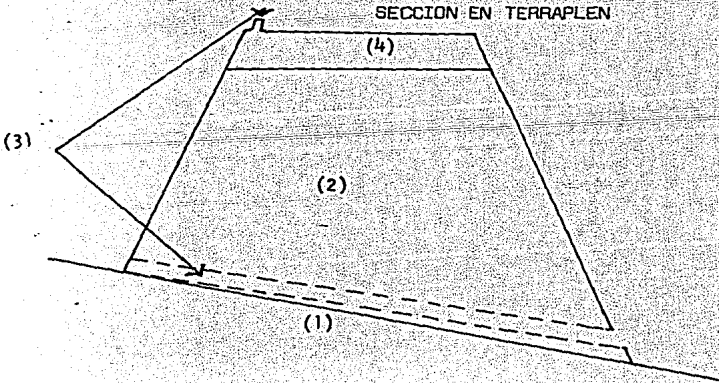
- 1) El terreno de cimentación.
- 2) Las terracerías.
- 3) Las obras de drenaje
- 4) El pavimento.

En una sección en corte y otra en terraplén de una carretera, estas cuatro partes fundamentales pueden quedar representadas como se muestra esquemáticamente en las figuras Nums. 32 y 33

SECCION EN CORTE



SECCION EN TERRAPLEN



4.3.1 TERRENO DE CIMENTACION.-

El terreno de cimentación, (1), es la parte de la corteza terrestre que — servirá de apoyo a la carretera, y hasta la cual se manifiestan los esfuerzos inducidos por la propia obra.

4.3.2 TERRACERIAS.-

Las terracerías, (2), están constituidas por el conjunto de cortes y de ta rraplenes, o de excavaciones y rellenos, que tienen que practicarse sobre la corteza terrestre para acondicionar la faja de la misma por donde se de sarrollará la obra. En regiones montañosas o de lomerío, siempre se procu rará que exista un adecuado equilibrio entre los volúmenes de material que se cortan y los volúmenes de relleno, pues en esta forma se consigue reduci r al mínimo el costo de la construcción, dado que no se desperdicia materi al, ni se tiene necesidad de acarrear de bancos de préstamo ubicados fuera de la línea de trazo.

4.3.3 OBRAS DE DRENAJE.-

Las obras de drenaje, (3), son aquellas estructuras o trabajos que se efect úan para proteger la carretera de los efectos perjudiciales del agua, tanto del agua superficial, como del agua subterránea. La función pues de — las estructuras de drenaje es impedir que el agua llegue a la obra propiame nte dicha o que la que alcance a llegar a ella, se aleje lo más pronto — posible; es el caso de los puentes, alcantarillas, cunetas, contracunetas, bordillos y lavaderos, subdrenes en zanjas, etc.

4.3.4 PAVIMENTO.-

El pavimento, (4), es la capa o conjunto de capas situadas en la parte super ior de la estructura de la carretera. El pavimento se construye sobre la capa subrasante de las terracerías y es el que recibe directamente el — efecto de las cargas de los vehículos que transitan por la obra vial. El — pavimento debe tener, por tanto, el espesor suficiente y la resistencia —

necesaria para soportar la acción de dichas cargas, así como los efectos de los agentes del clima (intemperismo). Debe poseer igualmente la capacidad necesaria para transmitir adecuadamente a las terracerías los esfuerzos — verticales que recibe, de tal manera que no se produzcan en ellas deformaciones permanentes.

En el terreno de cimentación y en los materiales de relleno o terraplenes, los laboratorios llevan a cabo pruebas de compactación para ver si dichos materiales están correctamente acomodados y cumplen con el proyecto respectivo. En un terraplén se distinguen 2 partes: La superior, llamada capa subrasante, que generalmente es de 30 cm de espesor y que debe estar formada por un suelo, es decir, por materiales con partículas menores de 7.5 cm. y la inferior, que es el cuerpo del terraplén propiamente dicho y en cuya construcción es factible emplear suelos o fragmentos de roca; estos últimos son materiales que pueden tener tamaños desde 7.5 cm (3") hasta 2.00m, quedando limitado el uso de los fragmentos grandes a que puedan caber en el espesor del cuerpo del terraplén y a lo que al respecto fije el proyecto correspondiente. En términos generales, el grado de compactación que se especifica para los suelos de cuerpo de terraplén es de 90% y para materiales de capa subrasante, de 95%. En ocasiones el material de capa subrasante se compacta a 100% para lograr cierta economía del pavimento.

El grado de compactación está dado por la expresión siguiente:

$$\text{GRADO DE COMPACTACION} = \frac{\text{PESO VOLUMETRICO DEL MATERIAL SECO EN EL LUGAR} \times 100}{\text{PESO VOLUMETRICO SECO MAXIMO}}$$

El grado de compactación obtenido por el laboratorio, aplicando la fórmula anterior, se compara con el valor especificado o de proyecto y se define si en este aspecto la construcción está siendo llevada correctamente.

Cuando los cuerpos de terraplén se construyen con fragmentos de roca o mate

riales que se designan como no compactables, se vigila que el acomodo de las capas, efectuado mediante pasadas de tractor, sea el adecuado. Si los fragmentos de roca no quedan bien colocados, pueden presentarse reaacomodos posteriores en el terraplén que afectaran en el futuro el comportamiento del pavimento. Para determinar el peso volumétrico del material seco en el lugar, que se emplea en el cálculo del grado de compactación, se usa cualquiera de las expresiones siguientes:

$$P_{vs} = \frac{P_v H}{1 + H} \dots\dots\dots (1).$$

$$P_{vs} = \frac{100 P_v H}{100 + w} \dots\dots\dots (2).$$

En que:

P_{vs} = Peso volumétrico del material seco en el lugar.

$P_v H$ = Peso volumétrico del material húmedo en el lugar.

H = Contenido de agua del suelo expresado en forma decimal.

w = Contenido de agua del suelo, expresado en por ciento ($H = \frac{w}{100}$).

Para determinar el peso volumétrico del material seco en el lugar P_{vs} , se practica un sondeo en la capa por estudiar y se determinan el peso del material extraído, el volumen del sondeo y el contenido de agua del suelo.

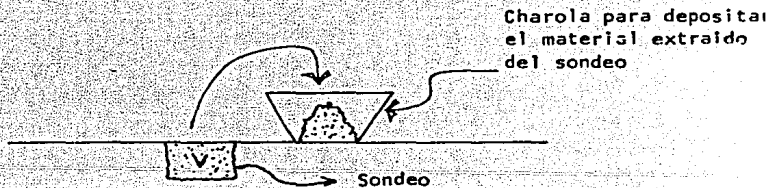


Figura Núm. 34*

Llamando:

PH = Peso del material húmedo extraído del sondeo.

Ps = Peso del material seco extraído del sondeo.

Pa = Peso del agua contenido en el suelo.

V = Volumen del sondeo obtenido mediante la colocación de arena fina de peso volumétrico conocido.

Se tiene:

$$PH = Ps + Pa$$

$$\frac{PH}{Ps} = 1 + \frac{Pa}{Ps} = 1 + H$$

$$Ps = \frac{PH}{1 + H}$$

DIVIDIENDO AMBOS MIEMBROS DE LA EXPRESION ANTERIOR ENTRE EL VOLUMEN, V, DEL SONDEO:

$$\frac{Ps}{V} = \frac{\frac{PH}{1 + H}}{V}$$

LUEGO:

$$P_{vs} = \frac{PvH}{1 + H} \quad \text{que es la expresión (1)}$$

$$\text{COMO: } H = \frac{w}{100} :$$

$$P_{vs} = \frac{PvH}{1 + \frac{w}{100}} = \frac{100 PvH}{100 + w}$$

$$P_{vs} = \frac{100 PvH}{100 + w} \quad \text{que es la expresión (2).}$$

Las expresiones 1 y 2, como lo mencionamos anteriormente, nos dan el peso - volumétrico del material seco en el lugar, es decir, el peso volumétrico —

que tiene dicho material en la forma como se encuentra colocado en la capa en estudio.

Previamente, se habrá determinado en el laboratorio el peso volumétrico seco máximo del material (Pvs MAX.), mediante alguna de las pruebas especificadas AASHTO Estándar o ASSHTO Modificada, etc., con lo cual se estará en condiciones de calcular el grado de compactación alcanzado, aplicando la fórmula indicada anteriormente, y de comparar este valor con el especificado o de proyecto.

La capa subrasante, siendo el apoyo del pavimento, debe quedar formada por un suelo con características un poco más rígidas que el que pudiera utilizarse en el cuerpo del terraplén. Generalmente se le especifica una resistencia mínima de 10% (valor relativo de soporte) y una expansión máxima de 3%, determinadas ambas características en prueba de Porter Estándar.

En las obras de drenaje, el laboratorio verifica las resistencias de concretos hidráulicos y las características de los agregados, cemento Portland y agua que se emplean en su elaboración así como de los aceros para refuerzo o preesfuerzo. La resistencia de los concretos se obtienen en especímenes cilíndricos de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura. Se verifica también la calidad de los morteros de cemento, de la arena para estos morteros y de las piedras que se usan en la construcción de mamposterías. A estas piedras se les efectúan pruebas a la compresión sin confinar, labrando cubos de 10 cm de lado, tanto en condiciones húmedas como estando secas; así mismo pruebas de densidad, absorción e intemperismo acelerado. La tendencia es que siempre se utilicen piedras sanas en la construcción de mampostería; los morteros de cemento se prueban también a la compresión sin confinar mediante cubos de 5 cm de lado. En los subdrenes en zanja se vigilan las características de granulometría y de plasticidad de los materiales del filtro y la forma como quedan colocados estos materiales dentro de la exca-

vación. En las alcantarillas de tubos de concreto hidráulico se ensayan los componentes del concreto y se comprueba la resistencia de dicho concreto. Los tubos también se ensayan para ver si satisfacen las resistencias mínimas de aparición de la 1a. grieta y de la ruptura, que se especifican para el caso de la prueba de 3 apoyos a que son sometidos.

En México, las carreteras troncales, así como las que se encuentran pavimentadas dentro del sistema de carreteras alimentadoras, poseen un pavimento del tipo flexible. No tenemos carreteras con pavimento de concreto hidráulico, lo cual puede atribuirse al costo inicial de estos pavimentos, que siempre es un poco elevado si se le compara con el de un pavimento flexible. Además, tomando en cuenta los volúmenes de tránsito relativamente bajos que circulan por la mayoría de los caminos de nuestra actual red, — probablemente sólo estén justificados estos pavimentos de concreto hidráulico en las carreteras de muy alto tránsito, como son las que confluyen en la ciudad de México.

4.3.4.1 CONTROL DE CALIDAD EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.

La sub-base y la base de los pavimentos flexibles se construyen de manera similar y a los materiales que se emplean en ellas se les verifican sus características y sus grados de compactación; estos materiales proceden de fuentes parecidas, como son principalmente las rocas sanas o medianamente alteradas, los conglomerados y las gravas y arenas de ríos. Las normas para los materiales de base son desde luego un poco más rígidas que para los de sub-base, sobre todo en lo que respecta a requisitos de granulometría, plasticidad y valor relativo de soporte.

En estos pavimentos flexibles, después de que la base ha quedado debidamente terminada, y estando superficialmente seca, se le aplica un riego de asfalto para ligar las partículas de la parte superior y para propiciar un cierto anclaje para la carpeta que se colocará después. El asfalto es ana-

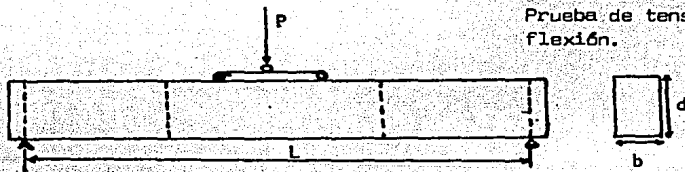
lizado previamente por el laboratorio, con el fin de determinar sus características de calidad. Los productos asfálticos que se emplean en estos riegos, denominados riegos de impregnación de la base, son los de tipo FM, particularmente los FM-0 y FM-1.

Las carpetas pueden ser de mezcla en el lugar, concreto asfáltico o del sistema de riegos. A todos los materiales se verifica, a través de las pruebas de laboratorio, si cumplen con las normas de calidad correspondientes, que se han mencionado con anterioridad.

4.3.4.2 CONTROL DE CALIDAD EN PAVIMENTOS RIGIDOS.

Los pavimentos rígidos, están constituidos por una sub-base y una losa de concreto hidráulico.

En los pavimentos de tipo rígido, tanto la construcción como el control de calidad del terreno de cimentación, de las terracerías, estructuras para drenaje y capa de sub-base, se efectúa de manera muy similar al caso de obras con pavimentos flexible; únicamente es de mencionarse que la sub-base de los pavimentos rígidos se construye con normas de base de pavimento flexible. En la losa de concreto hidráulico de los pavimentos rígidos, se estudia la calidad de los materiales que intervienen (grava, arena, agua, cemento, Portland) y se mide la resistencia del concreto, que en este caso es mediante muestras en forma de viga, que se someten a la prueba de tensión por flexión, con carga en el tercio medio del claro. Las vigas son generalmente de 15 x 15 cm. de sección y 60 cm. de longitud. Ver Figura Núm. 35



Prueba de tensión por flexión.

Figura Núm. 35

La resistencia a la tensión por flexión (f_t) está dada por la expresión:

$$f_t = \frac{PL}{bd^2}$$

Además de la resistencia del concreto en los pavimentos rígidos, se tiene especial vigilancia en la fabricación, colocación, compactación y curado - del concreto en la obra, para lograr el correcto acabado superficial del - pavimento y para asegurar que el concreto desarrolle adecuadamente su re- sistencia.

4.4 PRODUCTOS ASFÁLTICOS USADOS EN LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS Y SU CONTROL DE CALIDAD.-

Los productos asfálticos que se usan en la construcción de carreteras se - agrupan en:

- 1) Cementos asfálticos.
- 2) Asfaltos rebajados.
- 3) Emulsiones asfálticas.

4.4.1 CEMENTOS ASFÁLTICOS.-

Los cementos asfálticos son el residuo que queda de la destilación del pe- tróleo crudo. Se utilizan principalmente para la construcción de carpetas de concreto asfáltico, que son las carpetas de más alta calidad, entre - otras razones por su mayor resistencia y durabilidad. Los cementos asfál- ticos se fabrican con diferentes grados, de dureza, pero el que más se em- plea es el llamado cemento asfáltico No. 6, que tiene una dureza intermedia (penetración de 80-100 grados).

4.4.2 ASFALTOS REBAJADOS.-

Los asfaltos rebajados se forman agregando en la planta al cemento asfálti- co diferentes tipos de solventes. Cuando el solvente que se agrega es simi- lar a la gasolina, es decir, bastante volátil, se obtienen los asfaltos -

rebajados de fraguado rápido (FR-0, FR-1, FR-2, FR-3 y FR-4). Cuando el solvente añadido es un poco menos volátil, del tipo de la kerosina, se obtienen los asfaltos rebajados de fraguado medio (FM-0, FM-1, FM-2, FM-3 y FM-4). Los asfaltos rebajados de fraguado lento (FL-0, FL-1, FL-2, FL-3 y FL-4), se fabrican adicionando al cemento asfáltico ciertos aceites ligeros o dejándoselos desde el proceso de destilación del petróleo; estos asfaltos de fraguado lento ya casi no se emplean en nuestro medio.

4.4.3 EMULSIONES ASFÁLTICAS.-

Las emulsiones asfálticas se elaboran emulsificando el cemento asfáltico en agua, mediante determinados procesos que se efectúan en una planta; la operación requiere del uso de ciertos agentes químicos llamados emulsificantes y estabilizantes. Se fabrican 2 tipos de emulsiones: Aniónicas y catiónicas. En las emulsiones aniónicas, los pequeños glóbulos de asfalto poseen una carga eléctrica negativa, de tal manera que estas emulsiones presentan buenas características de adhesividad con los materiales básicos, como las calizas y los basaltos. En las emulsiones asfálticas catiónicas las partículas de asfalto tienen cargas eléctricas positivas, por lo que este tipo de emulsiones presenta buena afinidad con los materiales de naturaleza ácida, como son la sílice o cuarzo (SiO_2) y las rocas que lo contienen, como las riolitas. Estos 2 tipos de emulsiones pueden ser además de rompimiento rápido (RR); de rompimiento medio (RM) y de rompimiento lento (RL).

Los asfaltos rebajados de fraguado rápido (FR), se emplean principalmente en la construcción de carpetas por el procedimiento de mezcla en el lugar, así como para riegos de liga, riegos de sello y construcción de carpetas de riego (1 riego, 2 riegos o 3 riegos). Los rebajados de fraguado medio tienen mayor aplicación en riegos de impregnación de bases, sobre todo los de tipo FM-0 y FM-1. Las emulsiones asfálticas se usan en riegos de sello, carpetas de riego y en estabilizaciones de arena o gravas para la construcción de sub-base y bases de pavimento.

A los productos asfálticos se les efectúan una serie de pruebas, en su mayoría de tipo físico, tales como punto de inflamación, destilación (a rebajados y emulsiones), viscosidad, penetración, etc. Los resultados de las pruebas permiten definir si los productos que se pretenden emplear en las obras, cumplen con los requisitos de las especificaciones correspondientes.

4.5 CONTROL DE CALIDAD QUE SE LLEVA A CABO EN LA CONSTRUCCION DE LA CARPETA. Después de aplicado el riego de impregnación en la base de un pavimento flexible, la etapa siguiente es la construcción de la carpeta.

En la construcción de carpetas, las actividades del control de calidad están enfocadas a verificar las características de los materiales pétreos y de los productos asfálticos que se utilicen. Se vigilan también cuidadosamente los procesos constructivos.

4.5.1 CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCION DE LA CARPETA DE MEZCLA ASFALTICA.-

Las carpetas de mezclas asfálticas, que comprenden los concretos asfálticos, que se fabrican en planta, en caliente, con cemento asfáltico y las mezclas elaboradas en el lugar, sobre el camino o en plataformas convenientemente ubicadas durante el proceso de la construcción.

Cuando se termina la construcción de la carpeta, el laboratorio efectúa pruebas de permeabilidad, que permiten definir si dicha carpeta ha quedado con la textura adecuada para impedir el paso del agua a través de ella, que pudiera afectar a la propia mezcla o penetrar a las capas inferiores del pavimento y originar la prematura destrucción de éste. Cuando las carpetas resultan con una permeabilidad mayor que la tolerable, de acuerdo con las normas, se aconseja aplicar de inmediato el riego de sello, sobre todo si se trata de una zona lluviosa. El riego de sello es importante porque impermeabiliza la carpeta, evitando la filtración superficial del agua; protege al asfalto de la carpeta de la acción directa de los agentes del

intemperismo (agua, aire, temperatura, luz solar, etc.) impidiendo su rápido envejecimiento y su consecuente rigidización; constituye una superficie de — desgaste para el tránsito, que hace que la carpeta tenga mayor duración; — forma una superficie antiderrapante, que evita el patinaje de los vehículos, sobre todo en época de lluvias, previniendo accidentes; y favorece la visibi— lidad nocturna de los conductores, dando seguridad durante la noche, debido a su color generalmente más claro que el de la mezcla asfáltica.

En el caso de las carpetas de mezclas asfálticas, se estudian las propieda— des de las mezclas fabricadas en la obra, para medir su resistencia, conte— nido de asfalto, afinidad entre material pétreo y asfalto, etc. Estas mez— clas son diseñadas previamente por el laboratorio para definir las cantida— des de producto asfáltico que deben usarse en su elaboración y que se consi— deran óptimas para cada material, debido a que con estas cantidades se ob— tienen las mejores propiedades de las mezclas, en lo que se refiere a sus — características de resistencia y durabilidad.

Los materiales pétreos que se emplean en la construcción de carpetas proceden de ríos o de rocas trituradas. Estos materiales deben de ser usados y tener una granulometría adecuada. Se les efectúa pruebas de desgaste, gran— ulometría, forma de las partículas, intemperismo acelerado y afinidad con el asfalto.

Las pruebas de desgaste y de intemperismo acelerado que deben satisfacer — los materiales para carpeta, sirven para asegurar que sean sanos, resistent— es y durables. Las normas de afinidad con el asfalto constituyen también un requisito muy importante que deben cumplir estos materiales, ya que si no existe la adecuada afinidad entre material pétreo y asfalto, el agua — puede desplazar fácilmente la película de asfalto que envuelve a la parti— cula de material, propiciando la acelerada destrucción de la carpeta.

Cuando los materiales de carpeta no presentan buenas características de afinidad con el asfalto, puede recurrirse al uso de aditivos en el producto — asfáltico, que le proporcionen la adecuada adhesividad con el material pétreo. También se recurre a veces al tratamiento previo del material con ciertos productos, como la cal, que modifican las condiciones de superficie y le corrigen su falta de afinidad con el asfalto; todas estas propiedades tienen que ser estudiadas y verificadas por el laboratorio, durante la ejecución de las obras, para asegurar que se cumpla con los requisitos de proyecto y de las normas correspondientes.

4.5.2 CONTROL DE CALIDAD EN LA CARPETA DE RIEGOS.—

Las carpetas de riegos, que se forman colocando sobre la base aplicaciones de asfalto seguidas de riegos de material pétreo de determinado tamaño y — granulometría. De este tipo de carpetas se utilizan en México sobre todo las de un riego y las de dos riegos.

Las carpetas de riegos (1, 2 ó 3 riegos), se construyen en forma similar a los riegos de sello, con la circunstancia de que se colocan sobre la base y no sobre una carpeta de mezcla. Son riegos de asfalto seguidos de riegos de material pétreo. Los materiales, en una carpeta de 2 ó 3 riegos, — van colocados de mayor a menor tamaño. La construcción de una carpeta de un riego es enteramente similar a la de un riego de sello.

Durante la construcción de carpetas de cualquier tipo, las actividades de control de calidad están enfocadas a verificar las características de los materiales pétreos y de los productos asfálticos que se utilicen. Se vigilan también cuidadosamente los procesos constructivos.

4.5.3 CONTROL DE CALIDAD EN EL RIEGO DE SELLO.—

Las carpetas de mezclas se cubren con un riego de sello, que consiste en — la aplicación de un asfalto rebajado de tipo FR-3 o bien de una emulsión —

de rompimiento rápido, seguida de un riego de material pétreo, que puede ser de alguno de los tipos designados como material 3-A (entre mallas de 3/8" y No. 8) o material 3-E (entre mallas de 3/8" y No. 4). La construcción del riego de sello debe ser cuidadosa para evitar desprendimientos prematuros del material pétreo. El tendido de este material sobre el asfalto se lleva a cabo utilizando un espaciador mecánico y es seguido inmediatamente por procesos de rastreo y planchado, que tienen por objeto fijar y distribuir convenientemente el material. La adecuada dosificación, tanto del asfalto como del material pétreo, es también un aspecto muy importante para el buen éxito del riego de sello.

4.6 CONTROL DE CALIDAD EN LOS TRABAJOS DE SEÑALAMIENTO Y PROTECCION DE UNA CARRETERA.-

En los trabajos de señalamiento y protección de una carretera, se verifica también la calidad de materiales como pinturas, placas para señales y defensas, iluminación etc. Algunas pruebas que no pueden efectuar los laboratorios de campo se efectúan en las instalaciones que se tienen en el Distrito Federal.

4.7 CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSERVACION DE UNA CARRETERA.-

En las obras que se realizan para la conservación de carreteras se lleva también un adecuado control de calidad de los materiales y de los procesos constructivos.

Por el constante uso a que se ven sometidas las carreteras, así como por los efectos del intemperismo, presentan con el tiempo ciertos deterioros, que es necesario atender o arreglar tan pronto como se inician, para evitar que progresen y resulten después más costosos en su reparación. Las fallas que con mayor frecuencia observamos en los pavimentos de las carreteras son:

- 1) Agrietamientos.

2) Desintegraciones.

3) Distorsiones.

Los agrietamientos en los pavimentos se manifiestan en sentido transversal o longitudinal. En los pavimentos flexibles se presentan también grietas en forma de mapa o de piel de cocodrilo y en los de concreto hidráulico se aprecian a veces grietas en sentido diagonal.

Las desintegraciones comprenden desprendimientos de materiales pétreos de la superficie de los pavimentos, y también en el caso de los pavimentos flexibles, desprendimientos de la película de asfalto que cubre las partículas del material, sobre todo cuando, como ya lo mencionamos anteriormente, no se tienen buenas características de afinidad entre material pétreo y asfalto. Asimismo, las desintegraciones incluyen rompimientos y desprendimientos de las partículas de material pétreo, por falta de sanidad.

Las distorsiones abarcan aquellos tipos de defectos que implican una variación de la superficie del pavimento con respecto a su nivel original, como es el caso de surcos o roderas, asentamientos, corrugaciones, ondulaciones, desplazamientos, depresiones, etc.

Los trabajos de conservación que se realizan para la corrección de los defectos mencionados, consisten principalmente en:

- 1) Rellenos de grietas.
- 2) Bacheo.
- 3) Aplicaciones de riegos de sello.
- 4) Renivelaciones con mezcla asfáltica.
- 5) Construcción de sobrecarpetas.
- 6) Revisión y construcción de obras complementarias de drenaje y
- 7) Reconstrucciones aisladas.

Aunque no entraremos al detalle de la ejecución de cada uno de estos trabajos, sí debemos hacer hincapié en que el éxito de una buena conservación — estriba de manera muy importante en la correcta calidad de los materiales — que se empleen y en la constante vigilancia de los procedimientos de construcción.

Se procura que estas acciones se lleven a cabo con todo el cuidado y la minuciosidad que se requiere, para que realmente sean efectivas y detengan — oportunamente los deterioros, cuando empiezan a manifestarse en los pavimentos. En general, los procedimientos constructivos y la calidad de los materiales que se emplean en los trabajos de conservación están sujetos a las — mismas normas de una obra nueva.

En ellos intervienen materiales de todo tipo: suelos para terracerías, materiales pétreos para sub-bases, bases y carpetas, asfaltos, gravas, arenas — cemento Portland, piedras para mampostería, acero para refuerzo, concretos, pinturas para señalamiento, etc., todos los cuales tienen que ser muestreados y ensayados por los laboratorios para tener la seguridad de que cumplen con los requisitos establecidos.

En las carreteras alimentadoras no pavimentadas y en los caminos rurales, en que la superficie de rodamiento está constituida por una capa de revestimiento, cuya función es garantizar el tránsito en toda época del año, — tanto a lo que se refiere a los trabajos de construcción, como a los de — conservación, el aspecto de calidad recibe también la adecuada atención — por parte de los Residentes de las obras y del personal de los laborato— rios. En los caminos rurales, lo apartado de los lugares en que se cons— truyen y la poca obra que a veces se realiza en ello, no justifica tener — de fijo un laboratorio para controlar su calidad, pero de todas maneras — los Residentes toman muestras de los materiales y ellos mismos los envían

Para su ensaye al laboratorio más cercano, o bien, si los trabajos lo requieren, solicitan la presencia frecuente de personal de laboratorio, que se encargue de muestráear y ensayar los materiales que se estén utilizando; en estos caminos se pone atención en el acomodo de los materiales de terracerías, en las obras de drenaje y en la capa de revestimiento.

4.8 MUESTREO Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS.-

El número de muestras que se toman para llevar el control de calidad de los materiales que se utilizan en la construcción de las obras depende del tipo de las mismas, del ritmo de avance de la construcción y de los recursos de los laboratorios de campo. De las pruebas efectuadas para una determinada etapa o proceso constructivo de las obras, se hace un análisis de porcentaje de resultados que no cumplieron con las normas o requisitos del proyecto correspondiente, así como del intervalo de variación de dichos resultados, a fin de ver cuál es la desviación que presenta con respecto a los valores especificados y poder precisar qué tanto se aparta la calidad obtenida de la calidad requerida, lo que servirá de base para exigir la oportuna corrección de las deficiencias que presenten o de aplicar, en su caso, las sanciones económicas que correspondan. Para determinar pruebas, como son: resistencias en concreto hidráulicos y espesores constituidos de capas de pavimento, el análisis de resultados se efectúa utilizando métodos estadísticos.

4.9 ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DURANTE LA CONSTRUCCION DE UNA CARRETERA.-

Para empezar hablar del aseguramiento de la calidad de una carretera, primeramente hablaremos de buen proyecto esto implica hablar de tres etapas fundamentales para poder llevar a cabo la realización de una vía terrestre en este caso particularizamos en una carretera.

1a. ETAPA: RECONOCIMIENTO DE RUTA.-

En esta primera etapa se hace una recopilación de información sobre cómo —

esta acualmente el terreno por donde va a pasar la carretera, esto mediante cartas geológicas, cartas climatológicas, cartas de DETENAL y cartas — SARH; una vez estudiadas estas cartas se visita físicamente el lugar, para sacarle fotografías aéreas y con esto poder determinar probables rutas alternativas.

2a. ETAPA: ANTEPROYECTO.—

En esta etapa se define el trazo preliminar de la ruta seleccionada, conjuntamente con esto se saca también su costo preliminar. Finalmente se saca una evaluación para ver si el camino es rentable o no para emprender su — construcción.

3a. ETAPA: PROYECTO.—

En esta etapa ya fue aceptado el camino a construir ya que fue rentable y se efectúa su trazo definitivo.

En el aseguramiento de la calidad interviene también un buen control de calidad; esto se logra desde la recepción de los materiales extraídos de los bancos, pruebas sacadas al terreno, ensaye de las muestras de los materiales utilizados; todo, esto conjuntado en los laboratorios con que cuenta — la Secretaría.

Los laboratorios cuentan con personal calificado y se procura que el personal esté al frente de ellos ya sean ingenieros civiles o pasantes de ingeniería cuya preparación les proporciona el criterio suficiente para juzgar si un material reúne buenas condiciones para ser utilizados en las diferentes etapas de construcción de la carretera, asegurando su buen comportamiento y duración.

Los laboratorios cuentan además del personal calificado, con el equipo ade—

cuando para realizar las pruebas de calidad a todos los materiales que van a ser utilizados en la construcción de la carretera.

Los laboratorios se ubican estratégicamente con relación a los frentes de trabajo de las obras y si bien algunos de ellos no siempre cuentan con todo el equipo necesario son auxiliados por laboratorios vecinos o por las instalaciones con que se cuenta en la ciudad de México.

El factor humano es uno de los puntos clave para el funcionamiento adecuado de todo sistema de control de calidad. La capacitación y las políticas de personal constituyen los temas fundamentales de estudio para lograr un buen control de calidad.

En cuanto a las correcciones oportunas de deficiencias que se presentan en la construcción de una carretera como puede ser en:

EL TRAZO

EL DESMONTE

EL DESPALME

LAS TERRACERIAS

{ CORTES

{ TERRAPLENES

LAS OBRAS DE DRENAJE

EL PAVIMENTO

{ SUB-BASE

{ BASE

{ CARPETA

LOS SEÑALAMIENTOS.

Los Residentes de las obras deberán contar con bastante experiencia y disponer de personal capacitado de supervisión, que ayudarán a evitar o corregir oportunamente las deficiencias que se presenten en la construcción de la carretera.

Para finalizar con este Capítulo hablaremos de la conservación oportuna y adecuada que deberá tener la carretera. Mantener las obras en un estado de operación adecuado, es atender oportunamente los siguientes aspectos de las mismas:

SUPERFICIE DE RODAMIENTO:

CALAFATEO DE GRIETAS.

RENIVELACIONES.

CALAVERO.

BACHEO DE CAJA HIDRAULICA.

REPARACION DE TRAMOS CORTOS (no mayor de 10 mts)

RIEGO DE SELLO SOBRE BACHES Y RENIVELACIONES.

CORRECCIONES DE EXCESO DE ASFALTO.

CONSERVACION DE LOS ACOTAMIENTOS:

REPOSICION.

RECARGUE O REFUERZO.

PAVIMENTACION.

RIEGO ASFALTICO DE PROTECCION.

REMOCION DE DERRUMBES.

DESYERBE.

CONSERVACION DEL DRENAJE:

DESÁZOLVES DE CUNETAS.

DESÁZOLVES DE CONTRACUNETAS.

CONSTRUCCION DE CONTRACUNETAS.
REPOSICION DE CUNETAS.
REVESTIMIENTO DE CONTRACUNETAS Y CUNETAS.
CONSTRUCCION DE BORDILLOS.
CONSTRUCCION DE LAVADEROS.
DESAZOLVE DE ALCANTARILLAS.
REPARACION DE ZAMPEADOS.
DESAZOLVE DE PUENTES.
LIMPIEZA DE SUBORENES.

CONSERVACION DE TALUDES:

AFINAMIENTO.
RETIRO DE OBSTACULOS LATERALES.
RECARGUES DE TALUDES EN LOS TERRAPLENES.
CONSTRUCCION Y CONSERVACION DE BERMAS.
ESTABILIDAD DE TALUDES.
CONSTRUCCION Y REPARACION DE MUROS.

CONSERVACION DEL DERECHO DE VIA:

DESYERBE.
TALA.
CANALIZACION EN ZONAS INUNDABLES.
MANTENIMIENTO DE OBRAS MARGINALES.
RETIRO DE OBSTACULOS.
RETIRO DE ANUNCIOS.
RETIRO DE CERCAS.

Y CONSERVACION DEL SEÑALAMIENTO:

PINTURA DE RAYA CENTRAL.
PINTURA DE RAYAS LATERALES.
PINTURA DE ELEMENTOS DE LA SECCION TRANSVERSAL.

REPARACION DE SEÑALES EN EL LUGAR.

COLOCACION DE SEÑALES.

COLOCACION DE FANTASMAS.

COLOCACION DE POSTES DE KILOMETRAJE.

PINTURA DE PUENTES.

CAPITULO V

FALLAS QUE SE PRESENTAN EN UNA CARRETERA.-

5.1 FALLAS QUE SE PRESENTAN EN LOS PAVIMENTOS Y CAUSAS QUE LAS ORIGINAN.-

Según el criterio de la AASHTO (American Association of States Highways and Transportation Officials), falla es la condición que se presenta en un pavimento cuando éste llega a perder las características de servicio para las que fue diseñado.

Entre las finalidades más importantes de la prueba AASHTO, realizada en la ciudad de OTTAWA, ILLINOIS, E.U., en los años de 1960 a 1962, puede citarse el tratar de definir en qué consiste la falla de un pavimento y de relacionar las variables de diseño (tránsito, clima, materiales, etc.) — con el comportamiento del propio pavimento.

Se estableció el principio de que la función básica del pavimento la constituye el permitir un tránsito adecuado de vehículos sobre la carretera.— Se adoptó el concepto de "Índice de Servicio Actual", para representar la capacidad de un pavimento para dar servicio al tránsito en un momento dado, de tal manera que el comportamiento de un pavimento puede representarse por su historia de índice de servicio, contra aplicaciones de cargas — equivalentes o contra sus años de servicio.

Al estudiar el comportamiento de un pavimento, es necesario hacer la distinción entre lo que es una falla funcional y una falla estructural.

5.1.1 FALLA FUNCIONAL.-

La falla funcional consiste en deficiencias superficiales del pavimento, a las que se asocia precisamente el índice de servicio y no necesariamente implica una falla estructural inmediata, ya que la primera puede deberse a defectos de acabado al término de la construcción.

5.1.2 FALLA ESTRUCTURAL.-

La falla estructural implica la incapacidad del pavimento para resistir los efectos de las cargas aplicadas, en tanto que la falla funcional se traduce en una incomodidad para el usuario.

Los dos tipos de fallas no están necesariamente relacionadas, pero puede — establecerse que cuando se presenta una falla estructural, también ocurrirá en un plazo más o menos corto, la falla funcional. En ocasiones una falla funcional que no es atendida a su debido tiempo, puede también conducir a una falla estructural.

El estado de servicio de un pavimento es una estimación personal bastante variable. En relación con la capacidad del pavimento para dar servicio, — se estableció también el concepto de "calificación actual", que es la apreciación subjetiva de una persona o grupo de personas, sobre esa condición del pavimento. La diferencia entre los conceptos de "Índice de servicio — actual" y "Calificación actual" estriba en que el primero es un dato que — se obtiene a través de mediciones objetivas sobre la superficie del pavi— mento, efectuadas por medio de aparatos, como el rugómetro, el perfilóme— tro. etc., que registran y acumulan los defectos de la superficie de roda— miento, en tanto que la segunda no requiere de esas mediciones, sino sola— mente de la información que proporcionen uno o varios observadores.

La escala establecida por la ASSHTO, para el índice de servicio, es la si— guiente:

<u>CALIFICACION</u>	<u>ESTADO DE PAVIMENTO</u>
4-5	Excelente
3-4	Bueno
2-3	Regular
1-2	Malo
0-1	Muy malo

Los aspectos más importantes del pavimento que intervienen en el valor del índice de servicio actual o en la calificación actual, son los siguientes:

- a) Las ondulaciones longitudinales.
- b) Las deformaciones transversales.
- c) La textura de la superficie.
- d) El porcentaje de baches y áreas reparadas.

Tomando en cuenta que el índice de servicio o la calificación actual del pavimento, se refieren únicamente a las condiciones de la superficie de rodamiento para proporcionar un tránsito cómodo a los usuarios, en su determinación o apreciación no intervienen factores como diseño geométrico de la carretera, estado de los acotamientos, señalamiento del camino, etc.

Volviendo un poco a los conceptos descritos anteriormente de falla funcional, falla estructural y comportamiento de un pavimento, se muestra la Figura Núm. 36. En esta figura se ilustra gráficamente la diferencia entre los dos tipos de falla, observando las variaciones que experimenta el índice de servicio o la calificación de dos pavimentos, a través del tiempo o de las repeticiones de carga que han soportado, es decir, a través de sus curvas de comportamiento.

La calificación actual se basa exclusivamente en la apreciación personal del usuario del camino, respecto a la facilidad que ofrece la carretera para ser recorrida en forma cómoda y es numéricamente igual al índice de servicio actual, el que se obtiene por medio de mediciones de equipos como los señalados anteriormente, que registran de manera preponderante la variación de la pendiente longitudinal de las irregularidades de la superficie de rodamiento y las deformaciones transversales de la misma.

De acuerdo con estudios llevados a cabo durante la prueba AASHTO y trabajos posteriores realizados en diferentes partes del mundo, se ha encontra

do que:

- 1o.- Es práctica y suficientemente precisa la determinación de la calificación del estado de la superficie de una carretera, mediante un grupo de personas.
- 2o.- Aun cuando la calificación individual varía ampliamente, el promedio permite una estimación adecuada de las condiciones de una carretera en el momento de la inspección. Es necesario señalar que calificación actual o el índice de servicio actual, no tratan de predecir el estado del pavimento en una etapa futura.
- 3o.- El grupo calificador debe constar cuando menos de 5 a 10 personas para tener una estimación adecuada, siendo conveniente que la apreciación se realice individualmente y con el mismo tipo de vehículo que normalmente utiliza la persona que va a calificar; en general, se obtienen promedios congruentes utilizando personas de preparación muy diversa, siempre y cuando el trabajo se efectúe con responsabilidad.
- 4o.- Las carreteras principales con calificación de 2.5 o mayores y los caminos secundarios, con calificación de 2.0 ó más, son aceptables, de acuerdo con la opinión media de los usuarios del camino.
- 5o.- Las carreteras principales con calificaciones de 2.0 ó menores y los caminos secundarios con calificaciones de 1.5 ó menos, son inaceptables, de acuerdo con la apreciación media de los usuarios. Además, si la calificación es de 1.5 ó menor, el camino está prácticamente destruido y requiere reconstrucción.

Las aplicaciones del concepto de calificación actual son variadas y en la actualidad se ha utilizado ampliamente como un medio para determinar las preelaciones de reconstrucción que guardan distintos tramos entre sí. Por ejemplo, como puede apreciarse en la Figura Núm. 36 dos pavimentos de igual calificación actual, pueden tener comportamientos totalmente diferentes; el pavimento 1, aun cuando originalmente tuvo un mejor acabado que el 2, tien

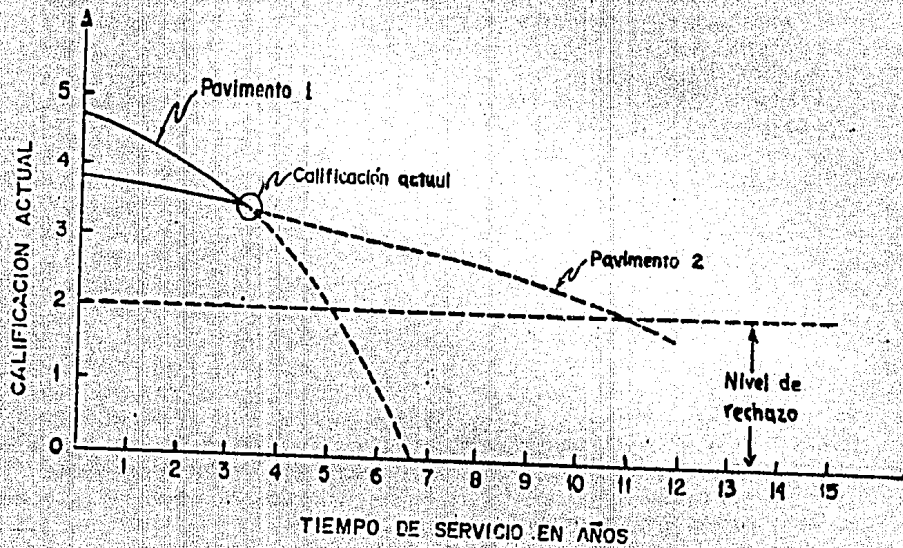


Figura Núm. 36

CURVAS DE COMPORTAMIENTO DE DOS PAVIMENTOS

de a deteriorarse más rápidamente, según lo muestra la forma de su curva de comportamiento. En esas condiciones, si estuviesen situados en el mismo camino o sometidos a iguales intensidades de tránsito, el pavimento 1 debe tener prioridad de reconstrucción sobre el pavimento 2.

Es de recalcar que la calificación debe ser individual y que es necesario evitar que los calificadores se influyan entre sí o sean influidos por criterios ajenos al grupo. La calificación que en definitiva se usará para un determinado tramo, es la correspondiente al promedio del grupo, siendo de esperarse que haya variaciones fuertes en la calificación individual. Sin significar esto que dicha calificación individual sea errónea.

Para lograr lo anterior, es conveniente, siempre que sea posible, que los calificadores recorran el tramo por separado. Es de recomendarse también calificar a velocidades de recorrido lo más cercanas posibles a la velocidad de operación del tramo, pero sin exceder de 80 km/h.

Las fallas funcionales o estructurales de un pavimento, ya sea rígido o flexible, se manifiestan de muy diversas maneras, pero se pueden clasificar en tres grandes grupos: DISTORSIONES (Cambios en la superficie o nivel original del pavimento), AGRIETAMIENTOS Y DESINTEGRACIONES.

Las fallas en los pavimentos las originan desde luego las acciones que ejercen directa o indirectamente sobre ellos, los factores siguientes:

- a) La repetición de las cargas.
- b) Los agentes del clima.
- c) El peso propio de las capas que constituyen la estructura conjunta de la obra.

Las fallas se producen o se inician en los puntos débiles o deficientes de alguna de las cuatro partes fundamentales de la estructura general de la carretera, los cuales no pueden soportar eficientemente los efectos des-

tructivos de alguno o varios de los factores señalados anteriormente, siendo a su vez esas zonas potenciales de falla, la consecuencia de diseños — inadecuados, mala calidad de los materiales utilizados, procedimientos de construcción defectuosos, falta de una conservación eficaz y oportuna, — etc. de tal manera que las fallas en los pavimentos pueden tener su origen en el terreno de la cimentación, en las terracerías, en las obras de drenaje o en los elementos constitutivos del propio pavimento.

5.2 CLASIFICACION DE LOS PRINCIPALES TIPOS DE FALLAS QUE SE PRESENTAN EN LOS PAVIMENTOS.

La forma como se manifiestan las fallas en los pavimentos flexibles y rígidos son: distorsiones, agrietamientos y desintegraciones. Se describen en la Tabla Núm. 26

TABLA NUM. 26

CLASIFICACION DE LOS PRINCIPALES TIPOS DE FALLAS QUE SE PRESENTAN EN LOS PAVIMENTOS.		
TIPOS DE FALLAS.	FORMAS COMO SE MANIFIESTAN	
	EN PAVIMENTOS FLEXIBLES	EN PAVIMENTOS RIGIDOS
I.-DISTORSIONES	Baches. Asentamientos. Ondulaciones. Corrugaciones de la carpeta. Desplazamientos o corrimientos de la carpeta. Levantamientos del pavimento o bupamientos. Rodadas marcadas en la carpeta. Surcos. Depresiones en zanjas no bien - rellenadas.	Asentamientos. Ondulaciones o alabeos de las losas. Dislocamientos de las losas - (desniveles). Movimientos de fragmentos de losas, por ruptura de las mismas.
II.-AGRIETAMIENTOS.	Grietas longitudinales en las orillas o en el centro. Grietas transversales por reflexión o por contracción.	Grietas longitudinales. Grietas transversales. Grietas de esquina o diagonales.

	<p>Grietas en forma de mapa o de piel de cocodrilo, limitando piezas pequeñas de carpeta (10 a 40 cm. de lado) o piezas grandes (más de 40 cm.).</p> <p>Grietas por corrimientos de la carpeta.</p> <p>Grietas parabólicas en la — carpeta (zonas de desaceleración).</p>	<p>Grietas por restricción.</p>
III.—DESINTEGRACIONES.	<p>Desprendimiento del material pétreo de la carpeta o del riego de sello.</p> <p>Desprendimientos de la película de asfalto del material pétreo.</p> <p>Desprendimientos de la carpeta, como capa.</p> <p>Rompimientos de las partículas del material pétreo, que propician su desprendimiento.</p>	<p>Desportillamientos de las losas en las juntas.</p> <p>"Descascaramientos" o desintegraciones superficiales del concreto.</p> <p>Rompimientos más o menos generalizados de las losas en fragmentos.</p> <p>Desintegraciones del concreto por ataque de agentes químicos o por reactividad de los agregados con los álcalis del cemento Portland.</p>
IV.—DEFECTOS VARIOS	<p>Superficies lisas o derrapantes (afloramientos de asfalto o materiales que se pulen fácilmente). Zonas con asfalto descubierto en carpetas de riegos o en riegos de sello (desprendimientos del material pétreo o ausencia original de éste).</p> <p>Superficies "rayadas" en carpetas de riegos o en riegos de sello (falta de uniones correctas entre las fajas de riego o deficiencias en la aplicación del asfalto).</p>	<p>Juntas con exceso de sellante o con defectos de acabado, que producen vibraciones molestas o inconvenientes al paso de los vehículos o de las aeronaves.</p> <p>Acción de bombeo (*) en las juntas o grietas de las losas.</p> <p>Superficies lisas o derrapantes, por defectos de acabado o agregados que se pulen fácilmente.</p>

* El fenómeno de bombeo en los pavimentos de concreto hidráulico consiste en la expulsión de material fino con exceso de agua a través de las juntas y grietas de las losas, al paso de las cargas pesadas. Para que se produzca dicho fenómeno de bombeo, es necesario que ocurran simultáneamente las tres siguientes situaciones: 1a., un material de sub-base que sea susceptible al citado bombeo (generalmente suelos con exceso de finos plásticos); 2a., altos contenidos de agua en este material; 3a., repetición de cargas pesadas en el pavimento.

5.3 CAUSAS QUE ORIGINAN FALLAS EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RIGIDOS Y QUE NO SON ATRIBUIBLES A ESTOS.

Estas causas se resumen en la Tabla Núm. 27

TABLA NUM. 27

PARTE FUNDAMENTAL DE LA OBRA EN QUE SE ORIGINAN LAS FALLAS	MOTIVOS DE LAS FALLAS.
I.- TERRENO DE CIMENTACION	<p>Mala calidad del material (suelos orgánicos, suelos expansivos, suelos resilientes, etc.) asociada a variaciones en el contenido de agua, que producen cambios volumétricos perjudiciales.</p> <p>Baja capacidad de carga o falta de compactación del suelo.</p>
II.- TERRACERIAS CORTES	<p>Inestabilidad de los materiales de los taludes, que producen deslizamientos o derrumbes sobre el pavimento (por mala calidad del material, cambios volumétricos perjudiciales - con las variaciones de humedad, materiales erosionables, presencia de estratos de suelos o mantos de roca con inclinación desfavorable, taludes no bien afinados o con poca inclinación para las condiciones del material, etc.).</p> <p>Espesor insuficiente de la capa subrasante, mala calidad del material de ésta y/o baja compactación.</p>
TERRAPLENES	<p>Mala calidad de los materiales del cuerpo del terraplén y/o de la capa subrasante.</p> <p>Acomodo inadecuado de los materiales o falta de compactación.</p> <p>Materiales erosionables en los taludes, sin la adecuada protección.</p> <p>Exceso en el contenido de agua de los materiales y/o cambios volumétricos perjudiciales con las variaciones de humedad.</p> <p>Falta de escalones de liga cuando éstos son necesarios.</p>

III.- OBRAS DE DRENAJE	<p>Insuficiencia de alcantarillas y/o de puentes en cuanto a su capacidad ó número.</p> <p>Ubicación incorrecta o inadecuada de las obras.</p> <p>Uso de materiales de mala calidad o inadecuados en la construcción de estas obras.</p> <p>Defectos de construcción de estas obras.</p> <p>Falta de protección (recubrimiento) de cunetas y/o contracunetas o falta de estas obras.</p> <p>Falta de conservación y limpieza de las obras para remover azolves u otras obstrucciones, rehacer canalizaciones, etc.</p> <p>Falta de subdrenes donde se requieren o mal funcionamiento de los existentes.</p>
------------------------	---

5.4 CAUSAS QUE ORIGINAN FALLAS EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RIGIDOS Y QUE TIENEN SU ORIGEN EN LOS PROPIOS PAVIMENTOS. SE RESUMEN EN LA TABLA NUM. 28.

TABLA NUM. 28

TIPO DE PAVIMENTO.	CAPA O INTERFASE EN QUE SE ORIGINAN LAS FALLAS.	MOTIVOS DE LAS FALLAS
FLEXIBLE	SUB-BASE	<p>Mala calidad del material utilizado.</p> <p>Baja compactación.</p> <p>Falta de espesor.</p> <p>Contaminación con el material de las terracerías.</p> <p>Defectos de construcción y/o de acabados.</p>
	BASE	<p>Mala calidad del material utilizado.</p> <p>Baja compactación.</p> <p>Falta de espesor.</p> <p>Falta de afinidad del material pétreo con el asfalto de impregnación.</p> <p>Falta de limpieza y/o barrido de la superficie de la base al momento de impregnar.</p> <p>Defectos de la base impregnada por exposición excesiva al tránsito y a los efectos del clima, antes de protegerla con la carpeta.</p>

	RIEGO DE IMPREGNACION.	<p>Tipo inadecuado de asfalto o mala calidad del producto.</p> <p>Cantidad excesiva de asfalto.</p> <p>Cantidad escasa de asfalto.</p> <p>Tránsito demasiado pronto sobre el riego de asfalto.</p> <p>Asfalto frío (viscosidad alta) que impide su penetración en la base.</p> <p>Defectos en la aplicación del asfalto (atribuibles a la petrolizadora o al operador).</p> <p>Exceso de arena de "poreo"; cuando éste se usa.</p>
FLEXIBLE	RIEGO DE LIGA EN CARPETAS DE MEZCLAS ASFALTICAS O DE RIEGOS.	<p>Tipo inadecuado de asfalto o mala calidad del producto.</p> <p>Cantidad excesiva de asfalto.</p> <p>Cantidad escada de asfalto.</p> <p>Asfalto muy frío o que ha perdido su poder de aglutinación, al momento de tender la carpeta (de mezcla en el lugar) o de cubrirse con los materiales pétreos (carpetas de riegos).</p> <p>Defectos en la aplicación del asfalto (atribuibles a la petrolizadora o al operador).</p>
	CARPETA DE RIEGOS.	<p>Mala calidad de los materiales pétreos empleados o granulometrías defectuosas de éstos.</p> <p>Falta de afinidad de los materiales pétreos con el asfalto.</p> <p>Cantidades escasas de los materiales pétreos.</p> <p>Materiales pétreos demasiado húmedos al momento de su aplicación.</p> <p>Tránsito sobre el riego de asfalto antes de cubrir con el pétreo.</p> <p>Tránsito demasiado pronto sobre el material pétreo aplicado, principalmente cuando los vehículos no circulan a velocidades bajas.</p> <p>Defectos de construcción de la carpeta (falta de rastreos, planchado o barrido de los materiales pétreos, traslapes incorrectos de los riegos, distribución no uniforme de los materiales, etc.).</p>
	CARPETA DE MEZCLA ASFALTICA EN EL LUGAR.	<p>Mala calidad de los materiales pétreos utilizados o defectos en su granulometría.</p> <p>Falta de afinidad del material pétreo con el asfalto.</p>

		<p>Exceso de asfalto en la mezcla. Cantidad escasa de asfalto en la mezcla. Materiales pétreos demasiado húmedos al momento de agregar el asfalto. Tipo de asfalto inadecuado en la mezcla o mala calidad del producto utilizado.</p>
FLEXIBLE	<p>CARPETA DE MEZCLA ASFALTICA EN EL LUGAR (Continuación).</p>	<p>Contenido elevado de agua y/o de solventes en la mezcla, al momento de tender. Falta de uniformidad en la incorporación del asfalto en la mezcla. Baja temperatura del asfalto al aplicarlo al pétreo. Escaso espesor de la capa. Baja compactación de la mezcla. Defectos de construcción en el tendido y/o de acabados. Baja resistencia de la mezcla. Mezcla asfáltica muy permeable, sin proteger con algún tratamiento de sellado. Rigidez relativamente alta de la carpeta.</p>
	<p>CARPETA DE MEZCLA EN CALIENTE (CONCRETO ASFALTICO)</p>	<p>Mala calidad de los materiales pétreos utilizados o defectos en su granulometría. Falta de afinidad del material pétreo con el asfalto. Exceso de asfalto en la mezcla. Cantidad escasa de asfalto en la mezcla. Tipo de asfalto inadecuado en la mezcla o mala calidad del producto utilizado. Temperatura baja del asfalto y/o del material pétreo al elaborar la mezcla. Temperatura excesiva de calentamiento del cemento asfáltico y/o del material pétreo al elaborar la mezcla. Defectos de tendido y/o de acabado de la mezcla. Mezcla relativamente fría al tender y/o al compactar. Baja compactación de la mezcla. Espesor escaso de la capa. Baja estabilidad de la mezcla. Mezcla muy permeable (vacíos elevados), sin proteger con un tratamiento de sellado. Rigidez relativamente alta de la carpeta.</p>

	RIEGO DE SELLO	<p>Mala calidad de los materiales pétreos utilizados o defectos en su granulometría.</p> <p>Falta de afinidad del material pétreo con el asfalto.</p> <p>Exceso o escasez de material pétreo y/o de asfalto.</p> <p>Asfalto inadecuado o mala calidad del producto.</p> <p>Materiales pétreos demasiado húmedos al momento de su aplicación.</p> <p>Tránsito sobre el riego de asfalto, antes de cubrir con el pétreo.</p> <p>Asfalto muy frío o que ha perdido su poder de aglutinación, al momento de cubrirlo con el material pétreo.</p> <p>Defectos en la aplicación del asfalto (atribubles a la petrolizadora y/o al operador).</p> <p>Tránsito demasiado pronto sobre el material pétreo aplicado, principalmente cuando los vehículos no circulan a bajas velocidades.</p> <p>Defectos de construcción (distribución no uniforme del material pétreo, falta de rastro, planchado o barrido del material, traslapes incorrectos de los riegos, etc.).</p>
RIGIDO	SUB-BASE	<p>Mala calidad del material utilizado.</p> <p>Contaminación con el material de las terracerías.</p> <p>Compactación baja o no uniforme.</p> <p>Espesor escaso.</p> <p>Defectos de construcción y/o de acabado.</p>
	LOSA DE CONCRETO HIDRAULICO.	<p>Mala calidad de los agregados que intervienen en la elaboración del concreto o defectos en su granulometría.</p> <p>Baja resistencia de concreto.</p> <p>Falta de acomodo adecuado del concreto.</p> <p>Espesor insuficiente de la losa.</p> <p>Falta de curado adecuado del concreto.</p> <p>Construcción extemporánea de las juntas.</p> <p>Diseño inadecuado de las juntas, falta de éstas o defectos de construcción de las mismas.</p> <p>Mala calidad del material sellante de las juntas y/o falta de oportunidad en su colocación.</p>

5.5 POSIBLE ORIGEN DE LAS FALLAS EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES Y CRITERIOS PROBABLES DE REPARACION.

Se resume en la Tabla Núm. 29

TABLA NUM. 29

GRUPO EN QUE SE CLASIFICA LA FALLA O DEFECTO.	IDENTIFICACION DE LA FALLA		
	DESCRIPCION	SUS POSIBLES CAUSAS	CRITERIOS PROBABLES DE REPARACION.
DISTORSIONES	BACHES (Deformaciones locales en que se ha destruido parcial o totalmente el pavimento. Se asocian con agrietamientos y con altos contenidos de agua en los materiales).	Baja compactación de las capas inferiores del pavimento. Penetración del agua a la parte inferior del pavimento por acumulaciones de la misma en zonas con defectos de acabado, o deformadas. Contaminaciones de la sub-base y/o base con el material de las terracerías. Pavimento sub-diseñado para las cargas que por él transitan. Etc.	Cajear rectangularmente el área fallada, eliminando los materiales de mala calidad o que presenten humedad excesiva. Rellenar con materiales de características adecuadas, reponiendo la estructura del pavimento mediante capas debidamente compactadas. Las paredes de la caja deben hacerse verticales y 2 de sus lados serán normales a la dirección del tránsito. La caja debe abarcar cuando menos 30 cm dentro de la zona aparentemente sana, adyacente al área fallada. Se procurará, mediante una regla, que el nivel superior del relleno quede bien perfilado respecto al resto de la sección transversal. Si los baches se manifiestan en zonas de cortes, es conveniente revisar y corregir previamente las deficiencias de drenaje.

<p>DISTORSIONES (continuación)</p>	<p>ASENTAMIENTOS (descensos en el nivel original de la superficie)</p>	<p>Compactación o reacomodo local de una o varias capas del pavimento, o de las terracerías, que produce un descenso pequeño y más o menos uniforme de la superficie. Movimiento o deslizamientos locales de los terraplenes, que dan lugar a desniveles relativamente fuertes de la superficie del pavimento.</p>	<p>Renovar con mezcla asfáltica, limpiando previamente la superficie y dando un riego de liga. Reparar debidamente la zona de asentamiento, reconstruyendo por capas la sección original. Es necesario revisar y corregir deficiencias en el anclaje de los terraplenes (falta de escalones de liga) y/o en el drenaje del área afectada.</p>
	<p>ONDULACIONES (Levantamientos de la superficie en forma de ondas más o menos pronunciadas, transversalmente al sentido de la circulación).</p>	<p>Movimientos plásticos de la carpeta en lugares donde se presentan fuertes esfuerzos de arranque y frenaje, como es el caso de zonas cercanas al cruce de carreteras con vías de ferrocarril.</p>	<p>Escarificar y eliminar la carpeta. Recompactar la base. Construir una nueva carpeta de espesor y resistencia adecuados.</p>
		<p>Carpeta con baja estabilidad, por exceso de asfalto o de solventes en la mezcla, exceso de finos en el material pétreo, o por ser éste de naturaleza redondeada; también puede deberse la baja estabilidad de la mezcla al empleo de un asfalto demasiado blando.</p>	<p>Levantar la carpeta y corregir la mezcla, si esto es posible, para aprovecharla nuevamente. La corrección puede consistir en crearla para hacer que pierda solventes, para agregarle material pétreo adicional de mejores características, etc. Si no es posible aprovechar la carpeta, será necesario eliminarla y construir una nueva carpeta de espesor y resistencia de la calidad y espesor adecuados.</p>

	DESPLAZAMIENTOS O CORRIENTES DE LA CARPETA. (principalmente en las orillas)	Baja estabilidad de la mezcla. Tránsito pesado antes de compactar debidamente la mezcla. Exceso en el asfalto de riego de liga.	Eliminar la carpeta desplazada, cajeando rectangularmente la zona afectada. Reponer la carpeta en forma adecuada y sellar la nueva capa.
DISTORSIONES. (continuación).	SURCOS O RODADAS MARCADAS.	Efecto de tránsito pesado en zonas subdiseñadas o deficientemente construidas del pavimento. Paso del tránsito de vehículos o del equipo de construcción sobre la carpeta recién tendida o sin la debida compactación.	Renivelar con mezcla asfáltica de características adecuadas; previamente, delimitar el área, limpiarla de materias extrañas y dar un riego de liga.
	DEPRESIONES EN ZANJAS NO BIEN RELLENADAS.	Falta de acomodo adecuado o de compactación en los materiales del relleno o insuficiencia en el volumen de material.	Renivelar adecuadamente con mezcla asfáltica, previa limpieza de la superficie y aplicación de asfalto de liga.
AGRIETAMIENTOS.	GRIETAS LONGITUDINALES EN LAS ORILLAS.	Cambios volumétricos de los materiales de terracerías con altos contenidos de arcilla, por efectos de humedecimiento y secado. Ampliaciones del camino no bien ligadas a la sección antigua. Ligeros movimientos o asentamientos de los terraplenes por efecto de las cargas, de su peso propio o de temblores. Etc.	Si las grietas son muy finas (de aberturas muy pequeñas), es bastante difícil rellenarlas y a veces sólo hay que limitarse a tenerlas en observación para ver la forma como progresan. Cuando es factible, se sellan con emulsión asfáltica o con asfaltos rebajados. Si las grietas tienen una abertura del orden de 3 mm o más, se pueden calafatear con un mortero asfáltico, o con una mezcla asfáltica con rebaja

<p>AGRIETAMIENTOS. (continua-</p>	<p>GRIETAS LONGITUDINALES EN LAS ORILLAS. (continuación)</p>		<p>jado y arena o bien con un cemento asfáltico. Existen también en el mercado productos especiales a base de asfalto, para el rellenado de grietas.</p> <p>La zona de las grietas por sellar debe barrerse con una escoba manual y de ser posible, conviene utilizar aire comprimido para limpiar mejor las aberturas por donde entrará el material sellante.</p> <p>El mortero asfáltico o la mezcla de asfalto rebajado y arena, se aplicarán manualmente y deben tener la fluidez adecuada para penetrar en las grietas.</p> <p>Puede ser necesario que sobre la superficie del sellante recién aplicado se riegue arena seca, para que el tránsito no lo levante.</p>
	<p>GRIETAS LONGITUDINALES EN EL CENTRO.</p>	<p>Defectos de tendido de la mezcla asfáltica, principalmente. Por reflexión de grietas en la capa subyacente, tratándose de una sobrecarga.</p>	<p>Calafatear debidamente las grietas, de acuerdo con lo descrito en el caso anterior.</p>
	<p>GRIETAS TRANSVERSALES.</p>	<p>Reflexión de defectos existentes en la capa subyacente, que en ocasiones es un pavimento rígido. Contracciones de la sub-base o base estabilizadas con cemento Portland.</p>	<p>Proceder en forma similar a lo descrito en el caso del arreglo de grietas longitudinales.</p> <p>Puede ser conveniente aplicar un riego de sello abarcando toda el área agrietada.</p>

	<p>GRIETAS EN FORMA DE MA PA O DE — PIEL DE COCODRILO.</p>	<p>Deflexiones excesivas o deformaciones en la carpeta por acción del — tránsito pesado. Carpe<u>t</u>a rígida. Capa subrasante, sub-ba<u>s</u>e y/o base inestables, generalmente por altos contenidos de agua. Es pesor insuficiente del pavimento, para las car<u>g</u>ar que soporta.</p>	<p>Si el agrietamiento no ha originado movimientos en los fragmentos de carpeta y el área no está muy deformada, podría procederse a un calafateo o tratamiento de las grietas, en la forma descrita anteriormente para el caso de las grietas longitudinales, — pero las más de las veces esto constituye sólo un — arreglo temporal, incluso cuando se aplica mortero asfáltico o mezcla de rebajado y arena a toda el área agrietada. Por lo general, es necesar<u>o</u> cajear, eliminar la carpeta agrietada y los — materiales de mala calidad o con exceso de humedad de las capas inferiores y reponer los materia<u>l</u>es extraídos con otros — adecuadamente colocados, en forma similar a lo descrito en el caso del arreglo de baches. Si este — tipo de fallas tiende a — abarcar áreas más o menos grandes, es necesario analizar el diseño y la construcción del pavimento y el drenaje.</p>
	<p>GRIETAS POR CORRIMIENTO DE LA CARPETA (EN LAS ORILLAS).</p>	<p>Baja estabilidad de la mezcla a los esfuerzos laterales originados — por el tránsito. Exceso de asfalto en el — riego de liga. Tránsito demasiado pronto — sobre la carpeta recién tendida.</p>	<p>Si el agrietamiento se ha detenido y no se presentan desplazamientos notables o corrugaciones en la carpeta, puede ser suficiente con calafatear — o tratar las grietas en la forma descrita para — casos anteriores.</p>

			Si la carpeta, además de agrietada, está desplazada corrida y/o deformada, tendrá que levantarse y reponerse adecuadamente.
	GRIETAS PARABOLICAS.	Corrimientos de la carpeta en zonas de desaceleración. Corrimientos de la carpeta por escaso o nulo asfalto de liga.	Proceder en forma similar al caso anterior.
DESINTEGRACIONES.	DESPRENDIMIENTOS DEL MATERIAL PETREO DE LA CARPETA O DEL RIEGO DE SELLO.	Escasa cantidad de asfalto en la mezcla o en el riego de sello. Falta de afinidad del material pétreo con el asfalto. Falta de compactación de la mezcla o de planchado de los materiales pétreos, según el caso. Sobrecalentamiento de la mezcla, cuando ésta se hace en planta.	Previo barrido de la superficie, aplicar un riego ligero, bien distribuido y correctamente dosificado, de asfalto rebajado o de emulsión asfáltica, para evitar que el material se continúe desprendiendo. Si el desprendimiento es atribuible a la poca afinidad del material pétreo con el asfalto, se procurará que el material asfáltico que se emplee satisfaga esta propiedad, bien sea solo o mediante el uso de algún aditivo adecuado. Si el desprendimiento del material es muy pronunciado, puede requerirse la aplicación de un nuevo riego de sello o de una sobrecarpeta y riego de sello, de características adecuadas.
	DESPRENDIMIENTOS DE LA PELICULA DE ASFALTO DEL MATERIAL PETREO (MEZCLA ASFALTICO)	Escasa o nula afinidad del material pétreo con el asfalto utilizado en la mezcla.	Dar un riego, en proporción adecuada, con un producto asfáltico que tenga buena afinidad con el material pétreo, bien sea solo o mediante el uso de algún aditivo. Puede ser

			necesaria la aplicación de un riego de sello o de un mortero asfáltico, según el caso.
	ROMPIMIENTO DE LAS PARTICULAS DEL MATERIAL PÉTREO QUE PROPICIAN SU DESPRENDIMIENTO.	Material suave, que no resiste la acción del tránsito.	Proceder como el caso citado anteriormente de "Desprendimientos del material pétreo de la carpeta o del riego del sello".
DESINTEGRACIONES. (continuación)	DESPRENDIMIENTO DE LA CARPETA, COMO CAPA.	Esfuerzos elevados en la interfase entre la carpeta y la base. Riego de liga insuficiente o anclaje deficiente de la carpeta con la base.	Cajear rectangularmente los límites de la zona en que se ha desprendido la carpeta y reponer ésta con una mezcla asfáltica adecuada, previa limpieza de la superficie y aplicación de asfalto de liga. Puede ser necesario renivelar, reponiendo la carpeta en las zonas en que se ha levantado y construir una sobrecarpeta.
DEFECTOS VARIOS.	SUPERFICIE LISA O DERRAPANTE.	Materiales que se pulen fácilmente. Afloramientos de asfalto.	Dar un nuevo riego de sello con materiales adecuados. Si la carpeta no presenta inestabilidad, puede ser suficiente con calentar superficialmente con quemadores y regar una cantidad adecuada de material pétreo de sello, fijándolo inmediatamente mediante planchado. Puede dar resultado también en vez de calentar superficialmente, agregar o regar el pétreo caliente y fijarlo mediante planchado. Si la carpeta es inestable, puede ser necesario levantarla para retrabajarla y mejo-

			rarla y después sellarla o de lo contrario, desecharla y reponerla por una nueva, a la que se aplicará un riego de sello.
DEFECTOS VARIOS. (Continuación)	ZONAS CON ASFALTO DESCUBIERTO EN CARPETAS DE RIEGOS DE SELLO).	Desprendimientos del material pétreo. Defectos de construcción (cantidad insuficiente de asfalto regado, aplicación incorrecta o extemporánea de los pétreos, fallas de la petrolización, etc).	Dar nuevo tratamiento, que puede ser manual si el área es pequeña o difícil de corregir con máquina, consistente en nueva aplicación de asfalto y pétreos, a efecto de restaurar las condiciones originales o propuestas.

5.6 POSIBLE ORIGEN DE LAS FALLAS EN LOS PAVIMENTOS RIGIDOS Y CRITERIOS PROBABLES DE REPARACION.

Se resumen en la Tabla Núm. 30

TABLA NUM. 30

GRUPO EN QUE SE CLASIFICA LA FALLA O DEFECTO.	IDENTIFICACION DE LA FALLA:		CRITERIOS PROBABLES DE REPARACION.
	DESCRIPCION	SUS POSIBLES CAUSAS	
DISTORSIONES	ASENTAMIENTOS O DESLIZAMIENTOS DE LAS LOSAS.	Falta de apoyo adecuado de las losas, por mala calidad de la sub-base o de la capa subrasante, o baja compactación de estas capas. Terracerías inestables por deficiencias en el material de las mismas, asociadas con variaciones perjudiciales en el contenido de agua. Socavación del material de apoyo de las losas por efectos del fenómeno de bombeo o de arrastres por agua en movimiento. Inadecuada transferencia de cargas en las juntas.	Renivelar con mezcla asfáltica, de preferencia en caliente, previo riego de liga. En ocasiones puede requerirse levantar el nivel de las losas, inyectando cemento asfáltico a presión a través de agujeros taladrados en las propias losas. Es necesario que antes de inyectar el cemento asfáltico, se rellenen las juntas y grietas para evitar fugas y pérdidas de presión.
	LOSAS FRAGMENTADAS Y MOVIMIENTOS DE LOS FRAGMENTOS AL PASO DE LAS CARGAS.	Concreto de baja resistencia, de acuerdo con las condiciones de trabajo. Ruptura de losas mal apoyadas o alabeadas. Efecto de bombeo en juntas y	Eliminar los fragmentos de losa que se mueven, renivelar la sub-base, aplicar un riego de impregnación, posteriormente un riego de liga que incluya las caras de la losa y luego colocar un concreto asfáltico en capas que

		grietas de las losas.	no excedan de 10 cm. Compactar debidamente cada capa — hasta llegar al nivel de las losas contiguas.
DISTORSIONES (continuación)	ALABEOS DE LAS LOSAS — (ACUCHA RAMIENTOS).	Efecto de los cambios de temperatura y del peso propio de las losas. Restricciones al movimiento de las losas en la superficie — de la capa de apoyo.	Renivelar con mezcla asfáltica de características adecuadas, previo riego de liga.
AGRIETAMIENTOS.	GRIETAS LONGITUDINALES.	<p>Contracciones del concreto, principalmente cuando las losas son — demasiado anchas, por falta de juntas longitudinales, o éstas son defectuosas. Materiales expansivos en la — capa subrasante o en — la sub-base.</p> <p>Esfuerzo de alabeo en las losas, combinados con los producidos por las cargas.</p> <p>Pérdidas del material de apoyo de las losas, por acción del bombeo o debido a arrastres — del propio material — por agua en movimiento.</p>	<p>Limpiar las grietas con aire comprimido y rellenar con un sellante a base de asfalto — ahulado. Es conveniente trazar previamente las caras — verticales de la grieta con chiflón de arena, cuando menos hasta una profundidad de 1 pulgada, así como la superficie de la losa, cuando menos también 1 pulgada a cada lado de la grieta.</p> <p>Puede ser necesario levantar previamente el nivel de las losas (cuando existen hundimientos más o menos fuertes), mediante inyecciones con cemento asfáltico.</p>
	GRIETAS — TRANSVERSALES.	<p>Contracciones del concreto, principalmente cuando las losas son de mucha longitud, por falta de juntas transversales, o éstas son defectuosas. Efecto de sobrecargas en el pavimento.</p> <p>Esfuerzos de flexión repetidos, por acción del bombeo en las losas.</p>	Proceder en forma similar al caso de las grietas longitudinales, descrito anteriormente.

		Deficiencias en las capas subyacentes del pavimento.	
AGRIETAMIENTOS. (continuación).	GRIETAS DIAGONALES — (EN DIRECCION DIAGONAL AL CENTRO LINEAL DEL PAVIMENTO).	Efectos del tránsito pesado en losas no bien apoyadas en sus extremos. Juntas defectuosas entre las losas. Fallas estructurales del concreto por diseño o construcción inadecuados. Asentamientos o reacomodos del material de las capas subyacentes a las losas. Disminución del apoyo de las losas — por acción del bombeo.	Proceder en forma similar al caso de las grietas — longitudinales.
	GRIETAS POR RESTRICCION	Introducción de materias extrañas duras en una junta transversal, como gravas resistentes, etc., — que impiden o restringen los movimientos normales de expansión de las losas.	Eliminar los materiales — que están originando la — restricción en la junta, limpiar bien ésta con aire comprimido y resellarla — con un producto adecuado, que puede ser asfalto ahulado. La limpieza de la junta puede hacerse con — máquina, cuando menos hasta 1" de profundidad. La grieta por restricción deberá también limpiarse y sellarse debidamente, — si su abertura lo permite; si existen además desportillamientos en las losas, deberán resanarse.
DESINTEGRACIONES.	DESPORTILLAMIENTOS DE LAS LOSAS EN LAS JUNTAS.	Expansión excesiva del concreto, para la anchura de la junta, que en ocasiones provocan el levantamiento de las losas.	Eliminar mediante cortes con sierra la zona agrietada, fracturada y/o levantada de la losa y reponer con concreto asfáltico, por capas. Arreglar y nivelar la sub-base, si es necesario.

DESINTEGRACIONES. (continuación).	"DESCASCARAMIENTOS" SUPERFICIALES DEL CONCRETO.	<p>Revoltura inadecuada del concreto.</p> <p>Agregados deficientes o de mala calidad.</p> <p>Excesos en las operaciones de acabado.</p> <p>Curado inadecuado o extemporáneo.</p> <p>Acción de agentes químicos (principalmente cuando se usan para provocar el deshielo, en climas fríos).</p>	<p>Barrer enérgicamente para eliminar todas las partículas sueltas, usando una escoba de fibras de alambre. Limpiar la zona afectada, con aire comprimido, y aplicar un mortero asfáltico.</p> <p>Si el "descascaramiento" no es muy superficial, será necesario colocar una sobrecapa de concreto asfáltico, previa limpieza y riego de liga con asfalto.</p>
	DETERIOROS POR REACTIVIDAD DE LOS AGREGADOS CON LOS ALCALIS DEL CEMENTO.	<p>Contenido de sílice amorfa y otras sustancias en los agregados, que dan lugar a esa reactividad perjudicial.</p>	<p>Eliminar el concreto afectado y reemplazarlo por otro con agregados que no presenten el problema señalado.</p>
DEFECTOS - VARIOS.	SUPERFICIES LISAS O DE RRAPANTES.	<p>Agregados suaves o que se pulen fácilmente.</p> <p>Defectos de acabado.</p>	<p>Cubrir con una capa antide rrapante, que puede ser un concreto asfáltico, en cuyo caso debe barrerse previamente la superficie y aplicar un riego de liga.</p>
	JUNTAS CON EXCESO DE MATERIAL - SELLANTE - O EXPULSION DEL MISMO.	<p>Dosificación incorrecta del material sellante.</p> <p>Expansión excensiva de las losas, para la abertura de las juntas.</p> <p>Material sellante de características inadecuadas.</p>	<p>Extraer el material sellante existente, limpiar adecuadamente la junta y resellar con un producto a base de asfalto ahulado.</p>

CAPITULO VI

PROCEDIMIENTOS DE REHABILITACION DE UNA CARRETERA.

6.1 PROCEDIMIENTOS PARA LA CONSERVACION Y RECONSTRUCCION DE PAVIMENTOS DE UNA CARRETERA.

Cuando los deterioros que presenta un pavimento afectan zonas amplias o de bastante longitud del mismo, de tal manera que no puede hablarse ya de fallas locales, es necesario hacer una reconstrucción más a fondo del mismo, para restaurar sus condiciones de buen servicio. Se requiere llevar a cabo una evaluación del citado pavimento, para definir con mayor precisión las causas de las fallas que presenta y poder reforzarlo o rehabilitarlo convenientemente.

El procedimiento que tradicionalmente se ha empleado en la Secretaría de Comunicaciones y Transportes para conocer las causas de falla en los pavimentos y definir su reconstrucción, cuando dichas fallas son más o menos generalizadas, consiste en lo siguiente:

- 1o.- Hacer un recorrido minucioso del tramo o del área afectada, para detectar situaciones ajenas al propio pavimento, que están cuadyuvando o propiciando su deterioro, como son: problemas o deficiencias en el terreno de cimentación, en las terracerías o en las obras de drenaje; si el caso lo amerita, será necesario hacer estudios de laboratorio y campo, para precisar mejor estos problemas y darles la solución adecuada.
- 2o.- Practicar en el pavimento sondeos a cielo abierto con espaciamientos apropiados, de acuerdo con la longitud del tramo afectado o la magnitud de la zona fallada, para conocer: calidad y compactación de los materiales de terracerías, incluyendo de manera importante los que constituyen la capa subrasante; calidad y compactación de los materiales de sub-base, base y carpeta, y espesores de las distintas capas de pavimento; condiciones de humedad de los materiales, etc. Estos

datos permitirán definir si el espesor del pavimento es o no suficiente para las condiciones en que se encuentran trabajando los materiales de terracerías, así como para los requerimientos del tránsito que soporta el pavimento y las condiciones climatológicas de la región; es decir se rediseña el pavimento, como si fuese a construirse nuevo y se determina si se requiere o no mayor espesor, calculándose, en su caso, el espesor de refuerzo.

El estudio de los materiales extraídos de los sondeos revelará también si los que forman la capa subrasante y las distintas capas del pavimento, reúnen los requisitos de calidad fijados por las normas correspondientes, si se les proporcionaron los tratamientos adecuados y si fueron trabajos correctamente, con lo que podrá determinarse si es factible aprovecharlos en la reconstrucción del pavimento y bajo que condiciones.

Con los datos de espesores requeridos y existentes del pavimento y con los resultados de todos los estudios de laboratorio y campo y el conocimiento del tipo de fallas que presenta el citado pavimento, se estará en posibilidades de precisar los procedimientos de reconstrucción o de rehabilitación a seguir, que pueden ir, desde levantar el pavimento, dar tratamiento o sustituir el material de la capa subrasante y rehacer la estructura del pavimento, hasta colocar un refuerzo a base de una sobrecarpeta de mezcla asfáltica en planta en caliente o de mezcla elaborada en el lugar, de acuerdo esto último con la importancia de la obra.

Cuando los estudios revelan, por ejemplo, que el material de la base no satisface los requisitos fijados por las especificaciones, se le puede aprovechar como sub-base o como parte de la capa subrasante; si la sub-base es la inadecuada es factible utilizarla dejándola como parte de la capa subrasante. En ambos casos, es necesario completar el espesor del pavimento, si resulta escaso, con material de banco. La carpeta, hay

ocasiones en que puede aprovecharse, por ser fácil su disgregación y casos en que tiene que desecharse y reponerse por otra de espesor y características adecuadas. A veces, también es posible aprovechar los materiales deficientes de calidad de la sub-base o la base, mejorándolos con otros materiales de banco o estabilizándolos con algún agente químico, de manera que prácticamente pueden quedar formando en esas nuevas condiciones, las capas originales del pavimento.

En cualquier caso, son los resultados de los estudios, el costo de las distintas alternativas de solución y los recursos disponibles, los que al final de cuentas permitirán decidir la forma más conveniente de llevar a cabo la rehabilitación del pavimento. Pero es preciso, insistir, como ya se hizo anteriormente, que es por todos motivos preferible tratar siempre de solucionar definitivamente el problema de un pavimento deteriorado, que - darle continuos paliativos o arreglos provisionales, que a la larga resultan más costosos, más molestos para los usuarios y que sólo conducen a aplazar la solución básica y quizás, a agravarla.

Existen también procedimientos no destructivos para evaluar las condiciones estructurales de un pavimento y determinar el refuerzo que requiere, pero son aplicables sólo cuando las condiciones del pavimento no son muy adversas y además, siempre es aconsejable completar estos procedimientos con algunos sondeos a cielo abierto, del tipo de los que se contemplan en el procedimiento tradicional descrito anteriormente, sobre todo en nuestro medio, en el que aún no contamos con la suficiente experiencia para usar en forma exclusiva estos métodos no destructivos.

Los procedimientos de evaluación no destructivos se basan principalmente en mediciones de las deflexiones que sufre un pavimento flexible, bajo la acción de la carga de un camión de determinadas características y peso, previamente especificados. Las citadas mediciones de deflexión uti-

lizando un camión cargado, se llevan a cabo generalmente por medio de la viga BENKELMAN; sin embargo, se usan también otros tipos de aparatos cuyos registros se traducen a deflexiones con la mencionada viga, basándose en gráficas que correlacionan unas lecturas con otras. En función de esas deflexiones y de las condiciones de tránsito y clima a que estará sujeto el pavimento, se determina el espesor de refuerzo necesario, valiéndose de otras gráficas, derivadas de las experiencias y estudios realizados por las instituciones que las aplican. Describiremos un poco más adelante dos de los métodos de rehabilitación de pavimentos, que usan mediciones de deflexión para determinar los espesores requeridos de refuerzo en pavimentos flexibles de carreteras, los cuales son bastante conocidos en México y se han aplicado en algunas ocasiones, si bien en combinación con el procedimiento de muestreo a base de sondeos a cielo abierto; estos métodos son el del Instituto del Asfalto de los Estados Unidos y el del Departamento de Obras Públicas de la División de Carreteras del Estado de California, E.U., siendo oportuno señalar que el Instituto de Asfalto emplea también el procedimiento de rehabilitación de pavimentos que llama de análisis de los componentes, que no se basa en deflexiones, sino que se realiza mediante muestreos con sondeos a cielo abierto exclusivamente, tal como lo hemos descrito en párrafos anteriores.

Este último método lo aplica también el Instituto de Asfalto cuando se trata de rehabilitar pavimentos de concreto hidráulico mediante un espesor de sobrecarpeta de concreto asfáltico y consiste fundamentalmente en rediseñar el espesor del nuevo pavimento, con los datos, de tránsito, clima y valor soporte de la capa subrasante existente, de tal manera que el espesor de refuerzo, que se obtiene en términos de concreto asfáltico, es la diferencia entre el nuevo espesor de diseño, que también se determina como espesor de concreto asfáltico y el espesor efectivo que puede considerarse al pavimento existente, aplicando a cada una de las capas un factor de

equivalencia en espesor de concreto asfáltico, dependiendo de los materiales que se hayan empleado en la formación de esas capas y de las condiciones en que éstas se encuentren, de acuerdo con los datos de la Tabla Núm. 31. Este método de análisis de los componentes, del Instituto del Asfalto, es similar al que hemos detallado antes como el procedimiento tradicional de rehabilitación de pavimentos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Podemos ilustrarlo en los siguientes ejemplos, auxiliándonos para ello de las gráficas de diseño de pavimentos flexibles para carreteras, del propio Instituto del Asfalto. Ver Figura Núm. 37

EJEMPLO 1:

Se tiene una carretera de dos carriles con tránsito medio de 400 vehículos diarios; 400 (10%), son camiones pesados de 14 Ton. (30000 Lbs) de peso bruto, en promedio. La carga máxima permisible, por eje, es anual. El pavimento existente consiste en una carpeta de 3" (7.5 cm) de concreto asfáltico, sobre una base de 8" (20 cm) de piedra triturada. El pavimento en general está en buenas condiciones, pero los estudios indican que necesita refuerzo para que resista el incremento del tránsito. Encontrar el espesor del recubrimiento necesario de concreto asfáltico, para un período de diseño de 20 años. Determinar también el espesor del recubrimiento para un período de diseño de 5 años, en una planeación por etapas. El CBR de diseño es de 5%.

A. PERIODO DE DISEÑO DE 20 AÑOS.

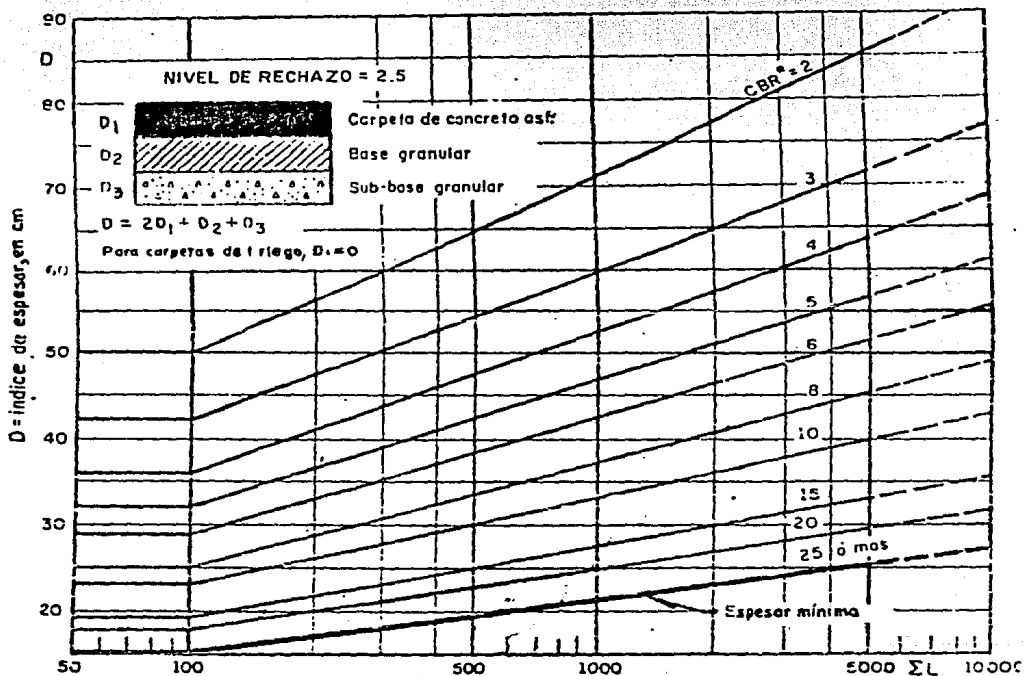
1.- Valor soporte de diseño del material de la capa subrasante.

CBR = 5%.

2.- Número de tránsito inicial (ITN)

a).- Tránsito diario inicial = 4000 vehículos (2 direcciones).

METODO DE DISEÑO DEL
INSTITUTO DE INGENIERIA
DE LA UNAM



ΣL = Aplicaciones acumuladas de carga de 8.2 Ton por eje sencillo, miles (carril de diseño)

* CBR debe escogerse el valor mínimo previsto para la subrasante en el campo, durante el periodo de diseño.

GRAFICA PRELIMINAR DE DISEÑO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES

Figure Núm. 37

b).- Número de camiones pesados en el carril de diseño:

$$= 4000 \times 0.50 \times 0.10 = 200$$

c).- Peso bruto medio de los camiones = 14 Ton (30 000 Lbs).

d).- Carga máxima permisible, por eje = 8 Ton (18 000 Lbs).

e).- Número de Tránsito Inicial (ITN) = 90 (de la Fig. 38). Siendo el ITN = 10, no se requiere corrección por automóviles.

3.- Factor de corrección del (ITN), por tasa de crecimiento y período de diseño.

a) Período de diseño = 20 años.

b) Tasa de crecimiento del tránsito = 4%

c) Factor de corrección del (ITN) = 1.49 (de la Tabla Núm. 31)

4.- Número de tránsito para diseño (DTN).

$$= 90 \times 1.49 = 134$$

5.- Espesor total requerido de pavimento de concreto asfáltico. (De la Figura Núm. 39)

$$T_A = 9.5'' \quad (24 \text{ cm})$$

6.- Espesor efectivo del pavimento existente (T_e):

Espesor de las capas	Factor de conversión (de la tabla Núm.32)	T_e = Espesor efectivo.
3" (7.5 cm)	0.8	2.4" (6 cm).
8" (20 cm)	0.4	<u>3.2" (8 cm).</u>

$$\text{TOTAL: } T_e = 5.6'' \quad (14 \text{ cm}).$$

7.- Espesor del recubrimiento de concreto asfáltico.

$$= T_A - T_e = 9.5'' - 5.6'' = 4'' \quad (24 \text{ cm} - 14 \text{ cm} = 10 \text{ cm})$$

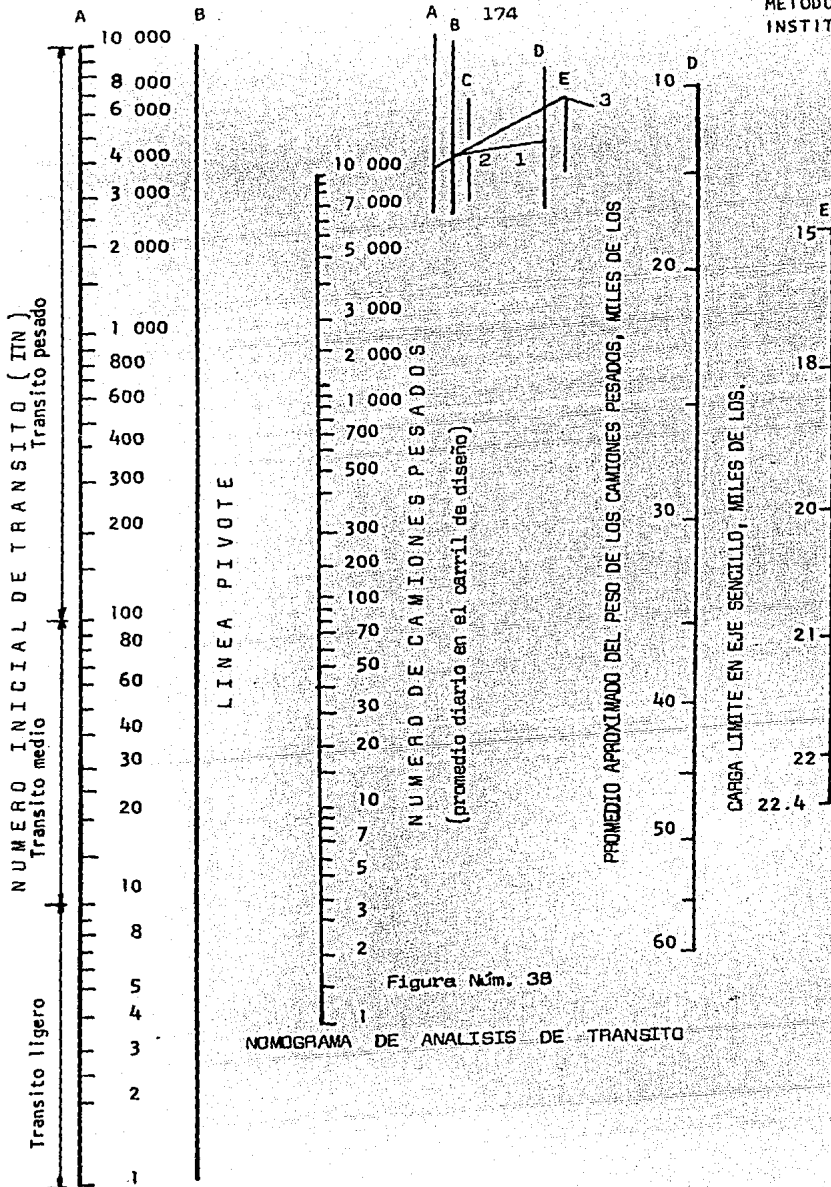


Figura Núm. 38

NOMOGRAMA DE ANALISIS DE TRANSITO

TABLA NUM. 31

FACTORES DE CORRECCION PARA EL NUMERO DE TRANSITO INICIAL (ITN).

Periodo de Diseño en Años (n)	Tasa de crecimiento anual,				por ciento (r)	
	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	0.07
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	1.49	1.84	2.29	2.86
25	1.25	1.60	2.08	2.74	3.66	4.92
30	1.50	2.03	2.80	3.95	5.66	8.22
35	1.75	2.50	3.68	5.57	8.62	13.55

$$\text{Factor} = \frac{(1+r)^n - 1}{nr}$$

NOTA: Este nomograma está basado en un período de diseño de 20 años; para otros períodos de diseño se requiere un ajuste según los datos de la Tabla 31

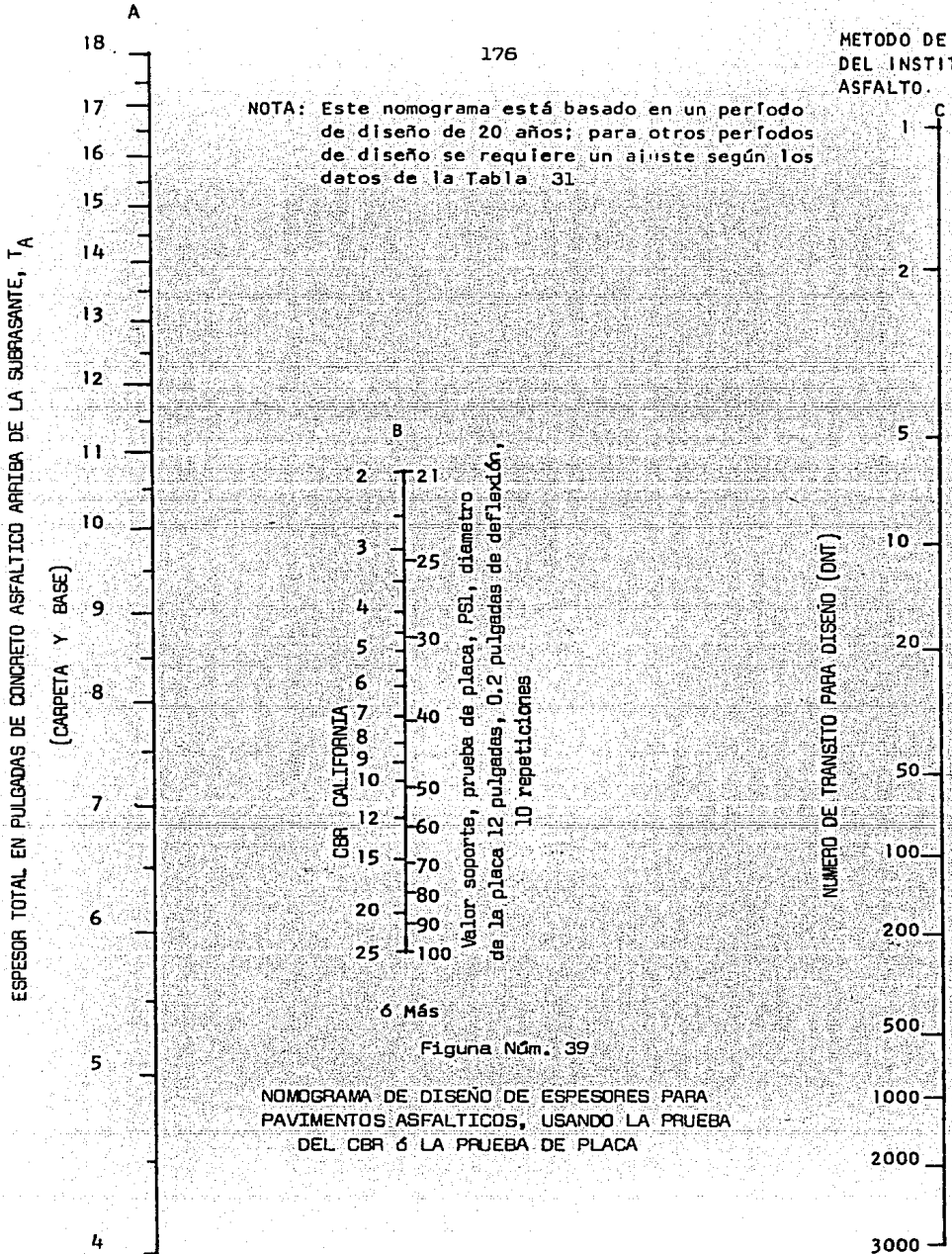


Figura Núm. 39

NOMOGRAMA DE DISEÑO DE ESPESORES PARA PAVIMENTOS ASFALTICOS, USANDO LA PRUEBA DEL CBR ó LA PRUEBA DE PLACA

B. PERIODO DE DISEÑO DE 5 AÑOS (CONSTRUCCION POR ETAPAS).

1.- Valor soporte de diseño de la capa subrasante.

$$C B R = 5 \%$$

2.- Número de tránsito inicial (ITN) = 90

3.- Factor de corrección del (ITN).

a).- Periodo de diseño = 5 años.

b).- Tasa de crecimiento del tránsito = 4%

c).- Factor de corrección al (ITN) = 0.27 (De la tabla Núm. 31)

4.- Número de tránsito para diseño (DTN) = $90 \times 0.27 = 24$.

5.- Espesor total requerido de pavimento de concreto asfáltico. (De la Fig. Núm. 39).

$$T_A = 8" (20 \text{ cm}).$$

6.- Espesor efectivo del pavimento existente (T_e) = 5.6" (14 cm).

7.- Espesor del recubrimiento de concreto asfáltico.

$$= T_A - T_e = 8" - 5.6" = 2.4" (20 \text{ cm} - 14 \text{ cm} = 6 \text{ cm}).$$

El refuerzo del pavimento consistirá por tanto, en una sobrecarpeta de concreto asfáltico de 4" (10 cm) de espesor, para un periodo de diseño de — 20 años y de 2.4" (6 cm), para un periodo de 5 años.

EJEMPLO 2:

Una carretera de 2 carriles de circulación, con pavimento de concreto hidráulico, tiene un promedio de 8000 vehículos diarios, de los cuales 1000 (12.5%) son camiones pesados, con un peso medio bruto de 35000 Lbs. (16 Ton). Se estima que el carril de diseño lleva el 50% de los camiones pesados. La tasa de crecimiento del tránsito es de 5% anual. La carga máxima permisible por

eje, es de 22400 Lbs (10 Ton). El pavimento existente consiste de 8" — (20 cm) de concreto hidráulico y 4" (10 cm) de sub-base de grava arena. — El pavimento rígido está muy agrietado y fallado. Determinar el espesor necesario del recubrimiento de concreto asfáltico que se requiere, para — un período de diseño de 5 años.

1.- El índice de resistencia del material de la capa subrasante, determinado mediante la prueba de estabilómetro de Hveer, fué de R=48.

2.- Número de tránsito inicial (ITN):

a).- Tránsito diario inicial (IDT) = 8000 vehiculos.

b).- Cantidad de camiones pesados en el carril de diseño = $8000 \times 0.50 \times 0.125 = 500$.

c).- Peso bruto medio de los camiones pesados = 35000 Lbs. (16 Ton).

d).- Carga máxima permisible por eje = 22400 Lbs (10 Ton).

e).- (De la Fig. Núm. 36) se obtiene:

$INT = 625 > 10$, no es necesario corregir por vehiculos ligeros.

3.- Factor de corrección del (ITN):

a).- Período de diseño = 5 años.

b).- Tasa de crecimiento del tránsito = 5%.

c).- (De la tabla Núm. 31), se obtiene, interpolando, un factor de corrección de 0.28.

4.- Número de tránsito para diseño:

$DTN = 625 \times 0.28 = 175$

5.- Espesor total requerido de pavimento de concreto asfáltico. (De la Fíg. Núm. 40), se obtiene: $T_A = 7.7" \approx 8" (20 \text{ cm})$.

6.- Espesor efectivo del pavimento existente:

ESPESOR DE LAS CAPAS
DEL PAVIMENTO.

FACTOR DE CONVERSION
(TABLA NUM. 32)

ESPESOR EFECTIVO
 T_e .

NOTA: Este nomograma está basado en un período de diseño de 20 años; para otros períodos de diseño se requiere un ajuste según los datos de la Tabla 31

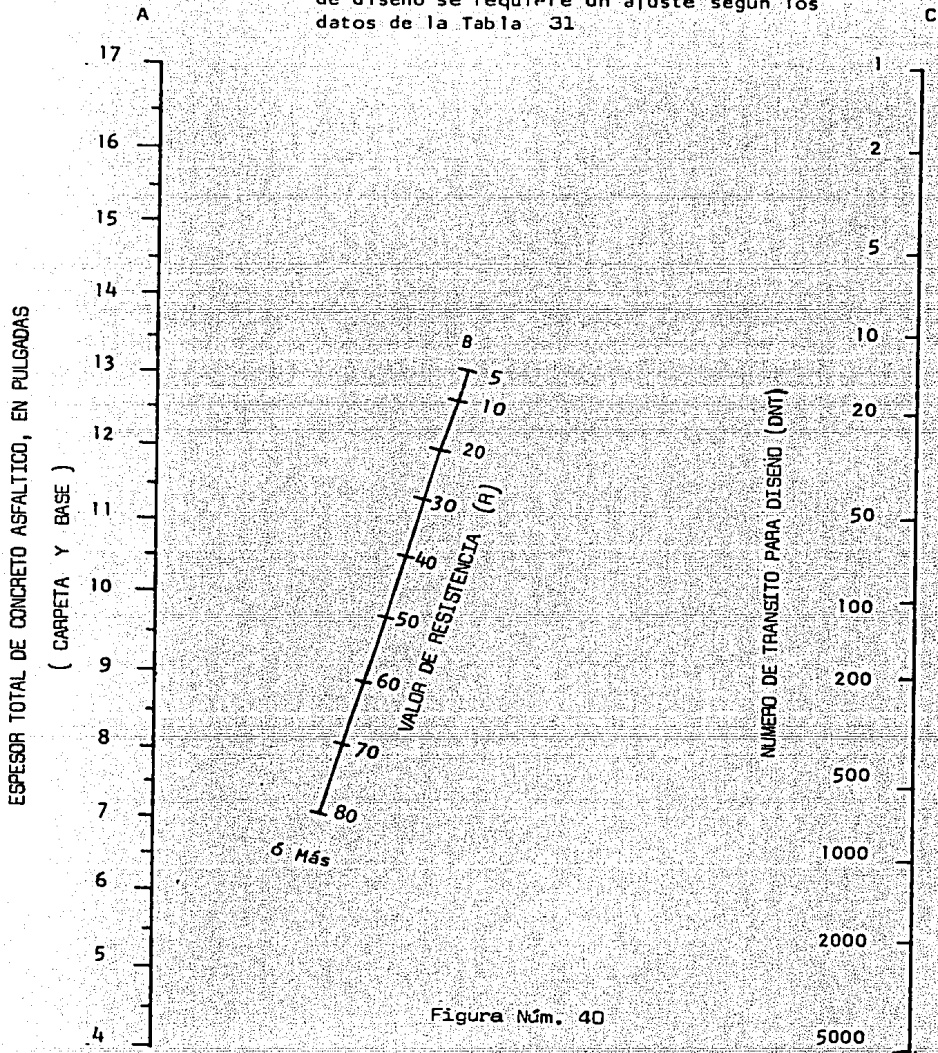


Figura Núm. 40

NOMOGRAMA DE DISEÑO DE ESPESORES PARA PAVIMENTOS ASFALTICOS, USANDO EL VALOR DE RESISTENCIA (R)

8" (20 cm)	0.5 (*)	4" (10 cm)
2" (10 cm)	0.25	<u>1" (2.5 cm)</u>

TOTAL, $T_e = 5"$ (12.5 cm).

(*) Se considera que las losas se rompen en fragmentos y se asientan sobre la sub-base, con equipo neumático pesado.

7.- Espesor del recubrimiento de concreto asfáltico:

$$= T_A - T_e = 8" - 5" = 3" (7.62 \text{ cm}).$$

8.- Como el espesor calculado es menor que el espesor de 4.5" (11.5 cm) recomendado por el Instituto del Asfalto, para reducir al mínimo las grietas reflejadas, provenientes del pavimento rígido subyacente, el espesor obtenido del recubrimiento tendría que incrementarse a 4.5" (11.5 cm).

En la Tabla Núm. 32 que aparece a continuación se muestran los factores para convertir a espesor efectivo (T_e) de concreto asfáltico los espesores de los componentes del pavimento existente, según el Instituto del Asfalto de los E.U.

TABLA NUM. 32

FACTORES PARA CONVERTIR A ESPESOR EFECTIVO (T_e) DE CONCRETO ASFÁLTICO LOS ESPESORES DE LOS COMPONENTES DEL PAVIMENTO EXISTENTE, SEGÚN EL INSTITUTO DEL ASFALTO DE LOS E.U.

CLASIFICACION DEL MATERIAL	DESCRIPCION DEL MATERIAL	FACTORES DE CONVERSION (*)
I	Capa subrasante del suelo natural.	0.0
II	a) Capa subrasante mejorada, material granular predominante; puede contener algo de limo y arcilla, pero tendrá un I P (Índice de Plasticidad) de 10 ó menos (capas subrasante mejorada = cualquier capa o capas de	

	<p>material mejorado entre la capa subrasante de <u>sue</u>lo natural y el pavimento).</p> <p>b) Capa subrasante modificada con cal, construida con suelos de alta plasticidad, IP mayor de 10 — (capa subrasante modificada con cal, preparada y compactada mecánicamente, sin endurecer o semiendurecida, colocada debajo del pavimento.)</p>	0.0-0.2
III	<p>a) Sub-base o base granular, agregados duros, — razonablemente bien graduados con algunos finos — plásticos y un CBR no menor de 20. Usese el va—lor superior del rango, si el IP es menor de 6 y el valor inferior si es mayor de 6.</p> <p>b) Sub-bases o bases modificadas con Cemento — Portland, construidas con suelos de baja plasticidad, IP de 10 ó menor (Sub-bases modificadas — con cemento = una mezcla íntima de suelo pulveri—zado, cemento Portland y agua, sin endurecer o — semiendurecida, colocada entre la capa subrasan—te y la base. Base modificada con cemento y una mezcla íntima de suelo pulverizado, cemento Por—tland y agua, sin endurecer o semiendurecida, — construida para proteger la capa subrasante o la sub-base).</p>	0.2-0.3
IV	<p>a) Base granular. Material no plástico, que tie—ne características de una base de alta calidad. Use el valor más alto del rango fijado.</p> <p>b) Capas superficiales de mezclas asfálticas, — que presentan un patrón de grietas definido, mos—trando desintegración a lo largo de las grietas, con apreciables deformaciones en las huellas de las ruedas y claras indicaciones de inestabilidad.</p> <p>c) Pavimento de concreto hidráulico, que ha sido roto en pequeñas piezas de 2 pies o menos de ta—maño máximo, previamente a la construcción de la sobrecarpeta. Use el valor superior del rango, cuando exista sub-base y el valor inferior, cuan—do la losa se apoya directamente sobre la capa — subrasante.</p>	

	<p>d) Bases de suelo-cemento que se han agrietado extensamente, lo que se ha reflejado por agrietamiento de la superficie, pudiendo presentarse bombeo; el pavimento muestra pocos — indicios de inestabilidad. (Base de suelo — cemento = material endurecido formado por el curado de una mezcla íntima de suelo pulverizado, cemento Portland y agua, mecánicamente compactada y colocada como una parte del pavimento, para proteger y reforzar la capa — subrasante y la sub-base).</p>	
V	<p>a) Carpetas asfálticas sobre bases asfálticas (**), que muestran agrietamiento apreciable y patrones de grietas, pero poca o ninguna desintegración a lo largo de las grietas y aunque muestren cierta deformación en las rodadas, permanecen esencialmente estables.</p> <p>b) Pavimento de concreto hidráulico bastante agrietado y con fallas, que no puede ser inyectado de manera efectiva. Fragmentos de — losa de 1 a 3.5 m², que pueden asentarse — bien sobre la capa subrasante con equipo neumático pesado.</p> <p>c) Bases de suelo-cemento que presentan poco agrietamiento, como lo muestran los patrones de grietas que aparecen superficialmente y — que están colocadas sobre superficies estables. (Véase definición de bases de suelo-cemento, en el párrafo IV d).</p>	0.5-0.7
VI	<p>a) Carpetas de concreto asfáltico que muestran algunas grietas delgadas y pequeños e intermitentes patrones de agrietamiento, — así como ligeras deformaciones en las rodadas, pero se conservan estables.</p> <p>b) Mezclas con asfalto líquido, que permanecen estables y sin grietas, que no presentan exceso de asfalto y solamente manifiestan ligera deformación en las rodadas.</p>	0.7-0.9

	<p>c) Bases tratadas con asfalto, incluyendo las diferentes al concreto asfáltico (* *).</p> <p>d) Pavimento de concreto hidráulico estable que ha sido inyectado y que presenta cierto agrietamiento, pero no tiene fragmentos menores de 0.8 m².</p>	
VII	<p>a) Concreto asfáltico, con base de concreto asfáltico, generalmente sin grietas y casi sin deformación en las rodadas.</p> <p>b) Pavimento de concreto hidráulico estable, inyectado bajo las losas, en general sin grietas.</p> <p>c) Base de concreto hidráulico bajo carpeta asfáltica, que se conserva estable y presenta muy poco agrietamiento reflejado, sin señales de bombeo.</p>	0.9-1.0

(*) Valores y rangos de los Factores de Conversión, que deben multiplicarse por los espesores de la capa de la estructura existente, para obtener el espesor equivalente de concreto asfáltico. Estos factores UNICAMENTE — deben usarse para valuar un pavimento existente y diseñar la sobrecarpeta.— De ninguna manera se aplican para diseño de pavimento nuevos.

(* *) Base de concreto asfáltico, base de macadam asfáltico, base de — mezcla en planta, base asfáltica de mezcla en el lugar.

6.2 METODOS DE EVALUACION DE PAVIMENTOS Y REHABILITACION.—

Método del Instituto del Asfalto para rehabilitación de pavimentos flexibles de carreteras, usando mediciones de deflexión.—

Este método es aplicable solamente a carreteras cuya superficie de rodamiento esté constituida por una capa de mezcla asfáltica.

La magnitud de la deflexión de un pavimento, es una indicación de la capacidad de éste para soportar cargas. Diferentes investigaciones en los Estados Unidos han establecido correlaciones entre las cargas transmitidas por las — ruedas, la recuperación de la deformación en el pavimento y las repeticiones

de carga. Con estas correlaciones, las recuperaciones de la deflexión del pavimento, medidas para cargas estandarizadas, puede servir para determinar el tipo y la magnitud de las medidas correctivas que sean necesarias para llevar a cabo esta evaluación; se deben medir deflexiones representativas en el pavimento y hacer el análisis del tránsito correspondiente.

En el procedimiento que aquí se describe, la deflexión del pavimento se mide con la viga BENKELMAN, utilizando la prueba de recuperación. Las deflexiones del pavimento se determinan en las rodadas exteriores, en por lo menos 10 lugares escogidos en cada tramo de condiciones iguales o muy semejantes o un mínimo de 12 lugares por km (20 por milla). El valor representativo de la recuperación de la deflexión, es el promedio de las recuperaciones medidas, más dos desviaciones estándar, corregida por temperatura y por período crítico del año (época durante la cual el pavimento está más expuesto a ser dañado por las cargas pesadas).

Las zonas del pavimento que presenten una deflexión mayor que el valor representativo, determinado como se indicó anteriormente, deben recibir un tratamiento especial. Se harán en esos lugares medidas adicionales de la deflexión, con el fin de fijar la magnitud de las áreas débiles, las deflexiones medidas en los lugares que ameritan tratamiento especial, se omiten al calcular la deflexión representativa.

El análisis del tránsito se efectúa de la misma manera que para pavimentos nuevos, usándose para el proyecto, el número de tránsito para diseño (DTN).

El valor representativo de recuperación de la deflexión del pavimento y el número de tránsito para diseño (DTN), son los parámetros que intervienen en el diseño del refuerzo, empleando este método.

El procedimiento para determinar la recuperación estática de la deflexión en un punto del pavimento, se efectúa utilizando para la prueba una viga -

BENKELMAN, que se coloca entre las llantas dobles de una rueda trasera de un camión cargado. Ver Figura Núm. 41

El pie de la sonda, en el extremo de la viga, se hace descansar sobre el pavimento bajo el eje trasero y entre las dos llantas del vehículo; la viga sonda gira en un plano vertical alrededor de un eje o pivota a 2.40 m (8 pies) del extremo. El camión avanza muy lentamente y la deflexión total del pavimento se lee en un extensómetro. La deflexión obtenida, es la recuperación vertical que experimenta la superficie cuando se deja de aplicar la carga.

El camión para la prueba debe tener una carga de 18,000 Lbs. en el eje trasero, con llantas duales de 10.00 x 20 y presión de inflado de 80 Lbs/Pulg.².

El procedimiento de prueba es el siguiente:

- 1.- Se marca en el pavimento el punto escogido para hacer la prueba. Los puntos deben localizarse a 0.60 m (2 pies) de la orilla del pavimento, si el ancho del carril es menor de 3.30 m (11 pies) y a 0.90 m (3 pies) de la orilla, si el ancho es de 3.30 m (11 pies) o mayor.
- 2.- Se centra el sistema de las ruedas dobles del camión sobre el punto marcado. Es aceptable una diferencia hasta de 7.6 cm (3"), en esta operación.
- 3.- Se inserta el brazo probador de la viga BENKELMAN entre las llantas duales del camión, colocando el pie de la sonda sobre el punto de prueba.
- 4.- Se retira el perno del seguro y se ajustan los apoyos delanteros de manera que permitan una carrera de 1.27 cm (0.5") del vástago del extensómetro.
- 5.- Se conecta el zumbador de la viga y se registra la lectura inicial en el extensómetro. El objeto del zumbador es advertir que se está haciendo una medición.

- 6.- Inmediatamente después, se mueve lentamente el camión hacia adelante, hasta una distancia de 9m (30 pies) o más.
- 7.- Se registra la lectura final del extensómetro. Cuando deje de moverse la aguja de la carátula, desconéctese el zumbador.
- 8.- Se mide la temperatura superficial del pavimento, a una distancia no menor de 10" (25 cm) de la orilla del mismo. Abriendo un agujero de $1/8$ " (3 mm) de diámetro y $1/8$ " (3mm) de profundidad, relléndolo con un asfalto líquido viscoso a la temperatura ambiente, y tal que, dejándolo en reposo una hora, permita medir con un termómetro la temperatura correspondiente de la capa. También debe determinarse la temperatura ambiente, en ese momento.
- 9.- Se mide el espesor total de la capa asfáltica del pavimento existente, así como el de cada una de las capas restantes que lo constituyen y se determinan las características de los materiales que los forman.

El cálculo de la deflexión se limita a restar la lectura final del extensómetro de la lectura inicial. La recuperación total del pavimento es el doble de la diferencia anterior, tomando en cuenta las longitudes de los brazos de palanca, con relación al punto de giro (una relación de dos a uno es usual en la viga BENKELMAN. Sin embargo, algunos modelos pueden estar contruídos con una relación diferente).

El reporte debe incluir lo siguiente:

- a).- Lugar de prueba.
- b).- Recuperación total de la deflexión del pavimento.
- c).- Temperatura ambiente.
- d).- Espesor de la capa asfáltica del pavimento.
- e).- Espesor total del pavimento y cómo se encuentra estructurado.
- f).- Temperatura superficial del pavimento.

Cuando ya se han medido todas las deflexiones en un tramo, los datos registrados se utilizan para calcular la recuperación representativa de la deflexión para el tramo, mediante la expresión:

$$\Delta = (\bar{X} + 2s) fc$$

En la cual:

Δ = Recuperación representativa de la deflexión.

\bar{X} = Promedio aritmético de los valores de deflexión individuales.

s = Desviación estándar de las deflexiones, respecto al promedio.

f = Factor de corrección por temperatura.

c = Factor de corrección por período crítico (c = 1 para pruebas durante el período crítico).

La desviación estándar se calcula de la siguiente manera, mediante la fórmula:

$$s = \sqrt{\frac{n(\sum X^2) - (\sum X)^2}{n(n-1)}}$$

En la cual:

S = Desviación estándar.

X = Valor de la deflexión en cada prueba.

n = Número de los valores individuales de prueba.

DETERMINACION DEL FACTOR DE CORRECCION POR TEMPERATURA, "f"

Para determinar el factor de corrección por temperatura (f), se hace uso de. Ver Figuras Núms. 42 ó 43, tomando en cuenta las indicaciones que se hacen a continuación:

La gráfica de la figura Núm. 42, obtenida para pavimentos constituidos por base granular en su mayor parte, está basada en una gran cantidad de datos, por lo que deberá usarse prácticamente siempre.

TEMPERATURA MEDIA, °F
(Promedio de las temperaturas superior,
media e inferior de la capa asfáltica)

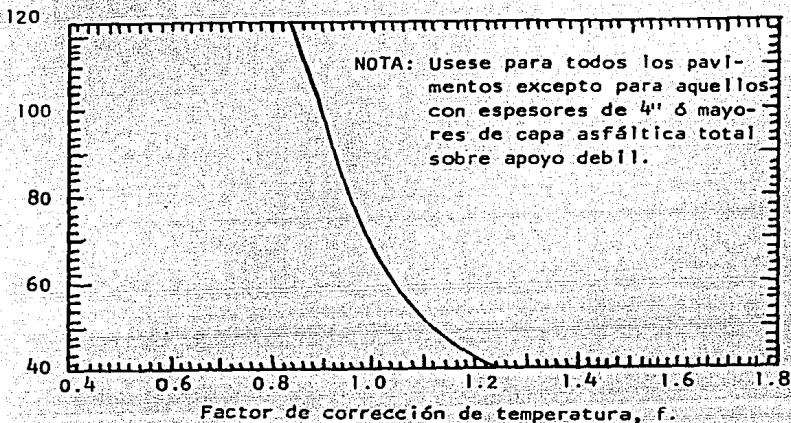


FIGURA NUM. 42 FACTORES DE CORRECCION DE TEMPERATURA PARA DEFLEXIONES CON LA VIGA BENKELMAN.

TEMPERATURA MEDIA, °F
(Promedio de las temperaturas superior,
media e inferior de la capa asfáltica)

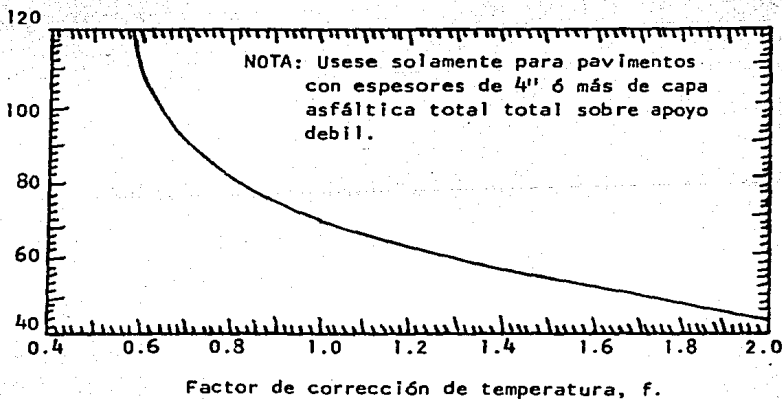


FIGURA NUM. 43 FACTORES DE CORRECCION DE TEMPERATURA PARA DEFLEXIONES CON LA VIGA BENKELMAN.

La gráfica de la figura Núm. 43 debe usarse solamente cuando se tengan capas asfálticas con espesores de 10 cm (4") o más, descansando sobre apoyos débiles. Se define aquí el "apoyo débil" como una sustentación de escasa resistencia ocasionada por los materiales (capa subrasante, sub-base o ambas), colocados directamente abajo de las capas asfálticas, al momento de medir las deflexiones.

El apoyo de la capa asfáltica puede ser débil durante una época y resistente durante otra. Por ejemplo, una capa subrasante de arcilla o limo en estado seco, puede constituir una sustentación firme a la capa asfáltica, pero puede ofrecer muy escasa resistencia estando saturados dichos materiales. En el primer caso, es decir, cuando los materiales están secos, debe usarse la gráfica de la Fig. Núm. 42 y en el segundo caso la gráfica Núm. 43, suponiendo que existe además la condición de espesor, citada anteriormente, para la capa asfáltica.

La temperatura media del pavimento, con la que debe entrarse a las gráficas ver Figs. Núms. 42 y 43 es el promedio de las temperaturas en la superficie, a media profundidad y en la parte inferior del espesor total de mezcla asfáltica del pavimento, aunque haya sido colocada por capas y en épocas diferentes.

La temperatura media del pavimento se utiliza para determinar el factor de corrección por temperatura (f), necesario para referir los valores de la deflexión del pavimento, a la temperatura estándar de 70 grados F (21 grados C).

METODO PARA LA REHABILITACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES DE CAMIONES, BASADO EN MEDICIONES DE DEFLEXION.-

El método de la División de Carreteras del Estado de California, E.U., considera el uso de cuatro aparatos para medir deflexiones en pavimentos y establece procedimientos para determinar los espesores de recubrimiento, generalmente de concreto asfáltico, que se requieren para el refuerzo de cami-

nos existentes. Básicamente el método consiste en la medición de la deflexión total del pavimento, resultante de la aplicación de una carga por eje sencillo de 15,000 Lbs. (7,500 Lbs. por una rueda doble). Las lecturas de deflexión obtenidas, se comparan con los valores máximos permisibles, determinados previamente en un tramo de condiciones estructurales semejantes y con un volumen de tránsito similar, referido a cargas equivalentes de 5 000 Lbs., por rueda. El tratamiento correctivo se describe como la capa requerida para reducir la deflexión a un nivel en que la carpeta difícilmente fallará por fatiga. Este refuerzo se obtiene en términos de espesor equivalente de grava y el espesor real que se construirá, se determina mediante los factores de equivalencia de grava de los materiales (concreto asfáltico, base estabilizada con cemento Portland, etc.), que podrán ser usados para reforzar el pavimento antiguo.

A.- EQUIPO.- Los aparatos que se emplean para determinar deflexiones, según este método son:

- 1.- Viga BENKELMAN.- Este aparato opera siguiendo el principio de una palanca simple. Un brazo de prueba de 8 pies de longitud, se coloca entre las dos llantas duales (medidas 11.00 x 22.5, separación de 12" entre sí y 70 lb/Pulg² de presión de inflado) del camión cargado con 15 000 Lbs, por eje sencillo. Al deformarse el pavimento el pivote de la viga gira alrededor de un punto de rotación colocado en la viga de referencia, la cual descansa en el pavimento, hacia atrás del área de influencia, de tal manera que el brazo posterior de la viga, de 4 pies de longitud, acciona un extensómetro que registra la deflexión máxima con aproximación de 0.001 de pulgada.

Aun cuando este aparato está limitado a la medición de deflexiones totales solamente para vehículos de prueba operando a muy baja velocidad, tiene ventajas muy importantes en cuanto a sencillez, versatilidad y ra

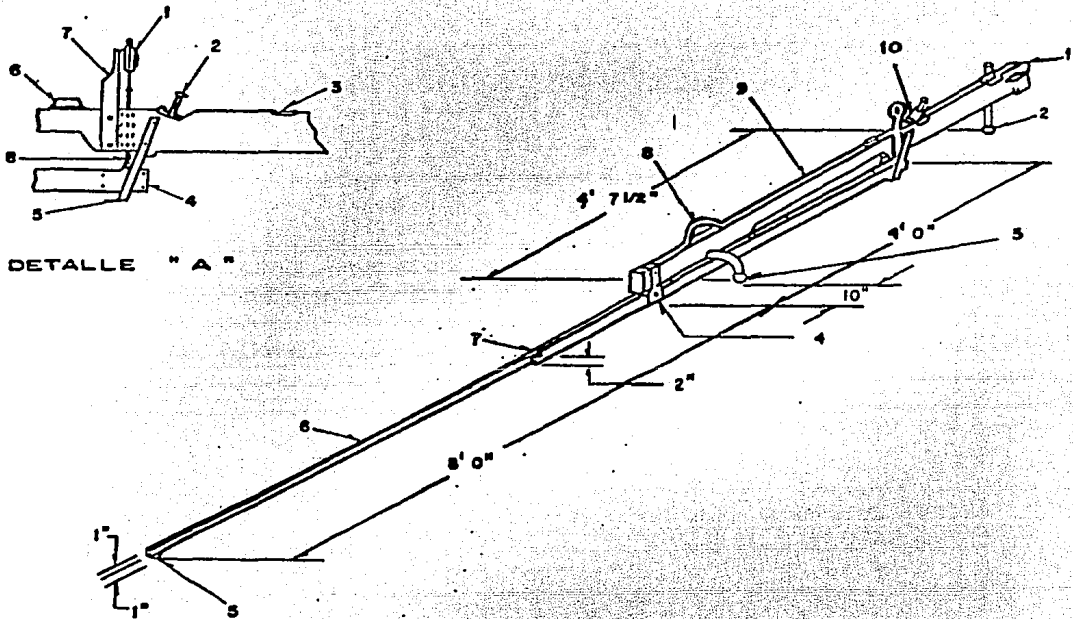


FIGURA NUM. 41 VIGA BENKELMAN

DESCRIPCION DE PARTES DE LA FIG. 41

- | | |
|-----------------------------|------------------------|
| 1.- BATERIA | 6.- VIGA SONDA |
| 2.- APOYO TRASERO AJUSTABLE | 7.- JUNTA RIGIDA |
| 3.- APOYO DELANTERO | 8.- AGARRADERA |
| 4.- PIVOTE EMBALERADO | 9.- VIGA DE REFERENCIA |
| 5.- PIE DE LA SONDA | 10.- VER DETALLE "A" |

DETALLE "A"

- | | |
|------------------------------|------------------------------|
| 1.- EXTENSOMETRO DE CARATULA | 5.- GUIA DE LA VIGA |
| 2.- SEGURO DE LA VIGA | 6.- ZUMBADOR |
| 3.- INTERRUPTOR DEL ZUMBADOR | 7.- SOSTEN DEL EXTENSOMETRO |
| 4.- S O N D A | 8.- VASTAGO DEL EXTENSOMETRO |

pidez de medición. Con él es posible efectuar entre 300 y 400 medidas de deflexión individuales, por día.

- 2.- DEFLECTOMETRO MOVIL.- Este aparato es un instrumento automático de medición de deflexiones, basado en el principio de la viga BENKELMEN.- Forma una unidad camión-remolque que lleva una carga de prueba por eje sencillo de 15 000 Lbs en las llantas traseras (medidas 11.00 x 22.5 — separación de 12" entre sí y 70 Lb/Pulg.² de presión, que son características idénticas a las del vehículo que se emplea en la viga BENKELMAN) y mide la deflexión del pavimento bajo ambas ruedas simultáneamente.

EL DEFLECTOMETRO MOVIL es un instrumento electromecánico, capaz de medir deflexiones en el pavimento a intervalos de 20 pies (6 m), de una manera uniforme y continua, mientras el vehículo se desplaza sobre el camino a 0.5 millas/hora.

Las deflexiones se miden con una aproximación de 0.001 de pulgada, por medio de un brazo de prueba que descansa sobre el pavimento y se registran en forma continua en una gráfica. En un día normal de trabajo, se pueden hacer entre 1,500 y 2,000 medidas individuales de deflexión.

- 3.- DYNAFLECT.- Este aparato es un sistema electromecánico para medir la deflexión dinámica de la superficie de una carretera, producida por una carga oscilatoria. Consiste en un generador de fuerza dinámica, un aparato móvil de medición, una unidad de calibración y una serie de 5 geófonos móviles, montados en un pequeño remolque; estando en posición fija, ejerce en la superficie del pavimento, mediante dos ruedas de acero cubiertas de hule, una carga oscilatoria cuya intensidad es de 1,000 Lbs., en los puntos máximos. La amplitud resultante de la deflexión, es recogida por los geófonos y leída como una medida de la propia deflexión, en —

un aparato colocado dentro de la cabina del vehículo remolcador.

- 4.- CURVIMETRO DEHLEN.- Este aparato consiste en una barra de aluminio de 1/2 pulgada de grueso, por 1 1/2 pulgada de ancho y 13 pulgadas de longitud, con apoyos a una distancia de 12 pulgadas, centro a centro y un extensómetro de carátula, con aproximación de 0.0005 pulgadas, carrera de 0.05 pulgadas, fijado al centro de la barra. Colocando este aparato entre las dos ruedas duales del vehículo de prueba cargado (15,000 Lbs) por eje sencillo y llantas de 11.00 x 22.5, con 70 lb/Pulg.² de presión, es posible medir la ordenada media de una curva que tiene una longitud de cuerda de 12 pulgadas, correspondiente a la cavidad de la zona deformada y de la cual puede calcularse el radio de la curvatura y obtenerse el valor de la deflexión.

B.- TRABAJOS PRELIMINARES.-

- 1.- Obtención de los datos necesarios de la carretera cuyo pavimento va a ser evaluado.
- a).- Determinése la sección estructural existente, de los registros de construcción o de otras fuentes y tómesese nota de todas las variaciones.
 - b).- Selecciónese el índice de tránsito adecuado.
 - c).- Estúdiense los archivos de la construcción de la obra, para determinar las condiciones de drenaje y de apoyo del pavimento, así como los problemas importantes que pudieran haberse presentado durante su ejecución y que hayan tenido algún efecto en el comportamiento de la carretera.
- 2.- TRABAJOS PRELIMINARES DE CAMPO.-
- a).- Determinése la naturaleza, extensión y límites de los diversos tipos de fallas o deterioros a lo largo del tramo y las restricciones

o controles verticales que se tengan (guarniciones, bordillos, — etc.) y anótese en un registro.

- b).- Selecciónese uno o más tramos representativos de prueba, por cada cambio en las condiciones que se observen a simple vista o cada cambio conocido en la sección estructural.

Refiriéndose cada tramo de prueba a un punto conocido o de fácil identificación en el campo. Todos los tramos de prueba deben incluirse suficiente distancia de visibilidad en ambas direcciones, por lo que, si es posible, debe evitarse la localización de tramos de prueba curvas horizontales o verticales. Cada tramo de prueba normalmente debe variar entre 800 y 1000 — pies de longitud (240 a 300 m) y ser representativo de una milla (1.6 Km), en el centro línea de un carril de una carretera.

CONCLUSIONES

1) En este trabajo se mostró primeramente como Primer Capítulo una serie de generalidades que a mi parecer son de vital importancia para poder apreciar qué tan importante es planear, proyectar, construir, controlar y — mantener un camino, el cual nos va a permitir incrementar nuestra red carretera y obtener como consecuencia un mayor desarrollo político, social y económico del Estado donde se haya construido la obra.

Para lograr tener una carretera confiable y segura en todo momento, es necesario que los materiales que van a ser empleados en la construcción de dicha carretera se apeguen a ciertas normas ya establecidas, con lo que podemos asegurar que la carretera una vez habilitada al tránsito podrá soportar los volúmenes de vehículos para los que fue proyectada y resistir la acción de los agentes destructivos del intemperismo, como son: la lluvia, el sol, el frío y el viento. Tal es el objetivo que se persigue en el Segundo Capítulo.

En toda obra de ingeniería y en particular de ingeniería civil, Los Procedimientos de construcción vienen a formar un sistema que puede volverse tan sofisticado como adelantos tecnológicos se tengan a la mano para desarrollarlos. El elegir un procedimiento constructivo caro no quiere decir que se esté escogiendo el óptimo, por lo que siempre se tendrá que seguir el procedimiento más adecuado a las necesidades de proyecto; con esto se estará asegurando el buen comportamiento que va a tener la carretera o camino, que es la finalidad que persigue resaltar el Tercer Capítulo.

El Capítulo Cuarto viene siendo la parte medular de esta tesis ya que en él se describe el control de calidad que se sigue durante la construcción de una carretera, y el aseguramiento de la calidad de la misma. Este control y aseguramiento de la calidad de la carretera no serían posi—

bles sin antes haber cumplido con los conceptos explicados en los Capítulos II y III.

Las fallas que se presentan en una carretera son tema del penúltimo Capítulo de esta tesis. Empezamos diciendo que las fallas que se presentan en una carretera no siempre son consecuencia de una mala realización de ésta, sino que se reúnen una serie de situaciones que a través del tiempo hacen que el pavimento pierda las características de servicio para las que fue diseñado y que dependen de variables como el tránsito, el clima, los materiales, etc.; si alguna de estas variables no son tomadas correctamente en consideración pueden dar lugar a que el pavimento, bien sea flexible ó rígido, falle.

El Capítulo Sexto nos muestra un punto muy importante para hacer que la vida útil de la carretera sea cada vez más larga, ya que se trata de los procedimientos de evaluación y rehabilitación que se deben aplicar para que éstas obras sigan sirviendo al tránsito del vehículo automotor, en buenas condiciones de servicio.

- 2) Como proposición central de esta tesis diré que el aseguramiento de la calidad de una obra de ingeniería civil, en particular el de una carretera, empieza desde la concepción de la misma, seguida de una buena planeación, un buen diseño, por supuesto que de una excelente ejecución, sin olvidarnos de su adecuada y oportuna conservación.

Para efectos de esta tesis, el aseguramiento de la calidad de la obra, está enfocado primordialmente a la etapa de ejecución.

El papel que juegan los laboratorios dedicados a las actividades de control de calidad de las obras es muy importante para asegurar el buen comportamiento de las mismas, máximo cuando estos centros de trabajo cuen—

tan con equipo muy completo y moderno para realizar todo tipo de ensayos. La Secretaría de Comunicaciones y Transportes dispone en la actualidad de más de 200 laboratorios cuya ubicación depende de los lugares de ejecución de sus obras viales. En el D.F. se encuentran varios laboratorios - llamados centrales que cuentan con equipo moderno y completo, que auxilian a los laboratorios de campo cuando éstos no poseen el equipo necesario para realizar cierto tipo de pruebas especiales. En las capitales - de los Estados, existen también Laboratorios bien equipados que están en condiciones de efectuar ensayos que en un momento dado pueden evitar retrasos en el avance de las obras.

El Residente de la obra vial es el técnico responsable de que la misma - se ejecute con materiales que reúnan las características indicadas en el proyecto, y que los procedimientos constructivos elegidos sean los correctos; por esto propongo que para que un Residente esté en posibilidades de desempeñar este cargo, tenga primeramente que adquirir los conocimientos necesarios a través de personas de mucha capacidad y experiencia en la materia, para que de esta manera utilice adecuadamente los materiales disponibles y aplique los sistemas de construcción más ventajosos en cada caso.

Los laboratorios no sólo realizan pruebas para verificar la calidad de - las obras en ejecución sino que también efectúan estudios para fines de proyecto de dichas obras, proponiendo modificaciones convenientes durante su ejecución o construcción, cuando el caso lo amerita. Los bancos de materiales deben analizarse oportunamente, determinar si éstos cuentan con las características esperadas y buscar la forma de que su explotación sea adecuada, así como definir los tratamientos a que deben someterse para su mejor aprovechamiento; esto es también función del laboratorio, lo cual nos permite dar cuenta del papel tan importante que los

mismos juegan en las etapas de proyecto, construcción y conservación de las obras viales.

Las visitas que hacen los supervisores a las Residencias de obra y a los laboratorios deben ser lo más honestas posibles, a efecto de transmitirles la mejor orientación en el desempeño del trabajo.

Básicamente puede decirse que el peso más fuerte en este control de calidad recae en los laboratorios y el aseguramiento de la calidad está en manos de la Residencia y del personal de supervisión, ya que son los autorizados para ordenar oportunamente a las empresas constructoras la corrección o reposición de los trabajos que hayan quedado defectuosos.

- 3) Como comentario final, estimamos de utilidad poner de manifiesto algunas tendencias actuales en la construcción de pavimentos:
- a) Disminuir el uso de asfaltos rebajados, por los problemas de abastecimiento y costo del petróleo crudo en el mundo, así como por el degredamiento de los solventes volátiles, que implica la utilización de dichos productos.
 - b) Empleo de aditivos más eficaces para el asfalto que favorezcan su afinidad con los materiales pétreos, en forma de hacer más durables y resistentes las mezclas asfálticas a la acción del agua; asimismo, aditivos para impartirle a dichas mezclas otras propiedades benéficas, como menor permeabilidad, mayor resistencia a los agentes del intemperismo, etc.
 - c) Disminución en los costos de rehabilitación de pavimentos mediante el uso de procedimientos de reciclado que permiten aprovechar los materiales existentes y obtener ahorros por concepto de agregados pétreos y productos asfálticos.

- d) Empleo de mejores técnicas de proyecto, construcción y conservación de carreteras, por el uso de procedimientos de construcción más eficientes, utilización de nuevos materiales o productos y empleo de maquinaria y equipo novedoso en la ejecución de estas obras.

Fin

B I B L I O G R A F I A :

* VIAS DE COMUNICACION

Camino, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos.

Carlos Crespo Villalaz

Limusa 1982

* CAUSAS E IDENTIFICACION DE FALLAS EN LOS PAVIMENTOS PROCEDIMIENTOS DE REHABILITACION.

Dirección General de Control S.O.P.

Ing. Domingo Sánchez Rosado. México Feb. 1974.

* CONTROL DE CALIDAD DE LAS OBRAS VIALES

Dirección General de Control Técnico S.A.H.O.P.

Ing. Domingo Sánchez Rosado. Feb. 1984.

* ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCION

Secretaría de Obras Públicas

Parte Octava (Libro Primero). México 1970

* ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCION

Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas.

Parte Octava México 1957

* NORMAS PARA CONSTRUCCION E INSTALACIONES

Pavimentos 3.01.03 Libro 3

S.C.T. México 1983.

* NORMAS PARA CONSTRUCCION E INSTALACIONES

Terracerías 3.01.01 Libro 3

S.C.T. México 1984

* NORMAS PARA CONSTRUCCION E INSTALACIONES

Estructuras y Obras de Drenaje 3.01.02

S.C.T. Libro 3 México 1984

* MECANICA DE SUELOS TOMO II

Teoría y aplicaciones de la mecánica de suelos

Juárez Badillo Rico Rodríguez

Limusa.

* ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCION

Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas.

Parte Novena (Libro Primero) México 1957

* TECNOLOGIA PARA EL PROYECTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Fernando Olivera Bustamante

ENEP Aragón.

* HISTORIA Y SIGNIFICADO DE UN CAMINO

Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas.

Facultad de Ingeniería U.N.A.M.

* TESIS:

PROGRAMA DE CAMINOS ALIMENTADORES EN LA COSTA DE JALISCO.

Raúl Escotto Gómez Méx. 1973

* INGENIERIA.

Organo Oficial de la Facultad de Ingeniería.

U.N.A.M. Núm. 1 - 1982

* PRINCIPALES MATERIALES FABRICADOS Y SU EMPLEO EN LA CONSTRUCCION

Apuntes para el curso de construcción 1

Facultad de Ingeniería U.N.A.M.

* CAMINOS HACIA EL FUTURO.

International Road Federation (IRF)

IX World Meeting Stockholm 1981

* INSTRUCTIVO PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS RURALES.

S.C.T. Subsecretaría de Infraestructura.