

30
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**Escuela Nacional de Estudios Profesionales
"PLANTEL ARAGON"**

COMPENDIO DE PAVIMENTACION

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
FRANCISCO PEREZ PEREZ



San Juan de Aragón Edo. de Méx. 1988

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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.

CONTENIDO :

INTRODUCCION

CAPITULO I DESCRIPCION GENERAL

1	Reseña Histórica	1
2	Definición	5
3	Clasificación	6

CAPITULO II OBRAS QUE REQUIEREN PAVIMENTACION Y FACTORES QUE AFECTAN A LAS MISMAS

1	Obras que requieren pavimentos	10
2	Factores que afectan a los mismos	13

CAPITULO III MATERIALES QUE SE UTILIZAN, DIFERENTES CAPAS QUE FORMAN LA ESTRUCTURA DE UNA VIA - TERRESTRE Y CONTROL DE CALIDAD

1	Materiales que se utilizan	
A	Clasificación	15
B	Tratamiento	21
2	Diferentes capas que forman la estructura de una -- vía terrestre y Control de Calidad	
A	Terreno natural	46
B	Cuerpo del terraplén	46
C	Subrasante	49
D	Subbase	52
E	Base	53
F	Carpetas	55
G	Control de Calidad	65
H	Aplicación a un caso real	84

CAPITULO IV TRANSITO 111

CAPITULO V ESTRUCTURACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RIGIDOS	
A Generalidades	126
1 Estructuración de Pavimentos Flexibles	126
2 Estructuración de Pavimentos Rígidos	143
CAPITULO VI TIPOS DE DRENAJE Y DE ASFALTO	
1 Tipos de drenaje	160
2 Tipos de asfalto	179
CAPITULO VII CONSERVACION DE LOS PAVIMENTOS	
A Generalidades	183
CONCLUSIONES	200
APENDICE DE DEFINICIONES	202
BIBLIOGRAFIA	

INTRODUCCION



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

El presente trabajo tiene como objetivo principal, el de servir como guía para conocer los principales factores que intervienen en la construcción de un camino, para lo cual se incluye en el mismo una aplicación real de este, así mismo da a conocer las pruebas más comunes que se efectúan a los materiales a utilizar en la construcción de este, para obtener un -- aceptable control de calidad.

El contenido de este trabajo es una recopilación de pruebas, Normas y Especificaciones que nos permiten obtener elementos de juicios para poder construir un camino. En el mismo se da la definición de pavimentos, se mencionan los dos tipos más usuales de los mismos, se detallan las obras que más requieren de estos, se dan a conocer algunos factores económicos y regionales que afectan el comportamiento de ellos, las principales capas que forman la estructura de un camino, los principales tipos de carpetas asfálticas, así como su proporcionamiento típico, los principales factores debidos al tránsito que intervienen en la construcción de un camino; también se mencionan dos métodos para la estructuración de pavimentos, uno para flexibles y otro para rígidos, los principales tipos de drenaje, así como algunas obras típicas del mismo, los tipos de asfalto más usados y algunas recomendaciones para la conservación de los pavimentos.

La aplicación al caso real que se incluye se lleva a cabo a partir de los conceptos y sus cantidades de obra, que -- son el resultado del estudio y proyecto respectivo, analizándose los Precios Unitarios de los conceptos más representativos.

En resumen esto permitirá interpretar resultados a cualquier persona, aún considerándola ajena o alejada de la rama de construcción de caminos.

También podrá llevarse a cabo la construcción de un camí no sin necesidad de desarrollar todos los casos posibles. El éxito, así como la calidad del mismo, se dará en base a la experiencia del constructor.

Cabe mencionar que es importante entender que el presente trabajo no trata todas las pruebas y alternativas existentes - para la construcción de un camino pavimentado, sino que solamente se limita a dar a conocer las más usuales.

DESCRIPCION
GENERAL

CAPITULO
I
E N E P

A large, black, stylized arrow pointing to the right. The arrow is composed of two horizontal bars of equal length, one above and one below the central shaft. The right end of the arrow is a solid black triangle. A white circle is positioned on the shaft of the arrow, overlapping the right edge of the upper bar and the left edge of the lower bar. Inside this white circle is a black letter 'I'.

I.- DESCRIPCION GENERAL

1).- RESEÑA HISTORICA.

Las más antiguas vías de comunicación son seguramente las terrestres, y de ellas los caminos, cuyos antecedentes son los senderos y veredas por los que el hombre transitaba a pie y -- que en México aún son frecuentes.

Nuestra historia se refiere que los Aztecas realizaban sus comunicaciones por senderos en que caminaban los tamemes, esclavos cargadores, integrando con ello un sistema de comunicaciones rápidas del que todavía se sirven algunas tribus indígenas.

Durante el período colonial prevaleció el sistema de caminos de herradura, haciéndose para ello absolutamente necesario el uso de las bestias de carga (caballos y mulas).

Las recuas constituyeron un indispensable elemento de trabajo, y la arriería en esos tiempos llegó a ser una de las ocupaciones más comunes y productivas.

No dejaron de construirse algunas carreteras, llamados "caminos reales" por las que circulaban carruajes con carga y pasajeros (diligencias) y que, aunque persistieron hasta la época de la independencia no fueron atendidas ni se conservaron debidamente.

Por lo demás las carreteras del período colonial fueron -- muy pocas, puesto que apenas pueden ser mencionadas la de México-Santa Fé (por Durango), que tenía por objeto comunicar el -- centro del País.

La de México a Veracruz (por Puebla) y la de México a Acaapulco (por Chilpancingo), que unían respectivamente la Capital

de la República con las Costas del Golfo de México y del Océano Pacífico, y la de México a Guatemala (por Oaxaca), que establecía comunicación con los países de la actual Centroamérica.

Además de estas líneas generales había ramificaciones secundarias a San Luis Potosí, Monterrey, Valladolid y Guadalajara.

Los Gobiernos que administraron el País durante el período de la vida independiente anterior a la Revolución de 1910, no se preocuparon por conservar los caminos y carreteras de la época colonial, mucho menos trataron de mejorarlos, en partes por no haberlos permitido la interminable serie de luchas internas y en parte también por que, al finalizar el Siglo XIX, el mayor interés por los ferrocarriles y el impulso dado a su construcción, determinó que las primitivas carreteras fueran olvidadas y descuidadas casi por completo.

En tal estado de abandono continuaron nuestros caminos hasta después de la Revolución, es decir, hasta el momento en que los Gobiernos Revolucionarios pusieron especial empeño en el fomento de las carreteras para intensificar las relaciones políticas y económicas de las distintas entidades, ya que la velocidad y rapidez de las comunicaciones automovilísticas las han hecho más eficaces y ventajosas en un territorio tan extenso como el nuestro.

El interés manifestado por la federación de 1925, al crear la Comisión Nacional de Caminos, se transmitió a los Gobiernos locales, los que a su vez comenzaron a preocuparse por las carreteras de las ciudades de mayor importancia en cada Entidad, habiéndose despertado desde entonces un entusiasmo inusitado -- aún en los pequeños poblados, en los que con todo ahínco se iniciaron los trabajos tendientes a facilitar las comunicaciones con los centros de mayor actividad económica.

Por otra parte, el uso del automóvil, trajo consigo la necesidad de mejorar las carreteras y ponerlas en condiciones de aprovechar las ventajas de rapidez del automovilismo, iniciando se entonces la construcción de carreteras modernas.

Cierto es que el inconveniente de numerosos de nuestros caminos, es el no estar en condiciones normales de tránsito en tiempo de lluvias, pero se cuenta con carreteras transitables en todo tiempo, acondicionadas con materiales como arenas arcillosas, tepetate, tezontle o grava, según lo permite cada región.

Desde la época de los Aztecas, los caminos se centralizaron en la Capital del País, habiéndose continuado el mismo sistema en la época colonial.

En la actualidad ocurre algo semejante, sin embargo se sigue ya un plan concreto al trazar las carreteras, no con miras de sustituir al ferrocarril o competir con ellos, sino con el propósito de hacer de ellas líneas de alfluencia de tráfico ferroviario.

Tal es la razón por la que fuera de las grandes vías troncales la mayor parte de las carreteras construídas por los Gobiernos de la Federación y de los Estados, constituyeron líneas transversales.

Posteriormente, se continuó la política de seguir construyendo caminos, pero ahora buscando un objetivo de beneficio social y económica para los pueblos.

Entre estos caminos, se podrán encontrar los de Mano de Obra, los cuales al construirse benefician a los pueblos vecinos, además de ofrecer empleo a los habitantes de estos en su construcción, así como elevar la economía del pueblo, pues con esta vía de comunicación se podrán usar transportes que ayudarán al campesino a vender sus cosechas y por consiguiente obtener mayores ingresos.

En la actualidad este tipo de caminos se está restringiendo por las vías rápidas, por su utilidad secundaria en comparación con la comunicación de las grandes ciudades. Pero no sucede lo mismo con los caminos de penetración económica y los de zonas en desarrollo.

2).- DEFINICION DE PAVIMENTO.

En los pavimentos, existe una gran cantidad de definiciones, las cuales en determinado momento llegan a ser erróneas y disímbolas, en este texto solo se mencionará la que se cree -- que es la más acertada.

PAVIMENTO: Es el conjunto de capas de materiales seleccionados, que reciben y soportan las cargas del tránsito y las -- transmiten adecuadamente distribuidas a las capas inferiores, -- además de proporcionar las superficies de rodamiento adecuadas para un tránsito cómodo y seguro.

En esta definición se incluye lo que a la postre veremos -- que conforma un pavimento, ya que habla de un conjunto de capas y de distribución de esfuerzos hacia las capas inferiores.

3).- CLASIFICACION

Para poder dar una clasificación de pavimentos, es necesario tomar alguna característica de los mismos, en este trabajo tomaremos básicamente la forma de distribuir los esfuerzos a -- las capas inferiores.

Los pavimentos según su forma de realizar su distribución de esfuerzos, se clasifican en dos grandes grupos, los pavimentos flexibles y los pavimentos rígidos.

PAVIMENTOS FLEXIBLES: Son aquellos en que su capa superior es una carpeta de mezcla asfáltica.

La distribución de esfuerzos se lleva a cabo de partícula a partícula, por lo tanto es lenta.

Además este tipo de pavimentos admite pequeñas deformaciones en sus capas inferiores, sin que se presente una falla estructural.

PAVIMENTOS RIGIDOS: Son aquellos cuya capa superior está formada por una losa de concreto hidráulico, y en ocasiones lleva refuerzo longitudinal.

La distribución de esfuerzos debido al tránsito se lleva a cabo a través de toda la superficie de la losa, por tanto es mucho más rápida que en los pavimentos flexibles.

Este tipo de pavimentos no permite deformaciones en sus capas inferiores, ya que si las hubiera se presentaría una falla de tipo estructural.

Las capas que forman primordialmente a un pavimento flexible, son cuatro:

- a).- Carpeta Asfáltica.
- b).- Base.
- c).- Sub-base.
- d).- Sub-rasante. (Fig. Núm. 1).

Las capas que forman un pavimento rígido son tres:

- a).- Losa de Concreto Hidráulico.
- b).- Sub-base.
- c).- Sub-rasante. (Fig. Núm. 2).

Teóricamente, los pavimentos rígidos están formados por -- dos capas, la losa de concreto hidráulico y la sub-rasante, pero debido a la experiencia en la construcción de este tipo de pavimentos se recomienda la construcción de la capa sub-base para evitar la presencia del fenómeno llamado Bombeo, el cual consiste, en que debido a la presencia de suelos finos en la capa-sub-rasante, al introducirse el agua en las uniones de las losas y a consecuencia del tránsito, ésta hace que los suelos finos sean expulsados, produciendo así un hueco en la unión antes mencionada y por ende la falla de las mismas.

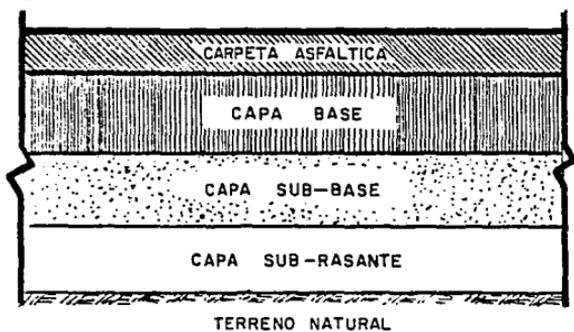


Fig. No.1.- Copas que forman la estructura de un pavimento flexible.

TEORICAMENTE:



(Fenómeno de Bombeo)

REALMENTE:



Fig. No. 2.- Capas que forman la estructura de un pavimento rígido.

OBRAS QUE REQUIEREN
PAVIMENTACION Y
FACTORES QUE AFECTAN
A LOS MISMOS

CAPITULO
II
E N E P

A large, black, stylized arrow pointing to the right. The arrow is composed of a thick horizontal bar with a triangular arrowhead on the right. The text 'CAPITULO' is written in a bold, sans-serif font above the bar, and 'E N E P' is written below it. A white circle containing the Roman numeral 'II' is positioned at the tip of the arrowhead.

II.- OBRAS QUE REQUIEREN PAVIMENTOS Y FACTORES QUE AFECTAN A LOS MISMOS.

1).- Entre las obras que requieren pavimentos, se pueden enumerar aquellas por las que se lleve a cabo algún tipo de circulación vehicular, tales como: Carreteras, avenidas, aeropuertos, estacionamientos y bodegas.

a).- Carreteras: En estas obras, se requiere la pavimentación, pues deben tener una aceptable superficie de rodamiento, también es necesario especificar el tipo de carga que se presentará en la obra, en este caso el tipo de carga es dinámico, debido a que los autos y camiones que circulen por la misma estarán en movimiento.

Dentro de estas obras, es permisible el tránsito a todo tipo de vehículos.

b).- Avenidas: Se realizan en las principales calles de cada Ciudad o Estado, para mayor influencia vehicular, por tanto requieren también de pavimentación, en ellos el tipo de carga es dinámico, pues los vehículos están en movimiento continuo. En estas obras se presentan vehículos clasificados, por que no se permite el tránsito de vehículos pesados, tales como tractores, trailers y camiones materialistas.

c).- Aeropuertos: dentro de estas obras, la necesidad de pavimentación, alcanza un alto nivel, debido a que no solo circulan en ellos aviones o avionetas, sino también automóviles, pipas y otros servicios denominados de rampa. Las obras que también se pavimentan son cabeceras, zona de maniobras y caminos de acceso. En estas obras la carga que se presenta es de tres tipos; estático, dinámico y de impacto. Dentro de los aeropuertos se presenta un tipo de tránsito mezclado, debido a esto en la construcción de los mismos se recomienda que en las pistas el ti

po de pavimento sea combinado (flexible y rígido).(Fig.Núm.3).

d).- Estacionamientos: En ellos en ocasiones se requiere de su pavimentación, y se usa para dar una mejor vista y un mejor servicio, esto se observa en centros comerciales, restaurantes, bancos, etc. El tipo de tránsito presentado, será en su mayoría automóviles, por lo que el tipo de carga será estático, - pues estos no están en movimiento la mayor parte de su estancia en el lugar.

e).- Bodegas.- Estas obras también en ocasiones requieren de pavimentación, y esto sucede cuando se presente en la misma demasiado tránsito de vehículos, el tipo de carga es estático, - pues las mercancías o productos almacenados no tienen movimiento, el tipo de tránsito es mezclado.

Existen otras obras que requieren pavimentación, pero solo nos ocuparemos de las obras mencionadas por considerarlas más - comunes y usuales.

ESTRUCTURACION DE UNA AEROPISTA

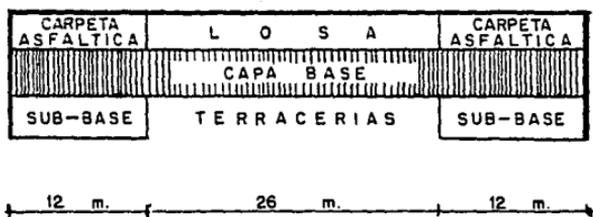


Fig. No. 3.—Capas que forman la estructura de una aeropista.

2).- FACTORES QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS.

Los factores que afectan el comportamiento de los pavimentos, son primordialmente de dos tipos: Económicos y Regionales.

A).- Económicos: podemos encontrar gran variedad de factores económicos que afectan a los pavimentos, tales como la mala administración del presupuesto, la mal encauzada finalidad de la obra y el querer construir siempre al menor costo, sin imponer la calidad. Así también, la elección de los mismos, se lleva a cabo de acuerdo al costo, y sin tomar en cuenta su economía general.

B).- Regionales: estos factores se dividen en tres grupos; clima, precipitación y formación geológica y topográfica.

1).- Clima: este factor, es determinante si se presenta en un tipo extremo puede en ocasiones llevar a la falla al pavimento.

Dentro del clima la mayor preocupación debe ser la temperatura, por que esta puede ocasionar contracciones lineales en los materiales y ondulado en la superficie de rodamiento.

2).- Precipitación: otro de los factores que más cuidado debe tenerse en la construcción de un pavimento para camino, es la precipitación pluvial por que daña la superficie de rodamiento, así también tiene repercusión en las capas inferiores, debe de tenerse en cuenta para el proyecto los tipos de drenaje a usarse, de otro modo en época de lluvias el camino se vuelve intransitable y peligroso.

Debemos por tanto, tomar en consideración la precipitación pluviual de la zona para el diseño de pavimentos.

Las zonas de precipitación, se encuentran clasificadas:

A).- Zonas de baja precipitación: en estas zonas se tiene un buen drenaje natural y el nivel de aguas freático (NAF) es mayor de 5.0 mts.

B).- Zonas de regular precipitación: aquellas cuyo drenaje natural es regular y su nivel de aguas freático (NAF) es mayor 1.0 mts. y menor de 5.0 mts.

C).- Zonas de Alta Precipitación: en ellas el drenaje natural es muy malo y su nivel de aguas freático (NAF) es menor de 1.0 mts..

3).- Formación Geológica y Topográfica: estos factores se refieren a la formación del suelo y del relieve del lugar, por tanto primordialmente afectan el diseño y la vida útil del tipo de drenaje que se vaya a utilizar.

El drenaje debe de proyectarse y construirse con el mayor cuidado posible, de lo contrario se pueden presentar serios problemas en el camino por la presencia de agua, provocando afectaciones tales como: disminuye el peso volumétrico de los suelos, disminuye la resistencia al esfuerzo cortante, presenta fuerza hidrostática y de flujo, presentan expansiones en los suelos y disminuye la adherencia de los pétreos con el asfalto.

Estos factores pueden producir fallas de talud, contraccción del pavimento y brotes en la superficie de rodamiento.

MATERIALES QUE SE
UTILIZAN; CAPAS QUE
FORMAN LA ESTRUCTURA
DE UNA VIA TERRESTRE
Y CONTROL DE CALIDAD

CAPITULO
E N E P



III

III.- MATERIALES QUE SE UTILIZAN, CAPAS QUE FORMAN LA ESTRUCTURA DE UNA VIA TERRESTRE Y CONTROL DE CALIDAD.

1.- Materiales utilizados.

A).- Clasificación: en la construcción de un camino, generalmente se usan materiales pétreos, estos son cuidadosamente seleccionados y clasificados para tener un buen control de calidad de los mismos.

Los principales materiales son: terreno natural, granito, tepetate, caliches, dioritas, basaltos, rocas sedimentarias, gravas y arenas; teniendo especial cuidado en la selección de los materiales a partir de la capa sub-base y primordialmente en la base, exigiendo una mayor calidad en sus propiedades de resistencia al choque y al desgaste, tenacidad y compacidad.

Por su forma de presentarse los materiales en la naturaleza y en relación con los trabajos previos de su utilización, estos, se dividen en cuatro grupos: materiales que no requieren trituración, materiales que requieren cribado, materiales triturados y materiales lavados.

a).- Materiales que no requieren trituración.

1).- Material poco o nada cohesivo, que al extraerse queda suelto y no contenga más del 5% de partículas mayores de 6.3 mm. (1/4") tales como arenas, limos y otras.

2).- Material cohesivo, que al extraerlo resulte con terrones pero que al disgregarse queda en tamaños menores de 6.3 mm. (1/4") tales como arcillas, cementantes, tepetates y caliches --- blandos.

3.- Material poco o nada cohesivo, al extraerlo queda suelto y no contenga más del 5% de partículas mayores de 51 mm. (2").

4.- Material cohesivo, en su extracción resulta con terrones, pero se disgrega con el peso del equipo mecánico y una vez disgregado no contenga más del 5% de partículas mayores de 51 mm. (2"). tales, como, tepetate, caliches, areniscas blandas, conglomerados, englomerados y roca desintegrada.

Los materiales del tipo a.1, se pueden presentar en playones y banco, en los cuales no es necesario el uso de explosivos para su ataque.

Los materiales del tipo a.2, se presentan en bancos de mayor o menor dureza, en su explotación de acuerdo con las propiedades cohesivas que tenga, pueden extraerse en forma manual.

Los materiales de tipo a.3, corresponde a la denominación de gravas en las que se requiere que el tamaño sea de 2" y no contenga más del 5% de tamaños mayores de 2".

Estos materiales pueden presentarse en playones, márgenes de ríos, arroyos, así como en depósitos naturales o graveras; pueden ser atacados o extraídos por cualquier medio, ya sea manual o mecánico, usando palas, dragas de arrastre, almejas o tractores con bulldozer.

Los materiales del grupo a.4, estos materiales corresponden a materiales duros, caliches, conglomerados y rocas desintegradas, siempre se presentan en bancos y pueden ser atacados (salvo el caso de que su dureza amerite triturarlos) barrenando y cargando con pala, pero en términos generales para caer dentro de esta clasificación deberán ser atacados con arados pesados y extraídos con bulldozer y angledozer, para ser cargados con tolvas o chorreadores, para que el peso del equipo disgregue este mate

rial en el banco y pueda ser acarreado al camino, sin tener más del 5% de tamaños mayores de 2". Debe abstenerse en lo absoluto el uso de palas para la carga de este material, puesto que este equipo por su forma de ataque, carga cualquier tamaño de material que quepa en el bote.

b).- MATERIALES QUE REQUIEREN CRIBADO.

Cuando algunos de los materiales que forman los grupos que acabamos de ver tienen un porcentaje de material máximo del permitido entre 5 y 20% o un exceso de materiales finos en más del 5% permitido, se recurre al cribado de los mismos.

Los límites de los tamaños mayores se han fijado para nuestro país por la experiencia obtenida al separar a mano los excedentes de 5% de tamaños mayores, en el que con dicho porcentaje se igualan sensiblemente los costos de la separación manual con la separación mecánica.

Los límites de los tamaños finos en exceso, causan graves trastornos.

El cribado puede hacerse, por una, dos o varias mallas según las condiciones granulométricas que presentan los materiales o el uso al cual se le vaya a destinar.

1.- Materiales poco o nada cohesivos, extraídos en seco, húmedos o en agua, que requieren cribado por una, dos o más mallas.

2.- Materiales cohesivos (areniscas suaves, conglomerados, caliches y roca desintegrada), que al extraerse resultan con terrones que pueden disgregarse y necesitan cribado por una, dos o más mallas.

Por una malla.- Cuando el tamaño mayor de 2" sea entre el 5 y 20%, y cuando el porcentaje de los tamaños finos, sea mayor en 5% del máximo permitido. Estos casos son muy comunes ya que por lo general, las condiciones naturales no llenan las características necesarias para ser usadas en las bases, pues dependen los tamaños de las partículas, del régimen de las corrientes -- pluviales, pues con aguas brancas los tamaños son grandes y con aguas mansas los tamaños son pequeños.

Por dos mallas.- Generalmente este caso se presenta en sus extremos o sea, sobrantes de materiales gruesos y finos, para aprovechar los intermedios. Comúnmente el exceso de finos se -- produce al contaminarse el material con limo o tierra vegetal - que se depositan en los playones por cambio de pendiente hidráulica, o de dirección de las corrientes, los cuales hay que separarlos para que el material aprovechable esté dentro de las especificaciones.

Por tres mallas o más.- Este caso es poco común en el uso de materiales para bases, en general es frecuente cuando se trata de usar materiales cribados para pavimentación, ya sea por el sistema de riegos superficiales o para ajustar las curvas -- granulométricas en el diseño de mezclas. Sin embargo puede presentarse en el uso de bases, cuando exceden algunos tamaños intermedios del máximo permitido, pero son casos esporádicos.

Estos materiales se atacan en su extracción por cualquier método de construcción, sea manual o mecánico, pues la importancia fundamental consiste en el cribado, que por el volumen de material que hay que extraer para ser usados en bases, requiere un equipo mecánico adecuado para obtener el rendimiento necesario, estos equipos pueden ser, con cribas rotatorias circulares o mallas vibratorias planas. Como en todas las pruebas que se efectúan en los laboratorios se usan juegos de mallas de abertura cuadrada y las cribas rotatorias usan agujeros redondos, hay

que tener presente las correcciones que se efectuarán al usarse este tipo de equipo.

c).- MATERIALES QUE REQUIEREN TRITURACION:

Esta clasificación se divide en dos grandes grupos:

- 1.- Materiales que requieren trituración parcial.
- 2.- Materiales que requieren trituración total.

MATERIALES QUE REQUIEREN TRITURACION PARCIAL.

1.- Material poco o nada cohesivo (mezcla de gravas, arenas y limos) que al extraerse ha quedado suelto pero que contienen más del 25% de partículas de tamaño mayor que el especificado de 2", para materiales del grupo b.1 y que por lo tanto es más económico el triturado que el desperdiciarlo, al ser triturados estos materiales se tendrán que cribar por la malla de 1½" para ob- tener el tamaño máximo de esta dimensión.

2.- Material cohesivo (caliche, roca alterada, conglomerados etc.) que al extraerlo se pudo disgregar, con el peso del -- equipo mecánico, pero sin embargo contienen más del 25% de material mayor de 2", y que por lo tanto conviene económicamente --- efectuar la trituración del mismo al tamaño máximo de 1½".

Estos dos grupos de materiales c.1 y c.2 se deberán pasar -- totalmente por la trituradora, la que efectuará un trabajo de -- trituración parcial para ajustarse a especificaciones granulométricas.

MATERIALES QUE REQUIEREN TRITURACION TOTAL.

- 3.- Piedra extraída de mantos de roca, de calidad adecuada-

y que necesiten reducirse sus tamaños máximos a 1½".

4.- Piedra pepenada, de calidad apropiada que se encuentra suelta y que necesita reducir sus tamaños máximos a 1½".

5.- Piedra suelta, que se encuentra en depósitos de calidad apropiada y que se necesita reducir sus tamaños máximos a - - - 1½".

Los materiales del grupo c-3 deberán ser atacados con explosivos, para fragmentarlos, dependiendo de la compacidad de la roca y planos de exfoliación; la profundidad y separación de los barrenos así como la carga de los mismos para poder obtener en su totalidad el material producto de la explosión en los tamaños adecuados, para ser cargados directamente a las trituradoras sin necesidad de marreo o moneo de piedras grandes.

Este aspecto es muy importante, porque en un banco de piedra bien tronado, se aprovecha la fragmentación inicial de los explosivos, para disminuir los costos obtenidos por el equipo de trituración; si este aspecto se descuida, puede inclusive llegar a elevar los costos de tal forma que resulta antieconómico el ejecutar la trituración del material.

Una vez tronado el material del banco, puede ser cargado por cualquier medio al equipo de transporte, para llevarlo a la boca de la trituradora.

Los materiales del grupo c-4, como su nombre lo indica, son el producto de la recolección de las rocas que se encuentran sueltas y de tamaños más o menos chicos, que permitan ser fácilmente cargados y movidos por hombres y que no ameriten ejecutar ningún trabajo extra para ajustarlas al tamaño máximo de admisión de las trituradoras.

Los materiales del grupo c-5, se refiere a roca suelta en tamaños más o menos apropiados para ser usados, y que se encuentran en depósitos los cuales pueden ser escorias de fundición, o desperdicios de los cortes en las carreteras. Se considera -- que en el primer caso se necesita ejecutar trabajos de extracción y carga. En el segundo, carga y algo de trabajo de moneo o marreo para reducir algunas rocas a los tamaños máximos admisibles por el equipo de trituración.

d).- MATERIALES QUE REQUIEREN LAVADO:

Son los materiales poco o nada cohesivos, correspondientes al grupo a-3, y en ocasiones al grupo b-1 y que requieren lavado para eliminar materia orgánica, exceso de arcilla y materiales extraños al pétreo.

En términos generales se deberá recurrir al procedimiento de lavado cuando materialmente sea imposible el localizar bancos que sean económicos por sus acarreos. Este procedimiento es más aplicable a los productos pétreos de pavimentación que a las bases.

En los casos de extracción de materiales que se usan para bases, hay que ejecutar algunos trabajos previos a la explotación de los mismos pues generalmente se encuentran cubiertos con vegetación o con materiales inadecuados, que hay necesidad de retirar para descubrir el material aprovechable; a estos trabajos se les denomina desmonte o despalme respectivamente.

B).- TRATAMIENTO.

Para determinar el tratamiento de un material, es necesario someterlo a una serie de pruebas; las cuales se definen como: un conjunto de mediciones que se realizan a especímenes que se elaboran para el fin que se persigue.

Estas pruebas se dividen en :

1.- PRUEBAS DE CLASIFICACION: Que son las que nos sirven - para conocer la calidad de los materiales y decidir su uso.

a).- GRANULOMETRIA: Es una prueba definitiva para juzgar - la calidad de un material, de acuerdo con el fin a que se va a - destinar.

La prueba consiste en el conocimiento de los porcentajes en peso de las partículas de diferentes tamaños que componen un material, por el procedimiento de cribado o sedimentación.

El procedimiento de cribado consiste en separar las - - - partículas, tamizándolas a través de una sucesión de mallas de - abertura cuadrada y empujar las porciones que se retienen en ca - da una de ellas, a fin de relacionar dichos retenidos, como por - centaje total de la muestra, para obtener la composición granu - lométrica con este procedimiento se clasifican los tamaños has - ta un mínimo de 0.0074 mm. (malla 200).

El procedimiento de sedimentación, se basa en el siguiente - principio: en un líquido menos denso que el material, las - - - partículas del mismo, de la misma densidad se asentarán a través del líquido con velocidades proporcionales a sus tamaños.

El procedimiento más usado es el del hidrómetro, el cual -- consiste en determinar la variación de la densidad - agua para - diferentes tiempos por medio de un hidrómetro, y medir la altura de caída de dos granos de tamaño más grande correspondiente a la densidad media.

La lectura con el hidrómetro mide la densidad de la suspen - sión a la altura del bulbo de éste y con ella se puede determi - nar directamente el porcentaje en peso de las partículas del ma -

terial con relación a la concentración original a este nivel.

Los resultados se reportan como porcentajes de arena, limo y arcillas contenidas en el muestreo general original, o en el material que pasa la malla Núm. 40, se coonsidera arena, el material cuyo tamaño está comprendido entre 2 y 0.05 mm., limo, - el material del tamaño comprendido entre 0.05 y 0.005 mm., y - arcilla, el material menor de este tamaño (0.005 mm.)

Es muy importante la clasificación de estas partículas, --- pues ellas influyen primordialmente en la clasificación general del material,, ya sea arenoso o arcilloso y los tratamientos subsecuentes para su aplicación.

En un curso de Mecánica de Suelos, se ve con detalle la forma de ejercitar estas pruebas, por lo que unicamente las vergmos en forma general, relacionándolas con el fin práctico de la construcción de Caminos o Pavimentos.

La composición granulométrica, representa gráfica o numéricamente la distribución de los diferentes tamaños de las - - - partículas que componen un material.

En términos generales puede decirse que la mayor estabilidad de un material, se alcanza cuando se reduce al mínimo la cantidad de vacíos y para que esto pueda lograrse se requiere una - sucesión adecuada de tamaños que permita, que los huecos dejados por éstas sean ocupados por las más finas y así sucesivamente.

No debe de perderse de vista que la determinación de tama-- ños hecha por medio de cribas, da idea de éstos en solo dos di-- mensiones, y que las partículas en forma de laja pueden presen-- tar una gran cantidad de vacíos a pesar de que su curva granulo-- métrica sea correcta.

b).- PLASTICIDAD.- Es la facilidad de los materiales al can

biar de forma sin cambiar de volumen, pero teniendo una resistencia mínima al esfuerzo cortante de 24 gr./cm². además es una propiedad de las arcillas que les permite cambiar su forma sin agrietarse cuando se les sujeta a una presión, reteniendo su nueva forma, cuando desaparece el esfuerzo aplicado.

La plasticidad se considera que se debe a la presencia de una película gelatinosa que cubre a los granos de arcilla.

En algunos casos este material gelatinoso pierde su poder de adquirir agua cuando ha sido secado totalmente, de aquí la necesidad de hacer las pruebas de Atterberg en materiales que se han secado parcialmente para tomar por cuarteo la porción de muestra con que se van a ejecutar dichas pruebas.

Las pruebas de ATTERBERG, tienen por objeto determinar la plasticidad de la porción de material que pasa por la malla Núm. 40 y que forma parte de un suelo.

Es necesario también dejar el material con cierta humedad - un tiempo no menor de 24 hrs., a fin de permitir que ponga de manifiesto su plasticidad.

La porción de un suelo que pasa la malla Núm. 40 presenta una consistencia plástica para un contenido de humedad comprendido entre dos límites, el límite líquido (WL) y el límite plástico (WP) y su amplitud es medida por el índice plástico.

Límite líquido (WL), si a un suelo fino se le agrega agua en suficiente cantidad puede convertirse en un líquido, es decir, fluye fácilmente bajo el efecto de un pequeño esfuerzo cortante.

Si se permite que el agua se evapore parcialmente, llega a un momento en que el suelo empieza a ofrecer una resistencia al esfuerzo cortante y se comporta como un material plástico.

El contenido de agua expresado en por ciento (%) por peso de suelo seco, en este momento, es el límite líquido. Es pues el contenido de agua que divide los estados líquido y plástico de un suelo.

El límite líquido, ha quedado definido anteriormente y se expresa por la humedad que tiene el suelo, en el estado que se para las consistencias semi-sólida y semi-líquida.

En los suelos de características arenosas el límite líquido queda expresado por la humedad que contiene el suelo en el estado que separa las condiciones semi-sólida y semi-líquida.

En realidad existe una zona de transición entre las consistencias, plásticas y semi-líquidas y el límite líquido, o sea la separación entre ambas zonas que se ha fijado en forma hasta un cierto punto arbitraria.

Un límite líquido alto, se debe a la presencia de partículas finas con una gran superficie total, y numerosos huecos capilares, que requieren la presencia de gran cantidad de agua para llenar dichos huecos y formar una película que envuelva a los granos del material.

Esta condición tiende a producir una baja estabilidad.

Límite plástico (WP) si se continua evaporando el agua amasando el suelo (puede ser con las manos), llega un momento en que se vuelve quebradizo y deja de comportarse como un plástico.

El contenido de agua correspondiente se llama "Límite Plástico".

Los suelos que no pueden rodillarse (hacer rollos) con ningún contenido de humedad se consideran como no plásticos.

El límite plástico es también el contenido de humedad para el cual los suelos con cohesión, pasan del estado semi-sólido al estado plástico y también el contenido de humedad para el cual el coeficiente de permeabilidad de las arcillas homogéneas se hace prácticamente igual a cero.

Las arenas no tienen límites plásticos, los limos muy pocas veces los presentan, las arcillas siempre los tienen, habiendo definido anteriormente el límite plástico de los suelos, que sirven para conocer el contenido de humedad para que los suelos con cohesión pasen del estado semi-sólido al estado plástico, se procede a decir que la amplitud de los mismos se mide por medio del índice plástico, el cual se define a continuación:

INDICE PLASTICO.

Se define como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

Comprende todos los contenidos de humedad para los cuales un suelo es plástico.

El índice de plasticidad ofrece un medio para medir la cohesión de un suelo.

Por tanto este índice queda expresado como la diferencia aritmética entre los límites líquidos y los límites plásticos.

Es una medida de la amplitud de la consistencia plástica - de un material.

Mientras mayor sea el índice plástico, mayor será la variación de humedades para las cuales el material presenta una consistencia plástica, como hemos visto antes, los límites líqui-- dos y plásticos corresponden a los límites superior e inferior de dicha consistencia.

La fórmula para determinar el índice plástico es:

$$I_p = W_l - W_p$$

Donde:

I_p = Índice Plástico.

W_l = Límite Líquido.

W_p = Límite Plástico.

Para determinar en una forma más exacta la plasticidad de un suelo se deben tomar en cuenta también las siguientes características:

1).- Equivalente de humedad de Campo: (E.H.C.), es el contenido de humedad mínimo, para el cual una gota de agua colocada sobre una superficie lisa del suelo, no es absorbida inmediata-mente, sino que se extiende sobre ella, dándole una apariencia - lustrosa.

Este contenido de humedad indica, que en el caso de las arenas (suelos no cohesivos), sus poros están totalmente ocupados - por agua y en el caso de las arcillas (suelos cohesivos), que estas se han vuelto impermeables aunque se presente el fenómeno de la capilaridad; esta característica indica la capacidad de humedad del suelo.

2).- Equivalente de humedad centrífuga.- Se define como el contenido de humedad, expresado como porcentaje del peso de la muestra del suelo secada al horno, retenido por un suelo que -- primero se ha saturado de agua y después se ha sometido durante una hora a una fuerza igual a 1000 veces la gravedad; esta característica determina la resistencia al escurrimiento del agua y sirve para distinguir los suelos permeables de los impermeables.

3).- Límite de contracción: (L.C.), una característica de los suelos arcillosos es la reducción o aumento de volumen que experimentan cuando se disminuye o se incrementa, respectivamente, su contenido de agua.

Si el límite plástico se continua reduciendo (la humedad) el suelo sigue reduciendo su volumen hasta que llega un momento en el que el contenido de humedad es tal, que una pérdida mayor de ésta ya no produce ninguna contracción.

El suelo se vuelve duro y cambia su color oscuro a otro -- más claro.

El contenido de agua en este momento se llama "Límite de -- Contracción", y es el que separa el estado sólido del semi-sólido.

La diferencia entre el límite plástico y el límite de contracción se llama "Índice de Contracción" (I.C.) y señala el rango de humedad para el cual el suelo tiene una consistencia semi-sólida, podemos calcular el I.C., por medio de la fórmula:

$$I.C. = W_p - W_c$$

Donde:

$$I.C. = \text{Índice de Contracción.}$$

Wp = Índice de Contracción.

Wc = Límite de Contracción.

En otras palabras en el límite de contracción, las - - - partículas están lo más cerca posible unas de otras, aunque entre sus vacíos haya aún agua.

4).- Relación de Contracción: Es el cociente de un cambio de volumen dado, entre el correspondiente cambio del contenido de humedad.

Da una idea de la influencia que tienen las variaciones, - de humedad en un suelo determinado, en las contracciones que -- presente.

5).- Cambio Volumétrico: Para un suelo dado con determinado contenido de humedad, es el cambio de volumen expresado en porcentaje del volumen seco, que sufre la masa del suelo, cuando el contenido de humedad se reduce hasta el límite de contracción.

Las arenas no presentan cambios volumétricos, los limos solo ligeras contracciones y las arcillas se contraen en forma --- apreciable.

6).- Contracción Lineal: (C.L.).- Es la disminución de -- una dimensión expresado como porcentaje de la dimensión original que sufre una masa de suelo, cuando el contenido de humedad se - reduce hasta el "Límite de Contracción".

Puede calcularse partiendo de la contracción volumétrica, o determinarse directamente en el laboratorio, la fórmula más usual es:

$$CL = \frac{Li - Lf}{Li} \times 100$$

Donde:

CL = Contracción Lineal.

L1 = Longitud Inicial de la Muestra.

Lf = Longitud final de la muestra.

Normalmente, esta fórmula se aplica a un espécimen dado cuyas dimensiones son: 2 cm. de altura, 2 cm. de ancho y 10 cm. de largo.

C).- RESISTENCIA: Las pruebas de resistencia que se le aplican a un suelo, son diferentes a las que se le aplican a otros materiales, por lo que es necesario conocer 4 características -- muy importantes:

- 1).- Peso Volumétrico Seco Máximo (P.V.S.M.)
- 2).- Humedad Optima (W.O.)
- 3).- Expansión.
- 4).- Valor relativo de Soporte (V.R.S.)

Estas características son fáciles de obtener por medio de la prueba Porter Estandar.

Prueba Porter Estandar.- Esta prueba se realiza a los materiales que pasan totalmente por malla de 25.4 mm. (1"), con retenido en malla Núm. 4 mayor a 20% o a cualquier tipo de materiales inertes.

La prueba consiste en tomar en una charola 3.5 Kg. de material, por medio de una probeta se le agrega agua hasta que apretando la mano se forme un grumo.

El material se coloca en un cilindro de 15 cm. de \emptyset (diámetro), este molde se conoce como collarín (parte superior) y parte inferior en el cual se colocan en tres capas (de 1 Kg. cada una aproximadamente) 3 Kg. del material.

Una vez que se tiene el material en el cilindro, se coloca una placa de carga y se le dá una presión de 27 toneladas, si - al aplicar la carga, se presentan pequeñas gotas de agua alrededor de la base del molde, es cuando se tiene el P.V.S.M. (Peso Volumétrico Seco Máximo) y, la humedad Óptima.

PESO VOLUMETRICO SECO MAXIMO:

El Peso Volumétrico Seco Máximo, se obtiene partiendo del peso volumétrico húmedo, el cual se calcula por medio de la fórmula:

$$P_{vw} = \frac{\text{PESO VOLUMETRICO DE LA MUESTRA}}{\text{VOLUMEN COMP.}} = \frac{P.M.}{V.c.}$$

Donde:

P_{vw} = Peso Volumétrico Húmedo.

P.M. = Peso de la Muestra.

V.c. = Volumen Compacto.

Humedad Óptima: Entonces; se procede a conocer la WO (Humedad Óptima) del material que se calcula con:

$$WO = \frac{W1 - W2}{W2} \times 100$$

WO = Humedad Óptima .

W1 = Humedad Inicial

W2 = Humedad Final.

Por tanto, la fórmula para calcular el P.V.S.M. es:

$$PVSM = \frac{P_{vw}}{1+W}$$

Donde:

P.V.S.M. = Peso Volumétrico Seco Máximo.

P.V.W. = Peso Volumétrico Húmedo.

W. = Humedad Optima.

d).- Expansión: Una vez compactado el material se satura en un tanque de agua, cuando menos 72 hrs., o hasta que ya no haya expansión, la cual se mide con el extensómetro y se calcula por medio de:

$$E = \frac{L1 - L2}{D} \times 100$$

Donde:

E = Expansión

L1 = Lectura Inicial.

L2 = Lectura Final.

D = Espesor compacto de la muestra.

Después de la expansión total, se saca del agua y se obtiene la resistencia (V.R.S.)

VALOR RELATIVO DE SOPORTE: (VRS).- Es la relación entre las resistencias a la penetración que opone el material en estudio-- y un material estandar en por ciento (%), esta penetración se hace con un cilindro de acero de una área de 19.6 cm². y se calcula por medio de la fórmula.

$$VRS = \frac{R.M. ESTUDIO}{R.M. ESTANDAR}$$

Donde:

V.R.S. = Valor Relativo de Soporte.

R.M. ESTUDIO = Resistencia del Material en Estudio.

R.M. ESTANDAR = Resistencia del Material Estandar.

El material Estandar, es generalmente una caliza triturada.

e).- Valor Cementante: Esta prueba sirve para determinar el poder de cementación de un suelo fino o de la fracción que pasa por la malla Núm. 4 de un suelo granular.

El Valor Cementante es una función de la forma y acomodo de las partículas de suelo y de su rugosidad, de la plasticidad de los finos y de otros fenómenos que tienen relación con la composición química del suelo, es un factor primordial para preveer el comportamiento de los suelos que forman el pavimento de un camino, principalmente en el caso de sub-bases que van a estar - - abiertas al tránsito que no tiene protección.

Es de desearse que en todos los casos, los suelos que forman la estructura del pavimento tengan un cierto Valor Cementante.

Hay que tomar en consideración, sin embargo que un Valor -- Cementante alto puede ser debido a un exceso de arcilla, condición que es poco recomendable.

El Valor Cementante se calcula por medio de la fórmula:

Donde:
$$VC = \frac{P}{A}$$

VC = Valor Cementante

P = Presión (carga)

A = Area

Por tanto, su unidad será Kg/cm².

f).- ADHERENCIA DEL ASFALTO Y LOS PETREOS.

Estas pruebas son muy importantes dentro de la elaboración de un camino pavimentado, ya que nos dan la pauta a seguir se--

-- según el tipo de material y nos muestra los tipos de materiales que son afines con el agua y el asfalto.

El agua ataca primordialmente la adherencia de los pétreos y el asfalto, por tanto debido a esta característica los materiales se dividen en:

1).- Hidrófilos: Son aquellos que tienen afinidad con el agua y no tienen afinidad con el asfalto.

Estos se pueden detectar si al poner en ellos una gota de agua ésta se expande, y principalmente son los cuarzos.

2).- Hidrófobos: Son aquellos que no tienen afinidad con el agua y si con el asfalto, en estos materiales al poner en su superficie la gota de agua esta no se expande y por lo general son calizas.

Para conocer la afinidad de los materiales de una manera más exacta existen varias pruebas, de las cuales las más usuales son tres:

1).- DESPRENDIMIENTO POR FRICCIÓN: Esta consiste en que en un vaso de vidrio de 8 cms., de diámetro, se coloca mezcla asfáltica a la mitad del frasco, y luego se coloca agua hasta las 3/4 partes, se tapa el frasco y se le agita, el agitado puede ser manual o mecánico, en el tipo manual se llevan a cabo 3 ciclos de agitado, con una duración de 5 minutos, del tipo mecánico se llevan a cabo los mismos 3 ciclos de agitado, pero con una duración de 15 minutos.

Después se escurre el agua y el material se extiende en una superficie y se observa el desprendimiento en porcentaje, se dice que un material es aceptable por adherencia si el porcentaje de desprendimiento es menor del 10%.

2).- PERDIDA DE ESTABILIDAD POR INMERSION EN AGUA.- Esta es una prueba en la que se hacen mediciones de carga.

Para realizar la prueba, se coloca una cantidad de mezcla asfáltica en dos porciones, y se le da una carga de 40 Kg./cm²., uno de los especímenes se deja reposar en el laboratorio y el otro se sumerge en agua, a las 72 horas, se llevan los especímenes a la ruptura por presión sin confinar, y se calcula la relación de los miamos en porcentaje por medio de la fórmula:

$$Peia = \frac{W \text{ SIN/ SAT.} - W \text{ SAT.}}{W \text{ SIN/SAT.}} \times 100$$

Donde:

Peia. = Pérdida de Estabilidad por Inmersión en agua.

WSIN/SAT= Espécimen sin saturar (carga a la que falla).

W SAT = Espécimen saturado (carga a la que falla).

Un material es aceptable en adherencia si la Peia es menor del 30%.

3).- PRUEBA INGLESA: En una charola se colocan 2 mm. de asfalto generalmente a 60°C. se toman 10 partículas de material pétreo, que se sumergen en la charola durante un tiempo de 3 minutos y se sacan para revisar el cubrimiento, se repite la operación partícula por partícula y se reporta el cubrimiento promedio de las 10 partículas.

Se dice que el material es aceptable si tiene más del 90% de cubrimiento.

En la actualidad los materiales no se rechazan por adherencia, sino que se le agrega un aditivo al asfalto para lograr una adherencia aceptable.

SISTEMAS DE CLASIFICACION.- Dentro de las pruebas de clasificación existen también los sistemas de clasificación, los cuales nos sirven para clasificar los materiales y conocer algunas caracterfsticas más de los mismos.

El sistema de clasificación más usado es el de granulome---trfa, que divide a los materiales en:

a).- FRAGMENTOS DE ROCA:

- a.1.- Grandes (de más de 75 cms. de \emptyset)
- a.2.- Medianos (de 75 cms. a 20 cms. de \emptyset)
- a.3 - Chicos (de 20 cms. a 7.5 cms. de \emptyset)

b).- SUELOS.

- b.1.- Gravas (de 7.5 cms. a los mat.ret.en malla Núm.4)
- b.2.- Arenas (pasan malla Núm.4 y ret.en malla Núm. 200)
- b.3.- Finos (pasan la malla Núm. 200)

Existen otros sistemas de clasificación que son menos usuales y son:

- 1).- Por Granulometría (Gráfico)
- 2).- Por Pasticidad (Carta de Casa Grande)
- 3).- Por medio del V.R.S.(Gráfico).

2.- PRUEBAS DE CONTROL.- Estas pruebas son las que nos sirven para verificar la calidad de la obra, por lo tanto también se conocen como pruebas de calidad y tratamiento a los materiales.

En cuanto a los materiales que se usan en la construcción de una Obra Vial, se puede decir que su calidad mínima necesaria depende de la localización de la capa de que se trate; así para formar el cuerpo de el terraplén se pueden utilizar, todo tipo de materiales excepto aquellos que tengan un alto contenido de material orgánico, estos materiales provienen de los cortes adyacentes o de préstamos más o menos cercanos a la obra; los movimientos de estos materiales se estudian en base a la curva masa.

Para la formación de la capa subrasante, ya se requiere de una mejor selección de los materiales pues se necesita que el V.R.S. mínimo sea de 8% y la expansión máxima de 3%, ambos obtenidos de la prueba de V.R.S. estandard.

En cuanto a los requisitos de sub-base y base, los más importantes son los referentes al V.R.S., plasticidad (contracción lineal), valor cementante y granulometría.

Para los materiales de carpeta, según el tipo que se necesita en función del tránsito diario promedio durante su vida útil, se tienen especificaciones relativas a granulometría, plasticidad, desgaste, forma de la partícula e intemperismo; en cuanto a

las mezclas asfálticas, se requieren requisitos de resistencia, estabilidad, flujo y adherencia.

Los requisitos que deben cumplir los materiales, se señalan en los libros de Especificaciones del Sector Comunicaciones y Transportes.

En México, como en los Países de atraso económico, es necesario utilizar en lo posible los materiales de la región, más -- cercanos a la obra, con objeto de disminuir acarreos que en general es el aspecto más costoso de la obra, es por lo que si estos materiales no cumplen con todos los requisitos que requieran las especificaciones, se debe estudiar la posibilidad de acondicionarlos mediante tratamiento para hacerlos económicamente aceptables, en comparación de otros de mejor calidad, pero localizados más lejos de la obra de que se trate.

Cuando las partículas de los materiales, al ser extraídos -- de los bancos, tienen dimensiones mayores a la máxima exigida -- pueden requerir, dependiendo del porcentaje de desperdicio y de -- su dureza, alguno o algunos de estos tratamientos:

a).- Disgregado: Se admite el 10% de desperdicio (partículas mayores al máximo permitido), de este 10% se quitan a mano el 5% y finalmente el desperdicio es del 5%. Si el desperdicio es mayor del 10% se utiliza el cribado o triturado.

b).- Cribado.- Separa los materiales de acuerdo al tamaño y para ello se utilizan mallas o tamises, existen dos tipos de cribado, por gravedad y por vibrado. Los elementos necesarios para una planta de cribado, son mallas y bandas. Cuando el desperdicio del cribado es mayor del 25% hay que pasar la trituración.

c).- Triturado.- Existen dos tipos de trituración; trituración parcial y trituración total, la primera se criba el material y el desperdicio es el que pasa a la trituradora. La segunda se lleva a cabo cuando el desperdicio es mayor al 50%.

Existen varios tipos de trituradoras, las cuales pueden -- ser; de quijadas, cilindros, de conos, de bolas, de martillos y molinos.

Si los materiales no cumplen los requisitos de plasticidad o de resistencia, se les puede sujetar a tratamientos de mejoramiento mecánico o de estabilización. El primero se lleva a cabo cuando al material básico se le agrega otro sin que al mezclarse ocurra una reacción química; en cambio, en la estabilización generalmente si ocurre, como cuando se agrega cemento portland o cal hidratada; cuando se utiliza asfalto, en general no se tienen reacciones químicas aunque cuando se emplean en mezclas de materiales también se le considera como estabilización.

Compactación.- Para que los materiales aumenten su capaci--

dad a resistir los esfuerzos que se le imponen y para disminuir su compresibilidad, se les ajusta al tratamiento de compactación que consiste en el proceso mecánico por el cual se disminuye el volumen de los suelos en una forma relativamente rápida, de manera que adquieran las características de resistencia de formación necesarias para asegurar un buen comportamiento de los materiales durante la vida útil de la obra.

En general, al compactar los materiales se mejoran las características anotadas; sin embargo, existen suelos que si se compactan más allá de un cierto límite adquieren efectos opuestos, pues con la presencia de agua se comportan como un resorte al que se le deforma comprimiendo hasta el máximo y en un momento dado se suelta. Este tipo de materiales son los altamente expansivos, sino se les trata adecuadamente provocan esfuerzos que pueden hacer fallar la estructura de las obras viales; aunque la técnica para contrarrestar los efectos nocivos de los materiales expansivos, no está lo suficientemente avanzada, se han recomendado algunos tratamientos para disminuir sus efectos, como lo son:

La mezcla de productos industriales (cal, cemento, etc.) o colocar sobre ellos un espesor de material de buena calidad, de tal manera que su peso impida la expansión.

Para la compactación de suelos, el agua que contienen cuando se tratan, es de mucha importancia ya que si es poca, la ener

gía de las máquinas puede no ser suficiente para romper los meniscos que se forman entre las partículas y las mantienen fuertemente unidas, por lo que el peso específico que se obtiene es bajo, a medida que se aumenta la cantidad de agua, los meniscos tienden a desaparecer, por tanto, se alcanzan mayores pesos específicos hasta alcanzar un máximo a partir del cual empieza a descender al aumentar el contenido de agua, ya que esta por un lado comienza a ocupar el lugar que correspondía a partículas de suelo y por otro lado, este líquido soporta parte de la energía que transmite la maquinaria.

Si se hace una prueba de compactación en el laboratorio, variando los contenidos de agua pero manteniendo constante la energía que se comunica al suelo (prueba proctor), se obtiene el resultado que se observa en la gráfica de la curva de compactación Proctor.

Al mayor peso específico se le denomina peso volumétrico seco máximo (P.V.S.M.) y a la humedad correspondiente humedad óptima (W_o).

A medida que la energía de compactación es mayor, el P.V.S.M. también aumenta; en cambio, la humedad óptima disminuye.

Las Normas de Construcción de S.C.T., definen dos tipos de materiales, en cuanto a la facilidad de compactación y de su medida; compactables y no compactables, aunque en realidad todos los materiales son compactables, solo que a medida que los suelos --

contienen un mayor número de fragmentos de roca, la dificultad de compactarlos y medir el grado alcanzado, también aumenta.

Se define como material compactable aquel que tiene menos de 20% en volumen de material retenido en la maya de 76 mm. (3") y el cual tenga como máximo 5% del volumen total de fragmentos de roca mayores a 15 cms. (6").

El material no compactable es por ende el que no cumple los requisitos anteriores. En esta tecnología, se recomienda que a los materiales que se clasifiquen como compactables, se les efectúe este tratamiento, tomando como referencia para su control, lo siguiente: Prueba Proctor; a materiales que pasen totalmente por malla número 4, o cuando más, tengan un retenido de 10% en esta malla, pero que pasen totalmente por la malla de 3/8".

Prueba AASTHO Modificada; (tres capas). A materiales que pasen totalmente por malla de 1", con retenido en malla número 4 entre 10 y 20%.

Prueba Porter Estandar.- A materiales que pasen totalmente por malla de 1", con retenido en malla número 4 mayor a 20%.

En general, el grado de compactación que se recomienda es; - 90% en el cuerpo del terraplén, 95% en la capa subrasante y de 95% a 100% en subbases y bases. Aunque, las compactaciones de carpetas asfálticas se salen de lo explicado anteriormente para suelo, las condiciones para estas se dan a continuación:

Mezcla elaborada en el lugar; 95% del peso volumétrico máximo alcanzado con prueba porter estandar.

Concreto asfáltico.- 95% del peso volumétrico de proyecto (no necesariamente el máximo) de la prueba Marshall.

En cuanto al tratamiento para materiales clasificados como no compactables, las especificaciones indican:

Se colocará en capas cuyo espesor no exceda el tamaño de -- los fragmentos de roca mayores y se darán dos pasadas por cada -- uno de los puntos que forman la superficie de la capa con tractor de orugas, con peso de veinte toneladas, avanzando y retrocediendo la máquina con un movimiento ronseado.

Grado de Compactación:

Es la relación que existe entre el peso volumétrico seco de proyecto y el tanto por ciento del peso volumétrico seco máximo, en general se calcula con la fórmula:

$$G_c = \frac{PVS \text{ campo}}{PVS \text{ Lab.}} \times 100$$

Donde:

G_c = Grado de Compactación.

PVS = Peso Volumétrico Seco de Campo.

$PVS \text{ Lab}$ = Peso Volumétrico Seco Máximo de Laboratorio.

Para conocer el PVS de Campo, se realizan pruebas llamadas de campo, la más conocida consiste:

1.- Se cava una cala (sondeo) en el lugar, cuyo diámetro -- está en función de su profundidad, esta generalmente es de 25 cms.

2.- Se pesa el material obtenido de la cala (cuidando que no pierda o gane humedad).

Se obtiene la humedad (W) del material.

$$W = \frac{W_h + W_s}{W_s} \times 100$$

Donde:

W = Humedad.
 Wh = Peso Húmedo.
 Ws = Peso Seco.

3.- Posteriormente se obtiene el Peso Seco del material de Sondeo.

$$W_{sc} = \frac{Ww}{1+W}$$

Donde:

Wsc = Peso Seco de Campo.
 Ww = Peso Húmedo.
 W = Humedad.

4.- Se obtiene el volumen del sondeo.- Esto se calcula llenando el sondeo de arena fina, midiendo el volumen con una pro-beta de un litro.

5.- Se calcula el Peso Volumétrico Seco de Campo.

$$PVS \text{ campo} = \frac{W_{sc}}{V \text{ sondeo}}$$

Donde:

PVS campo = Peso Volumétrico Seco de Campo.
 Wsc = Peso Seco de Campo.
 V sondeo = Volumen de Sondeo.

6.- Se procede a calcular el grado de compactación con la fórmla mencionada al principio.

EQUIPO DE COMPACTACION

Existen dos grandes grupos de compactadoras, las de pre---sión y las vibratorias; dentro del primer grupo podemos mencionar una sub-división de las mismas, que son:

Con salientes.- Son usuales para materiales finos y plásticos, la compactación se realiza de abajo hacia arriba.

Sin salientes.- Son usuales para materiales granulares y plásticos, la compactación se realiza de arriba hacia abajo.

Dentro de este primer grupo las máquinas más usadas son -- las llamadas "Pata de Cabra", que puede ser piramidal o tricónica, también los rodillos metálicos, de neumáticos, e impactadores.

Las vibratorias en general son las que realizan el trabajo por vibrocompactación, y las más usuales son: Rodillos neumáticos, placas bailarinas, estas máquinas realizan una compactación masiva, son útiles a materiales sin plasticidad (gravas-arenas), son más usadas en bases y sub-bases.

2.- DIFERENTES CAPAS QUE FORMAN LA ESTRUCTURA DE UNA VIA TERRESTRE Y CONTROL DE CALIDAD

A).- Terreno Natural.- Es el terreno en el que se va a construir el camino, pudiendo ser de cualquier tipo y solo debe cumplir con las especificaciones correspondientes.

El terreno natural, como su nombre lo indica es aquel que se va a aprovechar para iniciar la construcción del camino, y -- las especificaciones más importantes que debe cumplir son:

- 1.- Que tenga una capacidad de carga mayor de 1Kg./cm.2.
- 2.- Estar totalmente limpio de materia orgánica y tierra -- vegetal.

En general, es la capa donde menos cuidado se tiene en la -- construcción de un camino.

B).- Cuerpo del terraplén.- Esta capa, es donde se inicia -- la construcción de las terracerías de un camino, estas son obras de tierra ejecutadas por el hombre y que alteran las condiciones naturales del suelo, así mismo son los volúmenes que se extraen -- o sirven de relleno para la construcción del camino, por tanto -- las secciones tipo son:

Terraplén, Corte y Mixta o Balcón.

Para conocer mejor los materiales de las terracerías, se -- clasifican de acuerdo con la dificultad que presentan para su ex -- cavación, y dicha clasificación es:

Material A (tierra).- Este material es fácilmente atacable -- con herramienta de mano, empleando maquinaria, puede atacarse --

con bulldozer accionado con tractor de 110 HP. en la barra o -- con escropa jalada con tractor, no requiriéndose el uso de explosivos ni el de harados o escarificadores. Los materiales más comúnmente clasificados dentro de este grupo son tierra vegetal, - arcillas blandas, limos, arenas, tepetates blandos y gravas con diámetro menor de 10 cms.

Material B (roca suelta).- Es material semi compacto que -- puede atacarse con pico, pudiéndose emplear explosivos para facilitar su excavación, considerándose también dentro de este grupo las piedras sueltas menores de 3/4 de m³. Empleando maquinaria y sin usar explosivos, este material solo puede ser atacado con pa la mecánica o con harado escarificador de cinco toneladas. Los - materiales más comúnmente clasificados en este grupo son areniscas blandas, aglomerados, conglomerados debilmente cementados, - tepetate duro y boleó.

Material C (roca fija).- Es material que se encuentra en -- mantos que solo pueden removerse mediante el uso de explosivos y también, piedras que aisladamente cubiquen más de 3/4 de m³. - - Cuando este material esté alternando con otros más suaves en proporción tal que el material C, constituya por lo menos el 75% -- del volumen total cubicado en cada tramo de veinte metros, el -- conjunto se clasificará como material C, si los volúmenes de material C, no llegan al 75%, los distintos materiales encontrados se clasifican separadamente. Como ejemplos de material C se tienen las rocas calizas, granitos y basaltos.

La clasificación anterior, también es útil para el pago de -- los trabajos realizados en los distintos tipos de material.

Las especificaciones que debe cumplir el cuerpo de terra-- plén, son más rigurosas que las de la capa anterior, y así suc sivamente, siendo dichas especificaciones:

- 1.- Que el tamaño máximo del material no rebase los 7.5 cms.
- 2.- Que el límite líquido del material sea menor de 70%
- 3.- Que los materiales no congengan materia orgánica.

Los materiales para cuerpo de terraplén se dividen en: Compactables y no Compactables, los primeros son aquellos que tienen menos de 20% de retenido en la malla de 3", y los segundos son aquellos que tienen más del 20% de retenido en malla de 3".

Los materiales de que se constuye el terraplén, son los migmos de la línea del camino, esto es por compensación; en caso de no existir cortes se hace por préstamos, estos pueden ser laterales o de banco. Los préstamos laterales cuando el acarreo es menor de cinco estaciones (100 mts.) de la línea del camino, y los préstamos de banco cuando los acarreos son mayores de cinco estaciones (100 mts.) de la línea del camino.

COLOCACION DE LOS MATERIALES.

Esta puede ser de tres tipos:

1.- Compactando.- Se humedece el material en el lugar de extracción y se coloca en capas que varían de 15 a 25 cms. de espesor, el grado de compactación mínimo es de 90%.

2.- Acomodando.- se procede a acomodar los materiales no compactables, esto se lleva a cabo por capas de espesor aproximadamente igual que el tamaño máximo de los agregados y con un espesor mínimo de 15 cms. Una vez colocadas las capas debe pasar un tractor de oruga de 20 toneladas, por lo menos tres veces por todos los puntos de la superficie, con un movimiento ronseado. Para obtener un mejor acomodo de los materiales se recomienda dar un riego de 100 litros de agua por cada m3. de material.

3.- Volteo.- Las especificaciones de la S.C.T., permiten so

lamente terraplenes a volteo en sitios inaccesibles para los -- equipos de compactación y acomodo. La parte superior de los terraplenes a volteo se trabaja con cualquiera de los métodos anteriores.

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.

1.- Se lleva a cabo el desmonte de derecho de vfa, esto consiste en quitar todo tipo de vegetación existente en la línea del camino.

2.- Se procede a hacer el despalme, que consta en extraer - todo el material inadecuado en la zona donde se construye el terraplén. Se recomienda que el despalme sea del orden de 50 cms.- aproximadamente.

3.- Compactación del terreno natural; se lleva a cabo teniendo especial cuidado de no romper la estructura del material del terreno natural.

C).- CAPA SUBRASANTE.

Es la capa superior de las terracerías y sobre ella se construirá el pavimento. A partir de 1925 se empezaron a construir caminos en nuestro País, y no fué hasta 1940 cuando se comenzó a usar la capa subrasante.

El primer paso en el proyecto de terracerías, es fijar las pendientes de los distintos tramos del camino, las que unidas mediante curvas parabólicas dan el perfil del eje de las terracerías, o sea la subrasante. Para proyectar esta, hay que tener en cuenta las pendientes máximas aceptables, la longitud de curvas verticales y evitar quiebres innecesarios, para lograr un alineamiento vertical adecuado, seguro y cómodo al tránsito.

Independientemente del costo mínimo, a veces hay circunstancias diversas que influyen en el proyecto de la subrasante, tales como:

1.- La altura a la entrada de construcciones urbanas para evitar problemas de drenaje y de carácter estético.

2.- Estructuras del camino o estructuras en las inmediaciones del mismo.

3.- Cruce de regiones pantanosas o inundables que requieren que la subrasante se eleve sobre el terreno natural.

4.- En terrenos acantilados en algunas ocasiones se requieren muros de retención costosos, siendo preferible proyectar el camino en corte sobre terreno firme.

5.- Cuando el camino se proyecta con base en uno antiguo, hay que corregir las pendientes eliminando los problemas de operación y drenaje.

En general se buscan las mejores soluciones en las inmediaciones del camino antiguo.

Cuando la subrasante no está obligada por alguna de estas circunstancias o cualquier otra, se elegirá entre todas las soluciones, la que mejor compense los cortes y los terraplenes dentro de los lineamientos para una buena operación. Si no se cuenta con los materiales adecuados, hay que estudiar la conveniencia de desperdiciarlos y hacer los terraplenes con préstamos de materiales de buena calidad, considerando los Precios Unitarios, para no mover materiales a mayor distancia. Ya elegida la subrasante, se determinan los espesores de los cortes y terraplenes, calculando a continuación los volúmenes correspondientes como generalmente la compensación no se logra en el primer tanteo,

hay que repetir el proceso hasta obtener la mejor solución dentro de los límites económicos fijados.

La construcción de la capa subrasante tiene principalmente 7 finalidades, dos estructurales y 5 funcionales, las primeras son:

1.- Recibir y resistir las cargas del tránsito.

2.- Transmitir adecuadamente distribuidas al cuerpo del terraplén las cargas de tránsito.

Las finalidades funcionales son:

1.- Evitar que el pavimento se contamine con el material de mala calidad de los terraplenes.

2.- Evitar que el pavimento se incruste en los pedraplenes.

3.- Evitar que las imperfecciones en la cama de los cortes se reflejen en la superficie de rodamiento.

4.- Uniformar los espesores de pavimento.

5.- Disminuir espesores de pavimento cuando las terracerías son de mala calidad.

Las especificaciones para la capa subrasante son las que a continuación se mencionan:

1.- La capa subrasante deberá tener un espesor mínimo de 30 cms.

2.- El tamaño máximo del material deberá ser de 3".

3.- Utilizar material de tipo compactable.

4.- Que el V.R.S. sea mayor del 10%

5.- Que su expansión sea menor del 3%

6.- Que el material tenga una granulometría adecuada a la finalidad.

PROCESO CONSTRUCTIVO.

1.- En primer lugar, se acarrea el material para la formación de capas de 15 cms. de espesor.

2.- Se humedece el material y se extiende.

3.- Se procede a compactar las capas de material humedecidas previamente con un grado de compactación de 95%.

D).- CAPA SUBBASE.

Es la primera capa de la pavimentación, su uso es solamente en muy contadas ocasiones, siendo estas cuando el proyecto así lo requiere.

Los materiales de que puede construirse esta capa son aglomerados, conglomerados y roca.

Las especificaciones para la construcción de la subbase se mencionan enseguida:

1.- Que su V.R.S. sea de 50%

2.- Que el valor cementante igual 4 Kg/cm².

3.- Que el material tenga buena adherencia en el asfalto.

4.- Que tenga una granulometría adecuada.

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.

- 1.- Exploración y muestreo de bancos.
 - 2.- Pruebas de laboratorio y elección de banco.
 - 3.- Ataque de los bancos.
 - 4.- Tratamiento de los materiales (trituración, cribado, - estabilización).
 - 5.- Acarreo a la obra.
 - 6.- Tratamientos en el lugar.
 - 7.- Humedecimiento y extendido del material.
 - 8.- Compactación a 95% mínimo.
- E).- **CAPA BASE.**

Es una capa de materiales seleccionados que recibe y transmite adecuadamente las cargas debidas al tránsito a las capas inferiores, otra de las funciones principales es impedir que la humedad se infiltre a la carpeta, es decir, actúa de una manera -- drenante, por un lado, impidiendo el ascenso de agua capilar y -- por otro permitiendo el paso del agua que se pueda infiltrar des de la carpeta.

Otra función de esta capa es la de servir de transición, -- tanto en lo referente a soportar los esfuerzos como a la calidad en general de la estructura, como es el caso de la granulometría de un material fino a uno grueso o viceversa.

Las especificaciones que se deben seguir en la construcción de bases, son las siguientes:

- 1).- Que su V.R.S. sea igual al 80%
- 2).- Que tenga una granulometría adecuada.
- 3).- Que su valor cementante sea igual a 4 Kg/cm².
- 4).- Que tenga buena adherencia con el asfalto.
- 5).- La forma de las partículas deberá ser la adecuada al proyecto.

Los materiales que se pueden usar para la construcción de la capa base son:

- 1).- Aglomerados (materiales sueltos, sin cementante)
- 2).- Conglomerados (materiales granulares, cementables).
- 3).- Roca (basalto, andesita, etc., materiales resistentes).

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.

- 1.- Exploración y muestreo de banco.
- 2.- Pruebas de laboratorio y elección de bancos.
- 3.- Ataque de los bancos.
- 4.- Tratamientos previos (trituration, cribado, estabilización, etc.)
- 5.- Acarreo a la obra.
- 6.- Tratamientos en el lugar.
- 7.- Humedecimiento y extendido del material.
- 8.- Compactación del material a 95% mínimo.
- 9.- Riego de impregnación.- Este se lleva a cabo con asfal-

falto del tipo FM-1, y en una proporción de 1.5 litros por m²., para esto, la base tiene que estar totalmente seca y limpia.

F).- CARPETAS ASFÁLTICAS.

Es la parte superior de la pavimentación, y se denomina -- también superficie de rodamiento, generalmente son mezclas de materiales pétreos y asfálticos.

Uno de los aspectos más importante en la construcción de carpetas es el contenido óptimo de asfaltos, ya que en él se debe de poner especial cuidado debido a que es la cantidad de asfalto necesaria para que los agregados se cubran con una película del mismo que no sea muy delgada porque lo ataca el interperismo, pero que no sea muy gruesa porque la mezcla pierde estabilidad.

En la selección de los materiales pétreos, los factores en los que se debe poner una mayor atención, son los que a continuación se mencionan:

- 1.- Granulometría aceptable (según proyecto).
- 2.- Adherencia alta.
- 3.- Plasticidad baja, C.L. menor o igual al 3%
- 4.- Que la forma de las partículas sea cúbica y de superficie rugosa.
- 5.- Que su dureza, sea la adecuada para el proyecto, es decir que su densidad sea menor de 1.2 y el desgaste pase las pruebas necesarias (prueba de los ángeles y de Deval).
- 6.- Que no se usen materiales de densidad menor de 1.1., tales como piedra pomex, jal, tezontle y tepez.

Las pruebas para determinar el desgaste de los materiales pétreos que se usan para carpetas son:

PRUEBA DE LOS ANGELES.- Se hace con un cilindro hueco que está montado en un eje y que gira. Se mete el material junto -- con seis esferas de acero, se mide con relación al polvo que -- produce el material, un material que no es adecuado para carpetas produce una gran cantidad de polvo, ya que es un material -- blando; un material que la dureza es adecuada para su empleo en carpetas, produce una mínima cantidad de polvo.

PRUEBA DE DEVAL.- Es bastante similar a la prueba anterior, pero en este caso también se revuelve el material.

En la construcción de carpetas, se pueden tener diferentes tipos de las mismas, tales como:

I.- Riegos superficiales.- Es la selección de los productos asfálticos y pétreos, su ejecución y cuidados.

II.- Mezclas en el lugar.- Selección de los productos asfálticos y pétreos, granulometría y diseño de la mezcla, ejecución y cuidados.

III.- Mezclas con plantas estacionarias.- Selección de los productos asfálticos y pétreos, granulometría y diseño de la -- mezcla, ejecución y cuidados.

IV.- Riego de sello.- Selección del producto asfáltico y material pétreo, ejecución y cuidado.

I.- RIEGOS SUPERFICIALES.

La construcción de carpetas asfálticas, por el sistema de riego superficiales son las más baratas y por ende las que tienen su vida más corta, así como sus capacidades de carga y el carácter y densidad de tránsito, siendo este de 1,000 vehículos -- diarios como máximo, el tiempo de duración de las mismas se pue

de calcular entre dos y diez años, dependiendo del número de riegos de que conste la carpeta. Estas carpetas se pueden construir por el sistema de un riego asfáltico, cubierto con arena, hasta cuatro riegos de material asfáltico, cubierto cada uno de ellos con un material pétreo que puede variar desde 1½" hasta la malla 3/8". El número de riegos cubiertos respectivamente con el material pétreo determina la denominación de la carpeta.

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

Los riegos asfálticos, deberán ejecutarse con una petrolizadora mecánica que llene los requisitos especificados al tratar sobre el riego de impregnación y no se permitirá regar ningún producto asfáltico a una temperatura menor de 5°C. Cuando se usen asfaltos fluxados de fraguado rápido, se podrán aplicar a la temperatura ambiente.

Sobre la base impregnada no se dará ningún riego de productos asfálticos, si la superficie se encuentra húmeda, encharcada o lodosa.

Se procurará que los riegos asfálticos sean uniforme en los anchos y cantidades especificadas, para que no queden lugares sin recubrir con este material, en caso de falla de la petrolizadora se deberá corregir de inmediato estos lugares haciendo uso del esparcidor de mano de que debe estar provista esta máquina y se corregirá el defecto en la misma antes de efectuar un nuevo riego asfáltico.

Las cantidades del material pétreo respectivo que cubrirán los riegos superficiales, deberán ser extendidos de preferencia-

por medio de distribuidores mecánicos adecuados, y por ningún motivo se permitirá el paso de ningún vehículo, sobre ningún riego asfáltico que no haya sido cubierto con su material pétreo correspondiente.

Los materiales pétreos deberán quedar extendidos y cubriendo totalmente los riegos asfálticos, en caso necesario se procederá a un recargue de este material en los lugares que lo necesite.

Una vez que se haya rastreado el material pétreo correspondiente, se iniciará el planchado, el que se hará con una aplanadora Tandem de cinco toneladas de peso o con una de tres ruedas de cinco a ocho toneladas de peso, el primer planchado se hará a toda rueda, el segundo a media rueda y el tercero a un cuarto de rueda hasta que no se note desplazamiento del material pétreo al paso de la aplanadora. El planchado no debe ser excesivo para evitar que llegue a fragmentarse las partículas del material pétreo y produzcan polvo. La velocidad a que debe trabajar la aplanadora es de 5Km/hr.

1).- Carpeta asfáltica de un riego.- Sobre la base impregnada y cumpliendo los requisitos anteriores, se procede a dar un riego asfáltico de fraguado rápido o emulsión de fraguado rápido, en la cantidad de 0.9 a 1.2 litros por m². de cemento asfáltico (residuo del producto asfáltico en el caso de asfaltos fluxados, o contenido de asfalto básico en el caso de las emulsiones) y se cubrirá con material pétreo 3-A de granulometría adecuada, que deberá llenar las pruebas de desgaste, interperismo acelerado y afinidad con el asfalto; una vez aplicado este material, se rastreará y se planchará como se dijo anteriormente. La cantidad de dicho riego será de 6 a 8 litros por m².

2).- Carpeta de dos riegos.- Al igual que en la anterior,-

se procede a dar un riego asfáltico de fluxados de fraguado rápido o emulsión de fraguado rápido en la proporción de 0.6 a 1.1 litros por m². de cemento asfáltico, y se cubrirá con material pétreo número 2, se procederá al rastreo y planchado en la forma descrita para la carpeta de un riego. Una vez compactado el material número 2, se procede a ejecutar un segundo riego a razón de 0.7 a 1.0 litros por m². de cemento asfáltico y se cubre con material pétreo número 3-B, procediendo en la ejecución en la forma indicada con anterioridad. La cantidad de los riegos será de 8 a 12 litros y de 6 a 8 litros por m². respectivamente.

3).- Carpeta de tres riegos.- Del mismo modo que en las anteriores, se ejecuta un riego de fluxados o emulsiones de fraguado rápido en la cantidad de 0.6 a 1.1 litros por m². de cemento asfáltico, y se cubre con material pétreo número 1, la cantidad de este riego será de 20 a 26 litros por m²., se procede a rastrear y compactar con una aplanadora de 10 toneladas de peso, -- después se procede a ejecutar un segundo riego de fluxados o -- emulsiones de fraguado rápido en la cantidad de 1.0 a 1.4 litros por m². de cemento asfáltico, y se cubrirá de inmediato con material pétreo número 2, y en cantidad de 12 litros por m²., se procederá de inmediato a rastrear y compactar este material con aplanadora de tres ruedas de 10 toneladas de peso y en la forma ya conocida. Una vez ejecutado este trabajo se podrá abrir al tránsito. Durante un período de tres a ocho días, se deberá rastrear y compactar el segundo riego nuevamente, este trabajo se deberá ejecutar hasta que el producto asfáltico haya fraguado, -- una vez logrado lo anterior se deberá barrer el material sobrante o que no se haya adherido al asfalto para evitar que se formen ondulaciones en el pavimento.

Ya realizado lo anterior, se deberá dar el tercer riego asfáltico, con fluxados o emulsiones de fraguado rápido y en la -- cantidad de 0.7 a 1.0 litros por m². (del residuo del producto) y

se cubrirá de inmediato con material número 3-B, en la cantidad de 6 a 8 litros por m²., y se procederá a su rastreo y compactación especificados anteriormente.

Existen carpetas de cuatro riegos, aunque por su costo tan elevado no son muy usuales, solamente en casos muy especiales se procede a su utilización. A grandes rasgos es casi igual a la de tres riegos difiriendo solamente en que el riego inicial es con fluxados o emulsiones de fraguado rápido en proporción de 0.6 a 1.1 litros por m². de cemento asfáltico, y se cubrirá de inmediato con material pétreo número 0 y en la cantidad de 30 a 40 litros por m². Acto seguido se procede a ejecutar los riegos posteriores con fluxado o emulsiones de fraguado rápido y cubiertas -- con materiales pétreos número 1, números 2 y 3-B respectivamente.

II.- Mezclas en el lugar.- La construcción de carpetas asfálticas, por el sistema de mezclas en el lugar es el tipo intermedio de superficie de rodamiento y por ende su vida es mayor y su capacidad de carga también, siendo esta de tres mil vehículos diarios, con una vida probable de 8 a 15 años. Pueden usarse en su ejecución emulsiones asfálticas de fraguado lento, asfaltos - fluxados de fraguado medio y asfaltos fluxados de fraguado rápido, así como pueden ejecutarse usando motoconformadoras o plantas móviles. Sus costos de construcción se pueden considerar como medios, así como sus gastos de conservación en contraposición de los tratamientos bituminosos superficiales en los cuales, los costos de construcción son bajos y sus gastos de construcción -- son altos.

Estas carpetas asfálticas pueden dividirse en dos clases:

Superficie de textura abierta y superficie de textura media.

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

Las características de los materiales pétreos deberán cumplir con las especificaciones de proyecto.

En general la obtención de los materiales para la ejecución de carpetas asfálticas por el sistema de mezclas en el lugar o en plantas móviles, se recurre a la trituración de los mismos.

Las carpetas asfálticas deberán llenar las características que a continuación se mencionan:

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

1.- Mezclas en el camino, con motoconformadora y con plantas móviles.

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

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

a).- Barrido de la base impregnada.

b).- Aplicación de riego de liga.

c).- Aplicación del material pétreo: Materiales nuevos ten tidos y uniformizados por medio de escantillones o motoconformadoras.

d).- Secado.- Si el material pétreo se encuentra demasiado-húmedo (más del 3% de humedad superficial), se debe aerear y se car por medio de la motoconformadora o cualquier medio mecánico, que pueda exponer las partículas del material al aire y al sol, hasta bajar su contenido de humedad a lo indicado.

e).- Mezclas.- Los diferentes sistemas de mezclar los materiales pétreos y asfálticos, con motoconformadoras,mezcladoras-mecánicas y plantas móviles.

f).- Esparcido de la mezcla; con motoconformadora hasta al canzar la forma y el espesor necesario sin compactar.

g).- Compactación; la compactación se comienza por los bordes exteriores hacia el centro en pasadas sucesivas. Se pueden-usar aplanadoras metálicas, neumáticas o ambas.

El periodo de tiempo que debe transcurrir entre el esparcido y la compactación es muy importante y varía en general en ca da obra, ya que dependen de los materiales usados en la elabora ción de la mezcla así como de temperaturas ambiente e intensi dad del viento. En algunas ocasiones, las aplanadoras podrán -- trabajar de inmediato, en otras habrá necesidad de esperar de - 24 a 48 horas.

Una vez que el material haya sido secado y acamellonado en- la forma más uniforme posible, se abre el camellón para que por

el centro del mismo se haga una aplicación del material asfáltico en la proporción de 1/3 de la cantidad total proyectada, inmediatamente después entrarán las motoconformadoras, para dar una mezcla parcial, llevando el camellón de un extremo al otro del camino.

Una vez logrado lo anterior, se repite la operación en dos ocasiones más, si la mezcla adquiere un color uniforme se dá -- por terminado el mezclado, pero si no se le aplica otro ciclo de mezclado.

2).- Mezclas con mezcladoras mecánicas.- Se entiende por -- tal, la realizada con equipos operados mecánicamente, pero sin recoger el material pétreo, en algunos casos la mezcladora mecánica no puede añadir el producto asfáltico por si mismo y se -- tiene necesidad de usar petrolizadora independiente; en otros -- casos se añade el material asfáltico al mismo tiempo de efectuar la mezcla con el material pétreo, lo cual se efectúa espaciándolo dentro de la cámara de mezclado, según avanza la máquina.

Algunas mezcladoras dan una sola pasada, trabajando con los materiales pétreos previamente uniformados y acamellonados, y -- dejando la mezcla efectuada sin camellones sobre el camino.

El mezclado real que efectúan estas mezcladoras, está basado en la agitación del material pétreo y el asfáltico, por algún sistema de paas o paletas unidas a un eje rotatorio montado en forma que trabaja en ángulo recto, oblicuo o paralelamente a la dirección del camino, frecuentemente el montaje es paralelo a la dirección de la marcha, se usan dos ejes mezcladores con paletas.

III.- Mezclas con plantas estacionarias.- Las mezclas con el sistema de plantas centrales o estacionarias es el sistema -- más elevado, para producir carpetas asfálticas, ya que la dosi-

ficación de los materiales se hace en una forma rigurosa lo - que permite la mejor calidad de la carpeta asfáltica terminada.

Se distinguen dos tipos de plantas, las intermitentes o por bachas, en las cuales la dosificación de los materiales se efectúa por peso de materiales que entran en la formación de las -- carpetas asfálticas y las continuas, por volumen, en las cuales la dosificación de los materiales se efectúa como su nombre lo indica por volúmenes.

El orden de operación de una carpeta asfáltica, ejecutada - por el sistema de planta central, es el siguiente: Independientemente de que esta sea continua o intermitente.

- 1).- Barrido de la base impregnada.
- 2).- Aplicación de riego de liga.
- 3).- Acarreo de la mezcla desde la planta central.
- 4).- Esparcido de la mezcla por medio de esparcidores mecánicos.
- 5).- Compactación. Se puede usar aplanadora metálica o neumática; solas o combinadas.

Se emplean distintos tipos de plantas, de acuerdo con el -- grado de exactitud requerido en la dosificación de los materiales pétreos y el costo de la carretera en construcción.

IV.- RIEGO DE SELLO.

Definición.- 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 emplean en la construcción del riego de sello serán de los números 3-A y 3-E, de acuerdo con lo fijado en el proyecto.

Los materiales asfálticos que se emplean en la construcción del riego de sello serán cementos asfálticos, asfaltos rebajados de fraguado rápido o emulsiones de rompimiento rápido.

Antes de aplicar el riego de sello, la superficie por tratar deberá estar seca y ser barrida para dejarla exenta de materias extrañas y polvo.

Este riego de sello, se llevará a cabo en proporciones parecidas a las carpetas por el sistema de riegos superficiales, -- por lo tanto, el procedimiento constructivo es como sigue:

- a).- Se barre la superficie de la carpeta que se va a sellar.
- b).- Se realiza el riego de material asfáltico (en la proporción que se requiera según proyecto).
- c).- Se cubre el material asfáltico con el agregado pétreo correspondiente (3-A o 3-E).
- d).- Se procede al rastreo del material.
- e).- Se compacta el material pétreo, teniendo cuidado de no fracturarlo.

No se deberán regar con material asfáltico, tramos mayores de los que puedan ser cubiertos de inmediato con material pétreo.

G).- CONTROL DE CALIDAD.

Es muy importante que las Agencias encargadas de Proyectar Pavimentos cuenten para ello con Métodos los más racionales posibles; sin embargo, aunque se usen los procedimientos más elabo

rados y mejor correlacionados con el comportamiento real, si la calidad de los materiales y los procedimientos de construcción - que se siguen en la obra no están de acuerdo a lo requerido por el proyecto, lo más probable es que se presente prematuramente - la falla; se ha demostrado, que las fallas de pavimentos en un - 80%, son debidas a mala construcción.

Por lo anterior, es que tiene gran importancia el control - de calidad, tema mucho menos tratado en la literatura que los Mé todos de Proyecto o Construcción.

Enseguida se dan algunos principios de control de calidad, - con el fin de introducirse en este tema que es bastante extenso.

El control de calidad se define, como el conjunto sistemáti - co de esfuerzos, principios, prácticas, y tecnología de una orga - nización para asegurar, mantener o superar la calidad del pavi - mento al menor costo posible.

Las herramientas con que cuenta el control de calidad para desarrollar sus actividades son. Proyecto, Especificaciones, Pro - cedimientos de Muestreo, Pruebas, Medición y Equipo.

La intervención del Control de Calidad durante el proyecto - es la de verificar la correcta aplicación de las especificacio - nes, dar a conocer la calidad de los materiales, indicar los tra - tamientos y procesos necesarios y sus costos probables.

Durante la construcción del camino el control de calidad ve - rifica la calidad de los materiales y los procedimientos de cons - trucción, prevee cualquier cambio posible, se inspecciona la ma - quinaria en cuanto a operación, mantenimiento, reparación y téc - nicas de trabajo; así mismo, debe promover los estudios para me - jorar técnicas y utilización de materiales y equipo.

En lo referente a operación, el control de calidad interviene en verificar el uso adecuado del producto, su utilidad, los costos de mantenimiento y el tiempo de aprovechamiento.

Para obtener buenos resultados en la construcción de caminos, es necesario llevar un control en todos y cada uno de los factores que intervienen en la elaboración de estos.

Los factores a que nos referimos son los siguientes:

1.- Bancos para carpetas asfálticas.- Estos deben de estar regidos por las Especificaciones de la S.C.T.

a).- Graduación granulométrica satisfactoria; dentro de las zonas marcadas por la S.C.T., es decir las gráficas granulométricas para estos materiales.

b).- Índice plástico menor del 5%, la importancia de la plasticidad en estos casos es de que un material plástico presenta dificultad en su disgregación.

c).- Porcentaje de desgaste en la prueba de los Angeles, menor de un 30%. Esta prueba trata de mostrar la resistencia del material al efecto abrasivo del rodado de los vehículos.

2.- Agregados Pétreos.

a).- Granulometría.- La estabilidad y la permeabilidad, serán los factores más afectados por una mala graduación granulométrica del material pétreo.

b).- Dureza.- La dureza es otra propiedad muy importante en el agregado pétreo que se pretende utilizar en la construcción de la carpeta asfáltica; ya que de carecer de ella, los grumos por el efecto abrasivo del tránsito o por el mismo equipo de com

pactación, es causa de un desgranamiento en la carpeta con posterior destrucción de la misma.

c).- Finos Arcillosos.- El principal peligro de los finos-arcillosos de un agregado pétreo, para la carpeta asfáltica, es la formación de grumos, por lo que no es recomendable utilizar un material pétreo que pase la malla número 40 y que acuse una contracción lineal mayor del 1%.

d).- Afinidad con el asfalto.- De vital importancia es el papel que desempeña este factor; porque de no existir, el asfalto no podría desempeñar su función ligante.

3.- Asfalto.

La dosificación adecuada del asfalto será aquella, que le permita a este formar una película sin llegar a ocasionar una lubricación entre las partículas del material pétreo a causa de un exceso en la dosificación.

Las propiedades del material pétreo deberán reunir ciertos requisitos de calidad, para poder ser utilizado en la construcción de carpetas asfálticas, estas son:

a).- Granulometría.- Indica la distribución de este en tamaños de sus partículas, en por ciento.

b).- Absorción.- El objeto de esta prueba, es el de que además de darnos una idea de la calidad del material pétreo, nos servirá para controlar su humedad en el campo y para la elección del índice asfáltico.

4.- Prueba de afinidad del material pétreo y el asfalto.

Tiene por objeto determinar la adherencia del material pétreo con el asfalto, atendiendo a esta propiedad, hay que distinguir dos tipos de materiales pétreos; hidrófilos e hidrófobos; los primeros son los que tienen mayor afinidad con el agua y no así con el asfalto, lo que es perjudicial para el producto asfáltico, ya que desaloja la película de este último, produciendo fallas considerables. Los materiales hidrófobos, son aquellos que se adhieren mejor con el asfalto que con el agua. La falta de adherencia se puede también deber a que las partículas estén cubiertas de polvo, lo que impide el contacto con el asfalto. En este caso, lo recomendable sería lavar el material que se vaya a utilizar.

5.- Resistencia al desgaste.

El objeto de esta prueba es el de determinar si el material pétreo es adecuado para resistir las cargas futuras a las que estará sometido en la construcción y posteriormente a la acción del tráfico. La prueba que se emplea es la denominada "PRUEBA DE LOS ANGELES".

6.- Límites de consistencia o de Atterberg.

Estas pruebas tienen por objeto el de dar un indicio de la presencia de arcilla en el agregado, lo que puede ser perjudicial para el comportamiento de la carpeta. Esta prueba consiste en determinar el límite líquido, límite plástico, índice plástico y contracción lineal.

Las pruebas a que se somete el material asfáltico, de acuerdo a las condiciones de equipo y que en realidad son suficientes para juzgar la calidad del producto asfáltico en cuanto a las especificaciones de la S.C.T. que son las siguientes:

a).- Punto de Ignición.

b).- Vicocidad.

c).- Destilación.

d).- Penetración.

En resumen, si se tiene cuidado en la aplicación de estas pruebas, se obtendrá un buen Control de Calidad en la construcción del camino, por tanto este tendrá una mayor duración y funcionalidad a un menor costo, reduciendo así su gasto de mantenimiento.

A continuación se ilustran algunas de las máquinas mencionadas con anterioridad dentro de este Capítulo; que se utilizan para la construcción de Caminos. También se ilustra la tabla de equivalencias de mallas de abertura cuadrada con las de abertura redonda.

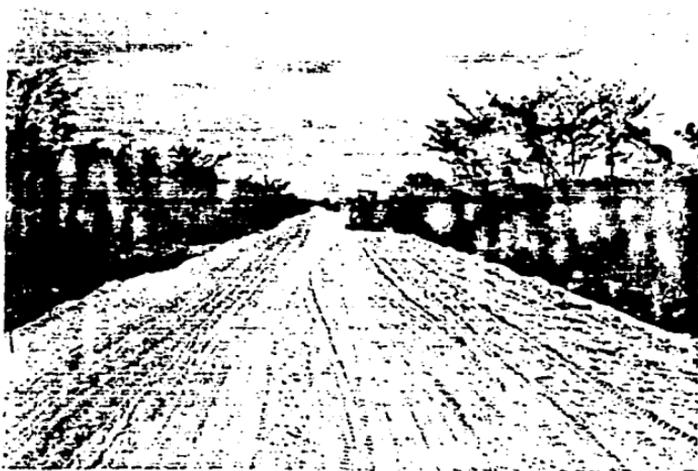


FIG. N° 4 .- TENDIDO DE LA CAPA SUBRASANTE CON
MOTOCONFORMADORA.

TABLA DE EQUIVALENCIAS ENTRE MALLAS Y CRIBAS			
MALLAS CUADRADAS		CRIBAS REDONDAS	
Abertura	M e l l a	Abertura	C r i b a
2 "	50.8 mm.	2 1/2"	60.3 mm.
1 1/2 "	38.1 mm.	1 7/8"	44.4 mm.
1 "	25.4 mm.	1 1/4"	31.8 mm.
3/4 "	19.1 mm.	7/8"	22.2 mm.
5/8 "	15.88mm.	3/4"	19.1 mm.
Nº4	4.76mm.	1/4"	6.35mm.

Fig. Nº 5.- Tabla de equivalencias entre mallas cuadradas y cribas redondas.

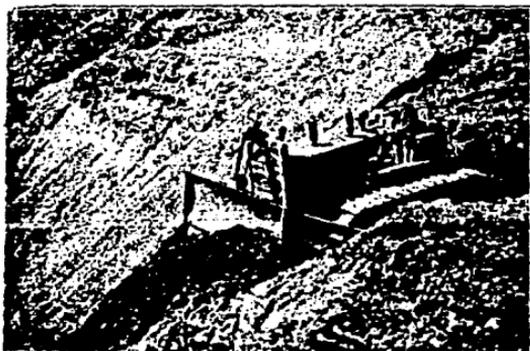
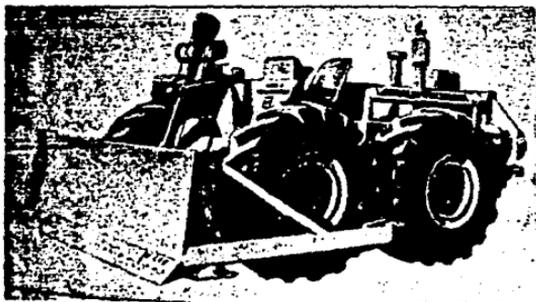


FIG. N° 6.- BULLDOZER Y ANGLEDOZER.

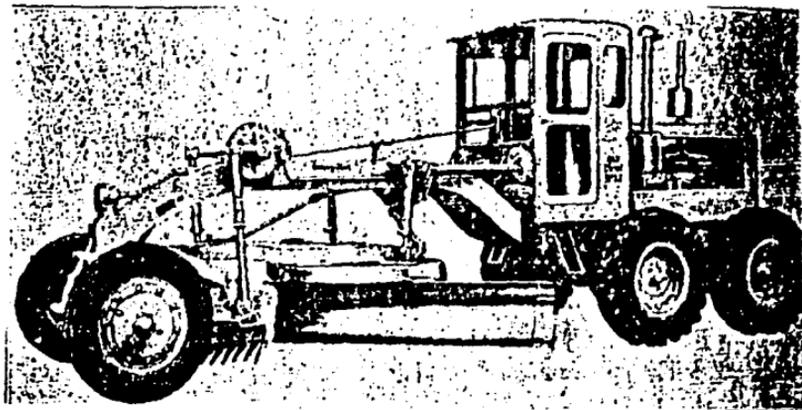


FIG. N° 7 .- M O T U C O N F O R M A D O R A .

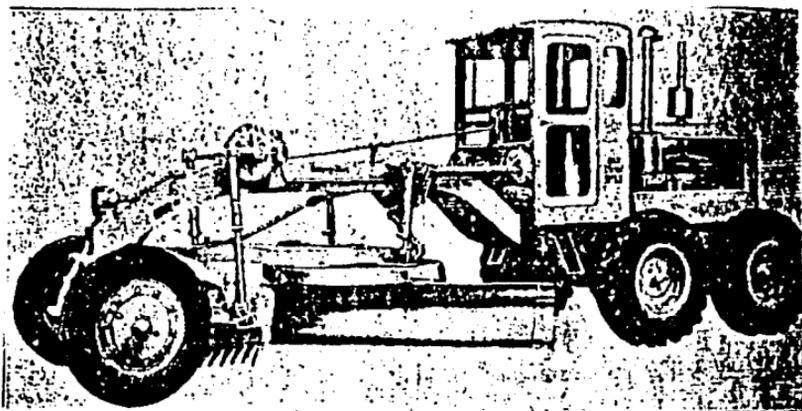


FIG.N° 7 .- MOTUCONFORMADORA .

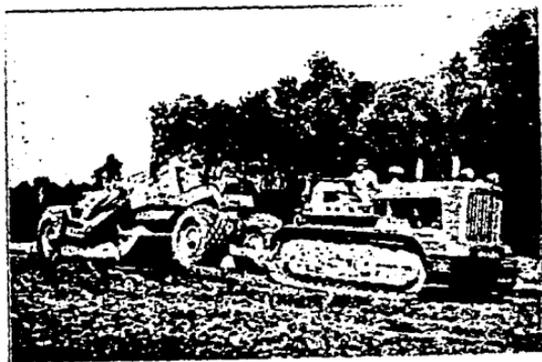


FIG.N° 8 .- MOTOESCREPA.

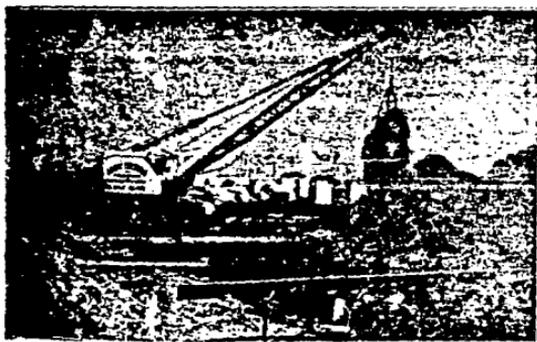


FIG. N° 9.- PALAS MECÁNICAS.

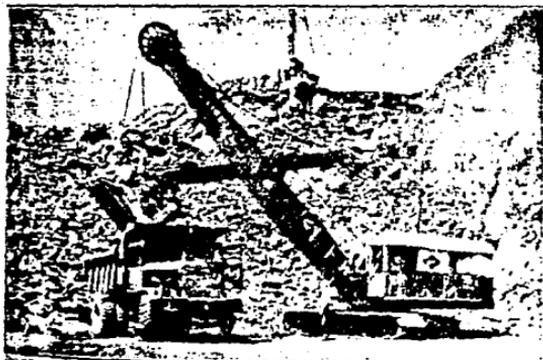


FIG.N°.10 .- EXTRACCIÓN DE MATERIAL DE
BANCO.

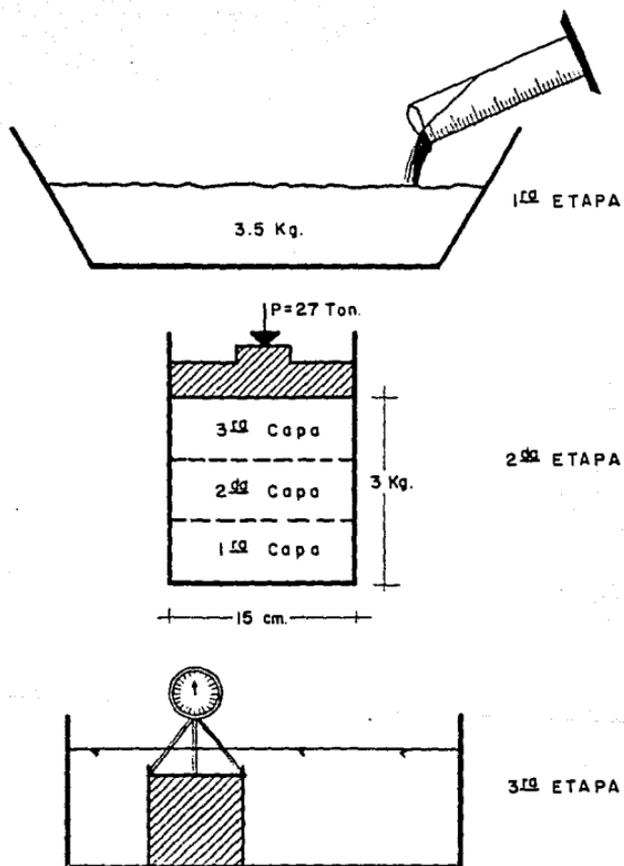


Fig. N^o 11.—Etapas de realización de la prueba Porter Estandar.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

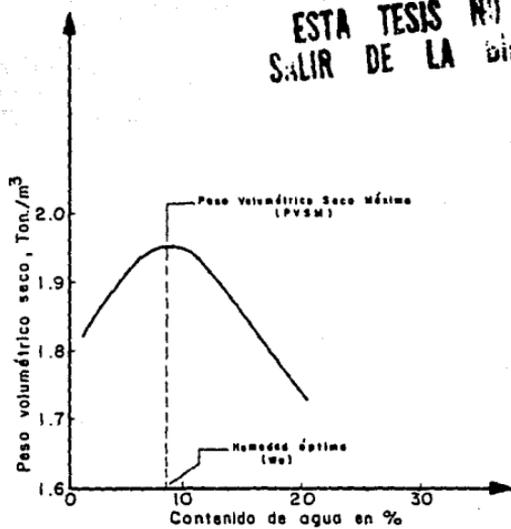


Fig. N^o 12.

SECCION EN CORTE

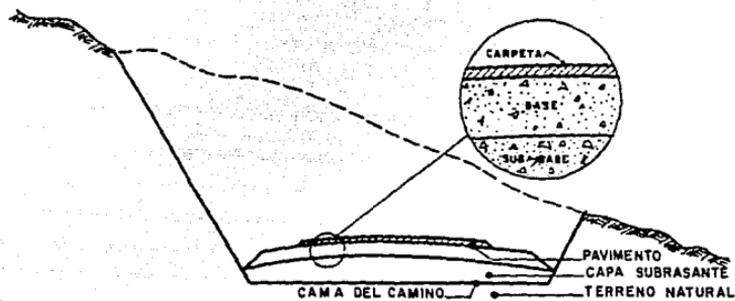


Fig. N° 13

SECCION EN TERRAPLEN

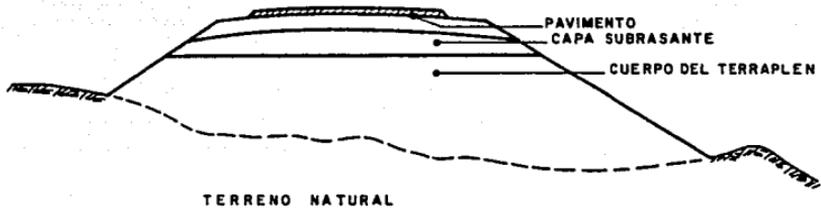


Fig. N° 14

SECCION EN BALCON

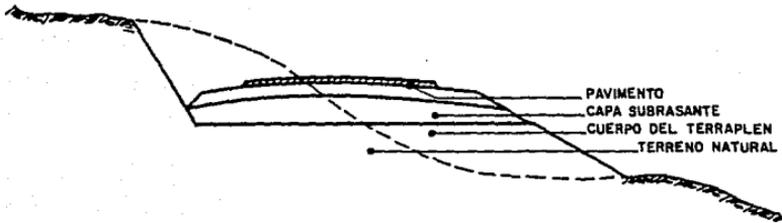


Fig. N° 15

DENOMINACION DEL MATERIAL PETREO	QUE PASA POR MALLA DE		Y SE RETENGA EN LA MALLA DE	
	1	25.4 mm.	(1")	12.7 mm.
2	12.7 mm.	(1/2")	6.3 mm.	(1/4")
3-A	9.5 mm.	(3/8")	2.38mm.	Num. 8
3-B	6.3 mm.	(1/4")	2.38mm.	Num. 8
3-E	9.5 mm.	(3/8")	4.76mm.	Num. 4

Fig. N^o 16.- Clasificación de Material Pétreo.

H) .- APLICACION A UN CASO REAL.

PRESUPUESTO PARA LA CONSTRUCCION DEL CAMINO :
TOLIMAN - COLON , EN EL ESTADO DE QUERETARO .

DATOS BASICOS

CAMINO : TOLIMAN - COLON , QRO.

TRAMO : TOLIMAN - SN. MIGUEL

LONGITUD : 5.84 Km.

ANCHO DE CORONA : 6.00 Mts.

**OBRA : CONSTRUCCION DE TERRACERIAS, OBRAS DE DRENAJE Y CARPETA
DE UN RIEGO CON MATERIAL 3-A.**

DATOS Y COSTOS

BASICOS

**- RELACION DE PRECIOS
UNITARIOS Y PROGRAMA
DE OBRA.**

DATOS BASICOS DEL ESTUDIO

A).- MATERIALES PARA TERRACERIAS.

Tamaño máximo del material = 3"

Límite líquido = 58 %

B).- MATERIALES PARA SUBRASANTE.

Tamaño máximo del material = 3"

V.R.S. = 15 %

Expansión = 1.3 %

C).- MATERIALES PARA BASE.

V.R.S. = 80 %

Valor cementante = 4 kg/cm²

Desprendimiento por fricción = 6 %

D).- MATERIALES PARA SELLO.

Tamaño máximo de las partículas = 3/8 "

Contracción lineal = 3 %

Densidad = 0.8

- Se construirá una carpeta asfáltica de un riego, con material 3 A, y asfalto del tipo FR-3.

RELACION DE BANCOS DE MATERIALES

- PARA TERRACERIAS Y SUBRASANTE

BANCO SN. MIGUEL I
UBICADO A LA IZQUIERDA DEL KM. 2+010 DEL CAMINO.
TRATAMIENTO: DISGREGADO.

- PARA BASE

BANCO RIO TOLIMAN I
UBICADO EN EL KM. 0+020 CON 1,100 MTS. DE DESVIACION IZQUIERDA.
TRATAMIENTO: CRIBADO.

- PARA CEMENTANTE DE BASE

BANCO SN. PABLO I
UBICADO EN EL KM. 0+000 CON DESVIACION DE 6.1 KM.
(SOBRE EL CAMINO SN.PABLO - TOLIMAN)
TRATAMIENTO : DISGREGADO.

- PARA SELLO (MATERIAL 3-A)

BANCO RIO TOLIMAN II
UBICADO EN EL KM. 0+020 CON 1,300 MTS. DE DESVIACION IZQUIERDA.
TRATAMIENTO : CRIBADO.

- DE ARENA Y GRAVA PARA CONCRETO Y MORTERO

BANCO RIO TOLIMAN III
UBICADO EN EL KM. 0+020 CON 1,800 MTS. DE DESVIACION IZQUIERDA.

- AGUA PARA COMPACTACION

BANCO UBICADO EN EL KM. 0+000 CON 1,250 MTS. DE DESV. IZQ.

- PIEDRA PARA MAMPOSTERIA

BANCO UBICADO EN EL KM. 4+076 CON 280 MTS. DE DESV. DER.

TIPOS Y UBICACION DE LAS OBRAS DE DRENAJE

TIPO DE OBRA	LOCALIZACION
1- ALCANTARILLA TUBULAR DE 75 CM. DE DIAMETRO ---	Km. 0+680
2- ALCANTARILLA TUBULAR DE 75 CM. DE DIAMETRO ---	Km. 0+887.73
3- ALCANTARILLA TUBULAR DE 75 CM. DE DIAMETRO ---	Km. 1+100
4- ALCANTARILLA TUBULAR DE 75 CM. DE DIAMETRO ---	Km. 1+408.92
5- ALCANTARILLA TUBULAR DE 75 CM. DE DIAMETRO ---	Km. 2+520
6- ALCANTARILLA TUBULAR DE 75 CM. DE DIAMETRO ---	Km. 2+820
7- ALCANTARILLA TUBULAR DE 75 CM. DE DIAMETRO ---	Km. 3+618
8- ALCANTARILLA TUBULAR DE 75 CM. DE DIAMETRO ---	Km. 3+780
9- ALCANTARILLA TRIPLE DE TUBO DE 75 CM. DE ϕ ---	Km. 4+076
10- ALCANTARILLA DE LOSA DE 2.00 X 1.50 MTS. ---	Km. 2+200
11- ALCANTARILLA DE LOSA DE 3.00 X 1.50 MTS. ---	Km. 3+200

DATOS BASICOS

INDIRECTOS Y UTILIDAD

COSTO DIRECTO	100 %
INDIRECTOS	
1- TRASLADO DE EQUIPO	4.0 %
2- ADMINISTRACION DE CAMPO	9.0 %
3- ADMINISTRACION DE OFICINAS	7.8 %
4- FIANZAS	2.5 %
5- COSTO FINANCIERO	0.4 %
6- APORTACIONES	1.0 %
7- CAMPAMENTOS	2.0 %
	<hr/>
SUMA :	126.7%
UTILIDAD E IMPUESTOS (126.7 X .105)	13.3%
	<hr/>
TOTAL :	140 %
FACTOR DE INDIRECTOS Y UTILIDAD	= <u>40 %</u>

RELACION DE COSTOS HORARIOS DEL EQUIPO QUE SE UTILIZARA

EN LA OBRA.

1- TRACTOR KOMATZU D-155 A-1	\$ 109,146.22
2- MOTOCONFORMADORA HWB-165-S	38,131.53
3- CARGADOR FRONTAL NEUMATICO MICHIGAN 45-B	25,386.66
4- CONJUNTO DE CRIBAS 4" X 14	13,833.20
5- CAMION PETROLIZADORA 6,000 lts.	25,076.57
6- COMPACTADOR NEUMATICO AUTOPROP. AP-23	26,694.74
7- COMPACTADOR VIBRO AUTOPROP. VAP-70-L	25,004.19
8- COMPACTADOR MANUAL PR-8	4,513.35
9- PLANCHA TANDEM 6-8 TON. MULLER	20,022.05
10- TRACK - DRILL I, RAND CM-351 / VL 120	49,354.35
11- COMPRESOR G. DENVER 600 PCM	27,980.94
12- REVOLVEDORA PARA CONCRETO 2 SACOS	7,407.44
13- CAMION VOLTEO DIESEL 6 M ³	16,872.93
14- CAMION PIPA 8,000 LTS.	19,139.52
15- VIBRADOR PARA CONCRETO	3,223.51
16- BOMBA AUTOCEBANTE 3" DE DIAMETRO	3,420.24
17- BARREDORA DE JALON	4,154.95
18- TRACTOR AGRICOLA JHON DERE 2555	9,574.57

COSTO BASICO

CONCEPTO : EXCAVACION CON MAQUINA EN MATERIAL TIPO " A " CUANDO EL MATERIAL SE UTILICE PARA LA FORMACION DE TERRAPLENES.

1)- EXTRACCION Y REMOCION :

EQUIPO : TRACTOR KOMATZU D-155

COSTO HORARIO : \$ 109,146.22

RENDIMIENTO : 200 m³

COSTO POR M³ : 109,146.22

200 =

\$ 545.73 / m³

2)- CARGA DEL MATERIAL :

EQUIPO : CARGADOR FRONTAL MICHIGAN 45-B

COSTO HORARIO : \$ 25,386.66

RENDIMIENTO : 80 m³

COSTO POR M³ : 25,386.66

80 =

\$ 317.33 / m³

COSTO DIRECTO : \$ 863.06 / m³

COSTO BASICO

CONCEPTO : EXCAVACION CON MAQUINA EN MATERIAL TIPO "B" CUANDO EL MATERIAL SE UTILICE PARA LA FORMACION DE TERRAPLENES.

1).- EXTRACCION Y REMOCION :

EQUIPO : TRACTOR KOMATZU D-155

COSTO HORARIO : \$ 109,146.22

RENDIMIENTO : 150 m³

COSTO POR M³ : 109,146.22

150

\$ 727.64 / m³

2).- CARGA DEL MATERIAL :

EQUIPO : CARGADOR FRONTAL MICHIGAN 45-B

COSTO HORARIO : \$ 25,386.66

RENDIMIENTO : 60 m³

COSTO POR M³ : 25,386.66

60

\$ 423.11 / m³

COSTO DIRECTO : \$ 1,150.75/m³

COSTO BASICO

CONCEPTO : EXCAVACION CON MAQUINA EN MATERIAL " C " , CUANDO EL MATERIAL SE UTILICE.

1)- BARRENACION :

EQUIPO : COMPRESOR 600 P.C.M. : \$ 27,280.94
 TRACK DRILL I. RAND : \$ 49,354.35

COSTO HORARIO: \$ 77,335.29

RENDIMIENTO : 50 m³
 COSTO POR M³ : 77,335.29

50

\$ 1,546.71 / m³

2)- EXPLOSIVOS :

P. CORD 0.40 m/m³ X 879.08 = \$ 351.63
 GODYNE 0.15 Kg/m³ X 7,575.40 = 1,136.31
 ANFOMEX 0.45 Kg/m³ X 460.00 = 207.00
 MECHA 0.10 Kg/m³ X 456.00 = 45.60
 FULMINANTES .05 pza/m³ X 401.85 = 20.06

COSTO POR M³ : \$1,760.60

\$ 1,760.60 / m³

3)- VOLADURA :

POBLADOR 1 X \$ 12,800.00 = \$ 12,800.00
 AYUDANTES 4X \$ 9,600.00 = \$ 38,400.00

SUMA : \$ 51,200.00

RENDIMIENTO : 100 m³
 COSTO POR M³ : 51,200.00

100

\$ 512.00 / m³

4)- REMOCION Y APILE :

EQUIPO : TRACTOR KOMATZU D-155

COSTO HORARIO : \$ 109,146.22

RENDIMIENTO : 150 m³

COSTO POR M ³ :	109,146.22	=
	<u>150</u>	

\$ 436.58 / m³

5)- CARGA DEL MATERIAL :

EQUIPO : CARGADOR FRONTAL MICHIGAN 45 - B

COSTO HORARIO : \$ 25,386.66

RENDIMIENTO : 60 m³

COSTO POR M ³ :	25,386.66	=
	<u>60</u>	

\$ 423.11 / m³

COSTO DIRECTO : \$ 4,679.00 / m³

PRESUPUESTO PARA
LA CONSTRUCCION DE
UN CAMINO PAVIMENTADO.

NOMBRE: TOLIMAN - COLON

TRAMO: TOLIMAN - SN. MIGUEL

ESTADO: QUERETARO.

O B R A					
C O N C E P T O S					
N°	DESCRIPCION	CANTIDAD DE OBRA	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
II	TERRACERIAS				
1	Desmante	17	Ha	167,631	2'849,727
2	Despalmas de cortes, desperdiciando el material	1,295	m ³	1,209	1'565,655
3	Desplantes de terraplenes, desperdiciando el material	1,193	m ³	1,209	1'442,337
4	Excavación en ampliación de cortes, cuando el material se utilice en la formación de terraplenes.	16,778	m ³	1,985	33'204,330
5	Excavación de préstamo del banco San Miguel, ubicado en Km. 2+010 del Camino.	9,343	m ³	2,065	19'293,295
6	Compactación del Terrazo Natural en el área de desplante de los Terraplenes, G.C. = 90%	2,806	m ³	1,267	3'555,202
7	Recompactación, escarificado, disgregado y acamellado por alas de la capa superior de la subsanante existente en cortes y terraplenes, G.C. = 95%	3,439	m ³	3,120	10'729,680
8	Formación y compactación de Terraplenes, G.C. = 90%	12,687	m ³	1,625	20'616,375
9	Mezclado, Tendido y Compactación de la capa subsanante, formada con materiales seleccionados, G.C. = 95%	8,494	m ³	2,449	20'801,806
10	Sobrecarreo de los materiales producto de las excavaciones de cortes y adicionales abajo de la subsanante, aplicación o abarcamiento de taludes, rebales en la corona, escalones, despalmas y préstamo de Banco, Para distancias hasta de 10 metros, (5 estaciones).	6,276	m ³ - est.	73	458,148
11	Para el primer Kilómetro	22,977	m ³	672	15'440,544
12	Para los Kilómetros subsiguientes.	11,660	m ³ -Km	297	3'463,020
III	OBRAS DE BRENDAJE				
13	Excavación para estructuras, cualesquiera que sean su clasificación y profundidad.	796	m ³	6,338	5'045,048
14	Mampostería de 3ra. clase, a cualquier altura.	170	m ³	66,466	11'299,220
15	Zapicados de mampostería de 3ra. clase, juanteados con mortero de cemento	23	m ³	66,466	1'528,718
16	Concreto hidráulico simple, colado en sacco de f'c = 200 Kg/cm ²	23	m ³	158,300	3'640,900
17	Acero para concreto hidráulico de refuerzo, R-42	2,820	Kg.	1,904	5'369,280
18	Alcantarillas Tubulares de Concreto, reforzado de 280 Kg/cm ² de 75 cm. de diámetro.	763	m	101,815	16'595,845
IV	PAVIMENTACION				
19	Basa compactada al 95% del banco Rio Tolimón, ubicado en Km. 0+020 con 1,100 metros de desviación izquierda del Camino.	7,358	m ³	10,505	77'295,790
20	Del Banco San Pablo ubicado en Km. 0+000 con 6,100 metros desviación del Camino.	818	m ³	6,377	5'216,386
21	Barrido de la superficie por tratar	1	Ha	87,421	369,684
22	Asfalto FM-1 en riesgo de Impregnación	57,816	lt.	238	13'760,208
23	Asfalto FR-1 en carpeta de un riesgo	57,816	lt.	247	14'280,552
				ACUMULADO \$	287'901,750
		HOJA 1/2			

O B R A		CANTIDAD DE O B R A	UNIDAD	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Nº	DESCRIPCION														
II	TERRACERIAS														
1	Desmonte	17	Ha	849.71	1'000	1'000									
2	Despalme de cortes.	1,295	m ³	500	500	565.65									
3	Desplantes de terraplenes.	1,197	m ³	500	500	112.74									
4	Excav.en ampl.de cortes	16,778	m ³	4'000	3'000	3'300	3'400	5'324.33							
5	Excav. de préstamo de banco.	9,343	m ³	1'293.30	5'000	5'000	3'000	3'000							
6	Comp.del Terr.Nat.en terraplen(90%)	2,806	m ³		555.20	1'500	1'500								
7	Recomp.de la subrasante (95 %)	3,439	m ³				2'729.68	4'000	4'000						
8	Form. y comp. de terraplenes al 90 %	12,687	m ³		4'616.38	8'000	3'000								
9	Mezc.,tend.y comp. de la subrasante(95%)	8,494	m ³			4'801.81	8'000	8'000							
10	Sobreacarreo de mat. p/terrac.(5 est.)	6,276	m ³ -est.	150	150	158.15									
11	Para el primer kilometro.	22,977	m ³	940.55	4'000	3'000	4'000	3'500							
12	Para los kms. subsiguientes.	11,660	m ³ -Km.	463.02	750	750	750	750							
III	OBRAS DE DRENAJE														
13	Excavación para estructuras.	796	m ³	45.05	1'000	1'500	2'500								
14	Mampostería de 3ra.	170	m ³	299.22	1'500	3'500	3'500	3'500							
15	Zampeados	23	m ³				528.72	500	500						
16	Concreto hidráulico	23	m ³		640.90	1'500	1'500								
17	Acero de refuerzo	2,820	Kg.		1'369.38	2'000	2'000								
18	Alcantarillas tubulares conc. (75cm.g)	163	m		3'000	5'000	5'000	3'595.85							
	NOTA: LAS CANTIDADES ESTAN EN MILES.		MONTOS MENSUALES:	9'040.87	32'561.75	46'171.94	53'008.4	31'150.18	4'500						

**ANALISIS DE LOS
PRECIOS UNITARIOS
MAS REPRESENTATIVOS.**

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO		CONCEPTO Nº: 4
CONCEPTO : EXCAVACIONES EN AMPLIACION DE CORTES. CLASIFICACION : 30 - 60 - 10		
COSTO BASICO MATERIAL " A " = \$ 863.06 / m ³		
COSTO BASICO MATERIAL " B " = \$ 1150.75 / m ³		
COSTO BASICO MATERIAL " C " = \$ 4679.00 / m ³		
COSTO POR m ³ :		
MATERIAL " A " : \$ 863.06 X .30 =		\$ 258.92/m
MATERIAL " B " : \$ 1,150.75 X .60 =		\$ 690.45/m
MATERIAL " C " : \$ 4,679.00 X .10 =		\$ 467.90/m
	COSTO DIRECTO :	\$ 1,417.27/m
	INDIRECTOS Y UTILIDAD 40 % :	\$ 566.91/m
	PRECIO UNITARIO :	\$ 1,984.18/m

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO	CONCEPTO Nº: 5
<p>CONCEPTO : EXCAVACION DE PRESTAMO DEL BANCO SN. MIGUEL,UBICADO EN EL Km. 2+010 DEL CAMINO ; TOLIMAN - COLON. CLASIFICACION DE LA EXCAVACION :10-80-10</p>	
COSTO BASICO MATERIAL " A " = \$ 863.06 / m ³	
COSTO BASICO MATERIAL " B " = \$1,150.75 / m ³	
COSTO BASICO MATERIAL " C " = \$4,679.00 / m ³	
COSTO POR m ³ :	
MATERIAL " A " : \$ 863.06 X .10 =	\$ 86.30 /m ³
MATERIAL " B " : \$ 1,150.75 X .80 =	\$ 920.60 /m ³
MATERIAL " C " : \$ 4,679.00 X .10 =	\$ 467.90 /m ³
COSTO DIRECTO :	\$ 1,474.80 /m ³
INDIRECTOS Y UTILIDAD 40 % :	\$ 589.92 /m ³
PRECIO UNITARIO :	\$ 2,064.72 /m ³ *****

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO	CONCEPTO N°: 8
CONCEPTO : FORMACION Y COMPACTACION DE TERRAPLENES PARA UN 90 % .	
1-FORMACION , EXTENDIDO Y HUMEDECIMIENTO DEL MATERI- AL POR CAPAS.	
EQUIPO : MOTOCONFORMADORA HWB-165-S COSTO HORARIO : \$ 38,358.20 RENDIMIENTO : 150 m ³	
COSTO POR m ³ : $\frac{38,358.20}{150} =$	\$ 255.72/m ³
2- AGUA PARA COMPACTACION :	
EQUIPO : BOMBA AUTOCEBANTE 3" DE DIAMETRO COSTO HORARIO : \$ 3,420.24 RENDIMIENTO : 6.0 m ³ DOSIFICACION : .200 m ³ /m ³	
COSTO POR m ³ : $\frac{3,420.24}{6.0} \times .200 =$	\$ 114.01/m ³
3- ACARREO DE AGUA :	
EQUIPO : CAMION PIPA 8,000 LTS. COSTO HORARIO : \$ 19,139.52 RENDIMIENTO : 8m ³	
COSTO POR m ³ : $\frac{19,139.52}{8.0} \times .200 =$	\$ 478.49/m ³
4- COMPACTACION A 90 % :	
EQUIPO : COMPACTADOR VIBRO AUTOPROP. VAP-702 COSTO HORARIO : \$ 25,004.19 RENDIMIENTO : 80 m ³ COSTO POR m ³ : $\frac{25,004.19}{80} =$	\$ 312.55/m ³
COSTO DIRECTO INDIRECTOS Y UTILIDAD 40 %	\$ 1,160.76/m ³ \$ 464.30/m ³
PRECIO UNITARIO	\$ 1,625.06/m ³ -----

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO	CONCEPTO N° 9
CONCEPTO : MEZCLADO, TENDIDO Y COMPACTACION DE LA CAPA SUBRASANTE, FORMADA CON MATERIALES SELECCIONADOS, PARA 95 %.	
1- AGUA PARA COMPACTACION :	
DEL CONCEPTO N° 4 RENGLON 2 =	\$ 114.01/m ³
2- ACARREO DE AGUA :	
DEL CONCEPTO N° 4 RENGLON 3 =	\$ 478.49/m ³
3- INCORPORACION DE AGUA :	
EQUIPO : MOTOCONFORMADORA HWB -165 - S	
COSTO HORARIO : \$ 38,358.20	
RENDIMIENTO : 100 m ³	
COSTO POR m ³ : <u>38,358.20</u>	\$ 383.58/m ³
100	
4- TENDIDO Y AFINE :	
EQUIPO : MOTOCONFORMADORA HWB-165-S	
COSTO HORARIO : \$ 38,358.20	
RENDIMIENTO : 150 m ³	
COSTO POR m ³ : <u>38,358.20</u>	\$ 255.72/m ³
150	
5- COMPACTACION A 95 % :	
EQUIPO : COMPACTADOR VIBRO VAP-70-L = \$ 25,004.19	
COMPACTADOR NEUMATICO AP-23 = \$ 26,694.74	
COSTO HORARIO = \$ 51,698.93	
RENDIMIENTO : 100 m ³	
COSTO POR m ³ : <u>51,698.93</u>	\$ 516.98/m ³
100	
COSTO DIRECTO :	\$ 1,748.78/m ³
INDIRECTOS Y UTILIDAD 40 % :	\$ 699.51/m ³
PRECIO UNITARIO :	\$ 2,448.29/m ³

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO	CONCEPTO Nº: 11
CONCEPTO : SOBRECARRERO DE LOS MATERIALES PRODUCTO DE LAS EXCAVACIONES, PARA EL PRIMER Km.	
1- ACARREO SEGUN TARIFA :	
CAPA DE RODAMIENTO : TERRACERIAS	
FACTOR DE ABUNDAMIENTO : 1.30	
PRIMER Km. : \$ 369.35 / m ³	
COSTO POR m ³ : 369.35 X 1.30 =	\$ 480.15 /m ³
COSTO DIRECTO :	\$ 480.15 /m ³
INDIRECTOS Y UTILIDAD 40 %	\$ 192.06 /m ³
PRECIO UNITARIO :	\$ 672.21 /m ³ -----

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO	CONCEPTO N°: 1a
CONCEPTO : ALCANTARILLAS DE TUBERIA DE CONCRETO REFORZADO DE f'c= 280 Kg./cm ² , de 75 cm. DE DIAMETRO.	
- MATERIALES :	
TUBO DE CONCRETO DE 75 cm. DE DIAMETRO: \$ 60,700.00/m	
FLETE - - - - - : \$ 5,250.00/m	
JUNTEO DE CEMENTO ; 1.0 Kg. X 120.00 = \$ 120.00/m	
COSTO POR m : \$ 66,070.00/m	\$ 66,070.00/m
- MANO DE OBRA :	
OFICIAL 1 X \$ 11,400.00 = \$ 11,400.00	
AYUDANTES 2 X \$ 9,000.00 = \$ 18,000.00	
PEONES 2 X \$ 7,983.62 = \$ 14,967.24	
SUMA = \$ 44,367.24	
RENDIMIENTO : 7 mts.	
COSTO POR m : <u>44,367.24</u>	
7.0	\$ 6,338.18/m
- HERRAMIENTA MENOR :	
SE CARGARA EL 5% DE LA MANO DE OBRA	
\$ 6,338.18 X 5% =	\$ 316.91/m
COSTO DIRECTO :	\$ 72,725.09/m
INDIRECTOS Y UTILIDAD 40 %:	\$ 29,090.04/m
PRECIO UNITARIO :	\$ 101,815.13/m
-----	-----

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO		CONCEPTO Nº: 22
CONCEPTO : MATERIAL ASFALTICO DEL TIPO FM-1 EMPLEADO EN RIEGO DE IMPREGNACION.		
1.- ADQUISICION :		
ADQUISICION DE ASFALTO FM-1 =		\$ 81.44 / lt
2.- FLETE A LA FOSA :		
DE ACUERDO A LA TARIFA DE S.C.T. DISTANCIA: 550 Km. =		\$ 40.40 / lt
3.- ACARREO AL TRAMO :		
EQUIPO : CAMION PETROLIZADORA 6,000 lts. COSTO HORARIO : \$ 25,076.57 RECORRIDO REDONDO : 3 hrs. VOLUMEN POR RIEGO : 5,000 lts. COSTO POR lt. : $25,076.57 \times 3$		\$ 15.05 / lt
5 000		
4.- CALENTAMIENTO Y RIEGO :		
EQUIPO : CAMION PETROLIZADORA 6,000 lts. COSTO HORARIO : \$ 25,076.57 TIEMPO TOTAL : 4 hrs. VOLUMEN DE RIEGO : 4,000 lts. COSTO POR lt. : $25,076.57 \times 4$		\$ 25.08 / lt
4 000		
5.- HERRAMIENTA MENOR :		
143.13 X 5% =		\$ 8.10 / lt
	COSTO DIRECTO	\$ 170.07 / lt
	INDIRECTOS Y UTILIDAD 40%	\$ 68.03 / lt
	PRECIO UNITARIO:	\$ 238.10 / lt

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO		CONCEPTO N°: 23
CONCEPTO : MATERIALES ASFALTICOS DEL TIPO FR-3, UTILIZADOS EN CARPETA DE UN RIEGO.		
1.- ADQUISICION :		
DEL CONCEPTO N° 22 , RENGLON N° 1 =		\$ 81.44 / lt
2.- FLETE A FOSA :		
DEL CONCEPTO N° 22 , RENGLON N° 2 =		\$ 40.40 / lt
3.- ACARREO AL TRAMO :		
DEL CONCEPTO N° 22 , RENGLON N° 3 =		\$ 15.05 / lt
4.- CALENTAMIENTO Y RIEGO :		
EQUIPO : CAMION PETROLIZADORA 6,000 lts.		
COSTO HORARIO : \$ 25,076.57		
TIEMPO TOTAL : 4.5 hrs.		
VOLUMEN DE RIEGO : 3,600 lts.		
COSTO POR lt. : 25,076.57 X 4.5		\$ 31.34 / lt
	3,600	
5.- HERRAMIENTA MENOR :		
148.99 X 5% =		\$ 8.41 / lt
	COSTO DIRECTO :	\$ 176.64 / lt
	INDIRECTOS Y UTILIDAD 40%:	\$ 70.66 / lt
	PRECIO UNITARIO :	\$ 247.30 / lt

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO		CONCEPTO Nº: 34
CONCEPTO : CARPETA DE UN RIEGO CON MATERIAL 3-A DEL BANCO RIO TOLIMAN II, UBICADO EN EL km. 0+020 CON 1,300 mts. DE DESVIACION IZQUI- ERDA DEL CAMINO : TOLIMAN - COLON.		
1.- DESPALME :		
DEL CONCEPTO N° 19 , RENGLON N° 1		\$ 107.86/m ³
2.- ACARREO DE DESPALME :		
DEL CONCEPTO N° 19 , RENGLON N° 2		\$ 45.48/m ³
3.- EXTRACCION Y REMOSION :		
EQUIPO: TRACTOR KOMATZU D-155		
COSTO HORARIO : \$ 109,146.22		
RENDIMIENTO : 30 m ³		
COSTO POR m ³ : 109,146.22		
	30	\$ 3,638.20/m ³
4.-CARGA EN BANCO :		
EQUIPO : CARGADOR MICHIGAN 45-B		
COSTO HORARIO : \$ 25,386.66		
RENDIMIENTO : 10 m ³		
COSTO POR m ³ : 25,386.66		
	10	\$ 2,538.66/m ³
5.- ACARREO A CRIBA :		
DEL CONCEPTO N° 19 , RENGLON N° 5		\$ 517.09/m ³
6.- CRIBADO :		
EQUIPO : CONJUNTO DE CRIBAS: \$ 13,833.20		
CARGADOR MICH. 45-B 25,386.66		
COSTO HORARIO : \$ 39,219.86		
RENDIMIENTO : 6 m ³		
COSTO POR m ³ : 39,219.86		
	6	\$ 6,536.64/m ³
7.- CARGA DEL SELLO :		
EQUIPO : CARGADOR MICHIGAN 45-B		
COSTO HORARIO : \$ 25,386.66		
RENDIMIENTO : 30 m ³		
COSTO POR m ³ : 25,386.66 / 30 =		
		\$ 846.22/m ³

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO		CONCEPTO Nº: 24
8.- RIEGO :		
EQUIPO : CAMION VOLTEO	6m ³	
COSTO HORARIO :	\$ 16,872.93	
RENDIMIENTO :	10 m ³	
COSTO POR m ³ :	16.872.93	
	10	\$ 1,687.29/m ³
9.- PLANCHADO, RASTREO Y BARRIDO :		
a).- EQUIPO:		
PLANCHA TANDEM 8 TON. MULLER :	\$ 20,022.00	
TRACTOR AGRICOLA JHON D. :	\$ 9,574.57	
BARREDORA TIRO :	\$ 3,437.17	
COSTO HORARIO :	\$ 33,033.74	
RENDIMIENTO :	15 m ³	
COSTO POR m ³ :	33,033.74	
	15	\$ 2,202.25/m ³
b).- MANO DE OBRA :		
CABO	1 X \$ 12,800.00 =	\$ 12,800.00
PEONES	4 X \$ 7,483.62 =	\$ 29,934.48
COSTO HORARIO	=	\$ 42,734.48
RENDIMIENTO :	30 m ³	
COSTO POR m ³ :	42,734.48	
	30	\$ 1,424.48/m ³
c).- HERRAMIENTA MENOR :		
\$ 1,424.48 X 5%	=	\$ 71.22/m ³
	COSTO DIRECTO :	\$ 19,615.39/m ³
	INDIRECTOS Y UTILIDAD 40% :	\$ 7,846.16/m ³
	PRECIO UNITARIO :	\$ 27,461.55/m ³

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO

CONCEPTO
Nº: 26

CONCEPTO : ACARREO DE LOS MATERIALES PARA PAVIMENTACION, MEDIDOS COMPACTOS EN LA CAPA --- CONSTRUIDA.

1.- ACARREO SEGUN TARIFA :

CAPA DE RODAMIENTO: (TERRACERIAS)

DISTANCIA : 4 kms.

TARIFA 1er. Km. : \$ 341.70

TARIFA KMS.SUBSECUENTES : \$ 169.56

COSTO POR 4 Kms.:

\$ 341.70 X 1 = \$ 341.70

\$ 169.56 X 3 = \$ 508.68

SUMA = \$ 850.38

FACTOR DE ABUNDAMIENTO : 1.30

COSTO POR m³: 850.38 X 1.30

4

\$ 276.37/m³-Km.

COSTO DIRECTO : \$ 276.37/m³-Km.

INDIRECTOS Y UTILIDAD 40%: \$ 110.55/m³-Km.

PRECIO UNITARIO : \$ 386.92/m³----

TRANSITO

CAPITULO
E N E P



IV

IV.- TRANSITO

Al proyectar una carretera, la selección del tipo de camino, las intersecciones, los accesos y los servicios dependen -- fundamentalmente de la demanda, es decir, del volumen de tránsito que circulará en un intervalo de tiempo dado, su variación, su tasa de crecimiento y su composición.

Un error en la determinación de estos datos ocasionará que la carretera funcione durante el período de previsión, bien con volúmenes de tránsito muy inferiores a aquellos para los que se proyectó o que se presenten problemas de congestión.

Las obras viales están destinadas para el tránsito de -- vehículos automotores, por lo que sus características serán la base para este tipo de obras.

En el caso particular de los pavimentos las características que es necesario conocer de los vehículos son:

- a).- Tipos de vehículos.
- b).- Pesos de los vehículos sin carga.
- c).- Pesos de los vehículos con carga.
- d).- Disposición de las llantas.
- e).- Presión de las llantas.
- f).- Carga por rueda.
- g).- Tránsito diario promedio por tipo y condición de cargado de los vehículos.
- h).- Velocidad de tránsito.

DEFINICIONES

VOLUMEN DE TRANSITO.- Es el número de vehículos que pasan por un tramo de la carretera en un intervalo de tiempo dado los

intervalos más usuales son la hora y el día y se tiene el tránsito horario (TH) y el tránsito diario (TD).

DENSIDAD DE TRANSITO.- Es el número de vehículos que se en encuentran en una cierta longitud de camino en un instante dado.

TRANSITO PROMEDIO DIARIO.- Es el promedio de los volúmenes diarios registrados en un determinado período. Los más usuales son el tránsito promedio diario semanal (TPDS) y el tránsito -- promedio diario anual (TPDA).

TRANSITO MAXIMO HORARIO.- Es el máximo número de vehículos que pasan en un tramo del camino durante una hora, para un lapso establecido de observación, normalmente un año.

VOLUMEN HORARIO DE PROYECTO.- Es el volumen horario de tránsito que servirá para determinar las características geométricas del camino. Se representa como (VHP).

TRANSITO GENERADO.- Es el volumen de tránsito que se origina por la construcción o mejoramiento de la carretera y/o por el desarrollo de la zona donde cruza.

TRANSITO DESVIADO O INDUCIDO.- Es la parte del volumen de tránsito que circulaba antes por otra carretera y cambia su itinerario para pasar por la que se construye o se mejora.

DETERMINACION DEL VOLUMEN DE TRANSITO

Para conocer los volúmenes de tránsito en los diferentes -- tramos de una carretera, se utilizan como fuente los datos -- obtenidos de los estudios de origen y destino, los aforos por -- muestreo y los aforos continuos en estaciones permanentes.

ESTUDIOS DE ORIGEN Y DESTINO: Su objetivo primordial es conocer el movimiento del tránsito en cuanto a los puntos de partida y de términos de los viajes, adicionalmente se obtienen datos del comportamiento del tránsito tanto en lo que se refiere a su magnitud y composición como a los diversos tipos de productos que se transportan. Esto último con miras a determinar el grado de desarrollo de los sectores que integran la vida económica y social y la localización de los centros productores y -- consumidores indicando la importancia que estos guardan dentro de la economía.

El método más apropiado para estudios en carreteras es el de las entrevistas directas, ya que se obtiene en forma rápida y eficiente, el origen, destino y un punto intermedio del viaje de cada conductor entrevistado, que es necesariamente la estación. La duración de cada uno de estos estudios es variable, dependiendo del grado de confianza requerido.

En estos estudios se registran las rutas de los diferentes tipos de vehículos y los productos o pasajeros que se transportan por cada sentido así como las longitudes de recorrido. Se incluyen los volúmenes horarios de los diferentes tipos de -- vehículos registrados, por sentidos de circulación.

En los estudios más recientes se han registrado, además, -- modelos y marcas de los vehículos. Esto ha sido una consecuencia de la necesidad de conocer con más detalle, los tipos de -- -- vehículos que transitan por las carreteras y caminos.

MUESTREOS DEL TRÁNSITO: El crecimiento de los volúmenes de tránsito en la red de carreteras, así como la variación de las -- composiciones de tránsito ha conducido a que se instalen, estaciones de aforo en toda la red, procurando que estas capturen el -- tránsito representativo de cada tramo, sin influencia apreciable de viajes suburbanos o de itinerarios muy cortos, y a su vez ---

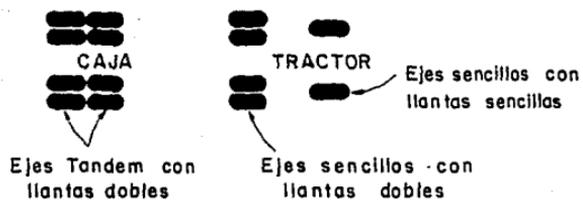


Fig. N° 17 -Distancia de Ejes.

registren un tránsito promedio diario con base al periodo de una semana, el cual, correlacionado con estaciones maestras, dará como resultado un muestreo razonablemente cercano al tránsito promedio diario anual.

Estas previsiones tienden a reducir las correcciones ocasionadas por las variaciones estacionales.

El conteo de los vehículos se realiza por medio de contadores manuales o electromecánicos, registrando estos volúmenes cada hora, clasificándolos en (A) vehículos ligeros, (B) autobuses y (C) vehículos pesados.

ESTACIONES MAESTRAS: Con el objeto de complementar, tanto los muestreos de tránsito como los estudios de origen y destino se han instalado en diversos tramos de la red de estaciones permanentes, provistos de contadores automáticos, cuya finalidad es registrar las variaciones y comportamiento de las corrientes de tránsito durante todo el año. Desde el punto de vista estadístico, se ha zonificado la red nacional de carreteras, en tal forma que cada estación permanente tenga funciones de correlación con otras estaciones de muestreos.

Las casetas de cobro del Organismo Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (C y P.F.I.S.C.) funcionan como estaciones maestras, ya que registran los volúmenes de tránsito, así como su composición, en forma continua, permitiendo conocer las variaciones estacionales.

El análisis de los datos obtenidos para estimar los volúmenes de tránsito, tanto para carreteras nuevas como para el mejoramiento de las existentes, en general, privativo de cada proyecto; sin embargo, se presentarán algunos de sus aspectos más comunes con objeto de sentar sus antecedentes.

OBTENCION DEL TRANSITO ACTUAL.- El tránsito promedio diario semanal obtenido de la estación de muestreo debe corregirse para hacerlo representativo del TPDA, para lo cual se seleccionará una estación maestra con la cual existe una correlación -- aceptable, es decir, que el comportamiento del tránsito en ambas estaciones sea similar.

Con base en la variación del tránsito en la estación maestra se lleva a cabo la corrección de los datos del muestreo, para obtener el tránsito promedio diario anual.

CALCULO DEL TRANSITO DESVIADO O INDUCIDO: De los estudios de origen y destino se puede obtener el tránsito desviado probable, que dependerá del ahorro que represente para los usuarios, el empleo del camino en estudio, por concepto de costos, longitud y tiempo del recorrido.

En virtud de que los estudios de origen y destino son semanales, se deberá hacer la misma corrección que se trató en el inciso anterior.

La obtención del tránsito generado se puede hacer por medio de modelos matemáticos de tipo gravitatorio, que consideren la distancia y costo de transporte entre las localidades y las características de la zona de influencia de estas, tales como habitantes y producción.

COMPOSICION Y DISTRIBUCION DEL TRANSITO POR SENTIDOS

Para determinar las características de un proyecto carretero, es necesario analizar, de acuerdo con el nivel de servicio que se pretenda que debe proporcionar el camino, durante el período de previsión, la composición y distribución del tránsito por sentidos.

La fluidéz del tránsito depende, además del volumen de --- tránsito, del porcentaje relativo de vehículos con caracterfsticas diferentes y de su distribución por sentidos.

La composición de tránsito puede estimarse con base en los datos registrados en los muestreos, estudios de origen y destino y en los proporcionados por el Organismo Caminos y Puentes - Federales de Ingresos y Servicios Conexos.

La distribución del tránsito por sentidos de circulación, - es fundamental en el proyecto de caminos, carreteras y pavimentos de dos o más carriles, ya que puede obligar a preveer una - capacidad mayor y puede estimarse con base en los estudios de - origen y destino o por los proporcionados por una estación maestra.

PREDICCIÓN DEL TRÁNSITO

La predicción del tránsito es una estimación del tránsito - futuro.

Para hacer la predicción del tránsito existen diferentes -- métodos estadísticos.

Con base en la extrapolación de la tendencia media, ajustando una curva de regresión a la tendencia histórica del crecimiento del volumen de tránsito y extrapolando dicha tendencia para - obtener los valores futuros y los intervalos de confianza de -- esas predicciones.

Realizando un estudio de regresión múltiple entre el volu-- men de tránsito y otros elementos, como pueden ser el consumo de gasolina, el registro de vehículos y producto nacional bruto, extrapolando el crecimiento de los tres últimos, para obtener el -

volumen de tránsito futuro.

En virtud de que en muchas ocasiones la falta de datos impide aplicar los métodos mencionados anteriormente, es necesario estimar en forma empírica, hipótesis de crecimiento pesimista, normal y optimista, para diferentes rangos de volúmenes de tránsito. Estas tasas de crecimiento se obtienen de la observación del incremento de tránsito en carreteras con varios años de operación.

La selección de la hipótesis queda al criterio de las personas que realizan la planeación del proyecto, quienes deberán analizar previamente el desarrollo socioeconómico actual y potencial de la zona.

CAPACIDAD DE CARGA

En el mercado existen una gran diversidad de vehículos que se pueden agrupar en: Automóviles, autobuses, camiones de carga ligeros, medianos y pesados además de tractores en remolques, - de diferentes tipos, cada uno de los cuales tienen diferentes - capacidades de carga, que es transmitida al pavimento de acuerdo con la presión de las llantas, la colocación de los ejes y - la disposición que en el extremo de estos tengan las llantas, - así, se pueden tener llantas sencillas, dobles y tandem.

Según sea la carga por rueda y la presión de las llantas, - es la dimensión de la huella, por medio de la cual se transmite la carga al pavimento. La huella puede considerarse como circular, en cuyo caso el radio puede calcularse con la siguiente ecuación.

$$a = \frac{P}{P' \cdot T}$$

Donde: a= Radio de Contacto.
 p= Carga total en la llanta.
 p'=Presión en la llanta que se supone igual a
 la presión de contacto
 $\pi = 3.1416$

En ocasiones, la huella se considera de forma aproximadamente elíptica, en cuyo caso la dimensión L, se calcula de la siguiente manera:

$$L = \frac{A}{0.5227}$$

Donde: A = $\frac{P}{p''}$

En la que:

P = Carga total en la llanta
 p'' = Presión de contacto
 (igual a la presión en la llanta).

La presión de contacto, se supone para fines prácticos --- igual a la de inflado, despreciando la rigidez de la llanta.

Otro dato importante, referente al tránsito es el número de vehculos de cada tipo que utilizan diariamente el carril de diseño; para ello, es necesario recurrir a los estudios de planeación, que deben señalar el tránsito inicial por tipos de --- vehculos, la tasa de crecimiento y la vida útil que le ha considerado a la obra.

En virtud de que sería imposible conocer las características de todos y cada uno de los vehculos que transitarán por un

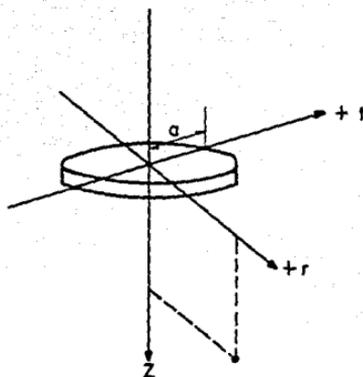


FIG. N° 18.—DIAGRAMA DE PLACA
CIRCULAR

camino, en primer lugar se clasifican según los tipos señalados arriba o de acuerdo con cualquier otra clasificación, se estandarizan las cargas por rueda por tipo de vehículos y la disposición de llantas, en seguida se efectúa la equivalencia de esas disposiciones a un eje de características estandar con lo cual se puede trabajar con un solo dato de tránsito, que es el número de ejes acumulados que transitarán por un camino, durante la vida útil de la obra.

La equivalencia de ejes de una disposición con respecto a un eje estandar, se lleva a cabo relacionando el daño que causa el eje o disposición de ruedas real, con respecto al daño que causa el eje estandar, a esta relación se le denomina factor de equivalencia.

Este daño está referido a su vez a los esfuerzos o deformaciones a una cierta profundidad de la estructura del camino.

De acuerdo con los esfuerzos y profundidades que tomen en cuenta los investigadores, los factores de equivalencia adquieren diferentes valores la expresión siguiente es el resultado de la correlación de los factores de equivalencia de varias oficinas de caminos en Estados Unidos.

$$F = \left(\frac{Pr}{Pe} \right)^4$$

En la que:

Pr = Carga por rueda real.

Pe = Carga por rueda estandar.

La American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) tiene factores de equivalencia en función de cargas reales y de la estructuración posible del pavimento.

El Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), presenta los factores de equivalencia que obtuvieron para diferentes tipos y condiciones (Vacío o Cargado) de vehículos y profundidad considerada. De acuerdo a la variación de la posición de las ruedas de los vehículos en la faja de rodamiento se toma el número de pasadas que determinen un cubrimiento. Los aviones tienen una amplia, variación en estas posiciones por lo que dos o más operaciones de un aparato se toman como un cubrimiento. En caminos la variación de la posición de las llantas es poca, por ello se ha convenido que una pasada equivale a un cubrimiento de la faja de rodamiento.

Por último, se deben conocer el número de ejes equivalentes al cabo de la vida útil del pavimento, haciendo uso del factor de crecimiento de tránsito, para lo cual se puede utilizar la forma de la prueba Porter modificada para el cálculo de espesores para pavimentos flexibles.

En resumen, los datos de tránsito fundamentales que deben tomarse en cuenta para la correcta elección del tipo de pavimento y la estructuración del mismo son los siguientes:

1).- Se necesita conocer el tránsito diario promedio anual (TDPA) y esto es el número total de vehículos que pasa anualmente por un camino en los dos sentidos dividido entre 365 días.

2).- Un pavimento se proyecta tomando, en cuenta el carril de diseño o sea el que tiene mayor carga o carga crítica.

Para un camino de 2 carriles, en el carril de diseño se supone que se tiene el 60% del TDPA.

Para un camino de 4 carriles, el carril crítico tiene el 50% del TDPA.

Para un camino de 6 carriles, el carril crítico se calcula con el 40% del TDPA.

- 3).- Tipos de vehículos, composición del tránsito.
- 4).- Número y ubicación de ejes y llantas.
- 5).- Peso de los vehículos y presión de llantas.
- 6).- Crecimiento anual del tránsito, (r) y la vida útil de la Obra (n).
- 7).- Factor de equivalencia o factor de daño, es la relación del daño que causa el vehículo en estudio y el - daño que causa el vehículo estandar.

$$FD = \frac{Dve}{Dve'}$$

De donde:

Dve = Daño del vehículo en estudio.

Dve' = Daño del vehículo estandar.

Los factores que normalmente se usan son los factores de la AASHTO, el vehículo estandar que se utiliza, es un eje de llanta sencilla y que pesa 8.2 ton. (18 000 lb).

- 8).- La variabilidad en la posición de los vehículos.
- 9).- Tránsito futuro: que se calcula con la ecuación.

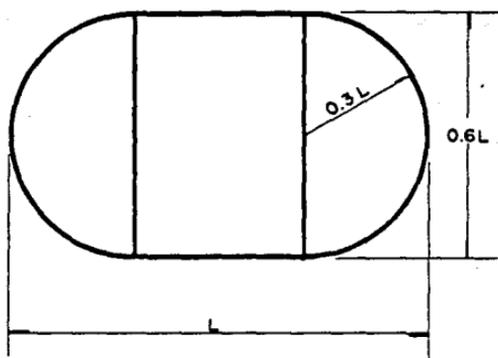
$$C = 365 \left(\frac{(1 + r)^n - 1}{r} \right)$$

Donde:

C = Es el factor de proyección de tránsito a futuro.

r = Crecimiento anual del tránsito.

n = Es la vida útil de la obra



Impresión del neumático, describiendo rectángulo y semicírculos

Fig. N^o 19

Al tratar el capítulo denominado estructuración de pavimentos, se explicará con mayor claridad la manera en que se utiliza la forma de la prueba porter modificada para el cálculo de espesores de un pavimento flexible.

ESTRUCTURACION DE
PAVIMENTOS FLEXIBLES
Y RIGIDOS



V.- ESTRUCTURACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RIGIDOS.

A).- Generalidades.- Para llevar a cabo la estructuración de los pavimentos, es necesario calcular los espesores de las capas componentes, lo cual se realiza haciendo uso de los Nomogramas que las oficinas de caminos han elaborado con base en -- las consideraciones de carácter teórico en una prueba de resistencia y en las observaciones y correlaciones de campo.

Estos Nomogramas sufren modificaciones a través del tiempo, conforme cambian las condiciones del tránsito a medida que se observa el comportamiento de los pavimentos construidos.

1).- Estructuración de Pavimentos Flexibles.- El cálculo de los espesores de las diferentes capas de la estructura de una -- obra vial, se lleva a cabo por medio de nomogramas total o par--cialmente empíricos, que aunque inicialmente se basen en un modelo matemático, se modifican a medida que se analizan los resultados que se van teniendo en la realidad, sin que necesariamente -- se tenga que esperar a que termine la vida útil de las obras, pero siempre en una determinada prueba de resistencia.

Con el avance de la tecnología, se ha considerado que lo -- más conveniente para el proyecto de pavimentos es determinar la -- intensidad de tránsito, con el número de ejes equivalentes en -- función de un vehículo estandar a través de la vida útil de la -- obra.

Existen varios métodos para realizar el cálculo de los espesores de las capas que forman la estructura de un pavimento --- flexible, entre ellos podemos mencionar:

- a).- El método de la AASHTO.
- b).- Método de HVEEM.
- c).- Método triaxial de Texas.

d).- El Método del Cuerpo de Ingenieros.

Estos Métodos antes mencionados, nos dan unos espesores mayores a los reales, por lo que basados en la experiencia obtenida por los Ingenieros Projectistas, el Método más adecuado y el que se tratará en este trabajo será el de Porter (modificado).

En la tecnología que se presenta en las obras viales existentes el tipo de espesores de carpeta que se recomiendan, son como se indican a continuación:

Vehículos Pesados.	Tipo y espesores de carpeta asfáltica.
Menos de 500	Carpeta de un riego.
De 500 a 2000	Carpeta de dos riegos o -- mezclas en el lugar de 4 a 6 cm. de espesor.
De 2000 a 3000	Carpeta de tres riegos o -- mezclas en el lugar de 6 a 10 cm. de espesor.
Más de 3000	Carpeta de concreto asfáltico de 15 cms. sobre base hidráulica; o de 5 cm. mínimo en base rigidizada.

Por otro lado, cuando se recomiende el uso de concreto asfáltico, se deberá proyectar una base rigidizada, a menos de que el espesor de carpeta sea del orden de 15 cms. de esta manera, se evitarán agrietamientos en la superficie de rodamiento.

La prueba Porter modificada (Padrón), consiste en obtener el valor relativo de soporte de un espécimen compactado estáticamente para obtener la combinación de peso volumétrico y humedad

que el Proyectista crea conveniente, de acuerdo a las condiciones críticas que se esperan en la obra, el espécimen no se saturará.

De acuerdo a los resultados de la investigación ya reseñados, se dieron las siguientes recomendaciones para elaborar los especímenes:

Condiciones de Zona	Grado de compactación	Humedad
Zonas de baja precipitación y buen drenaje (NAF > 5m.)	100%	Wo.
Zonas de condiciones regulares de drenaje y precipitación (5m. < NAF. > 1 m.)	95%	Wo + 1.5%
Zonas con alta precipitación y mal drenaje (NAF < 1 m.)	90%	Wo + 3.0%

El grado de compactación (Gc) es con respecto al PVSM obtenido en la prueba de laboratorio de acuerdo al tipo de material Wo es la humedad óptima correspondiente.

Se hace notar que las condiciones de drenaje son de la zona que atraviesa la obra vial y no se refiere al drenaje artificial el cual en todos los casos debe estar perfectamente solucionado.

De hecho, para cada sondeo se necesitaría solo un espécimen con las características que marque el Proyectista; sin embargo, conviene en un banco de materiales, que cuando menos en la mitad de los sondeos se efectúen las tres combinaciones indicadas, a fin de comprobar que los ensayos estén bien realizados y para -- que el Proyectista tenga una idea de cambio en las características del material al variar el peso volumétrico y la humedad.

Para realizar esta prueba se requiere con anticipación, conocer el PVSM y la Wo. del material, así como su humedad inicial.

Una vez compactado el material, de inmediato se coloca en la prensa para efectuar la penetración del espécimen, con lo que se puede calcular el VSR.

Teniendo ya los datos iniciales, las pruebas para su sondeo se realizan en menos de una hora, lo que muestra su facilidad y versatilidad para conocer la resistencia de los materiales que se utilizarán, muestreados en la obra o en los bancos de terracerías.

Cuando los materiales son de baja calidad y se encuentran en una zona de alta precipitación y mal drenada, últimamente se ha procedido a comparar el VSR obtenido de la prueba Porter Estándar, con el contenido de la prueba Porter Modificada y el menor de ellos se usa para proyecto.

En cada uno de los bancos para materiales de terracerías o de capa subrasante, se realizan tantos sondeos como sean necesarios, para conocer la calidad que tenga y su capacidad o volumen utilizable. Para cada sondeo se tendrá un VRS obtenido de la Porter modificada; debido a esto, si se toma el valor mayor de todos ellos, la obra estará subdiseñada para todos los demás valores menores; si se toma el menor, el cálculo estará sobre diseñado para todos los valores restantes.

El VRS de proyecto para un banco se acostumbra que sea el ochenta percentil de los valores obtenidos, o sea, aquel valor que es menor del 80% de los valores que se tienen y que es mayor del 20% de los restantes, con lo cual se podría pensar que se tiene un 20% de riesgo de que la obra falle; sin embargo, no es

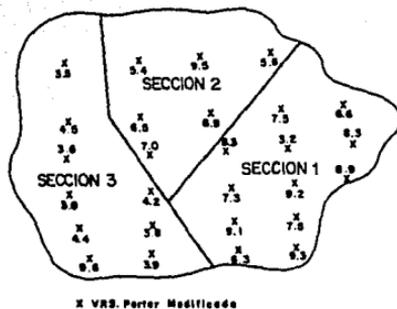


Fig. N.º 20.—Zonificación de un banco de acuerdo a los VRS de los diferentes sondeos.

Valores ordenados	Valores iguales o mayores	Porcentaje de valores iguales mayores
5.4	6	100.00
5.6	5	83.33
6.5	4	66.66
6.9	3	50.00
7.0	2	33.33
9.5	1	16.66

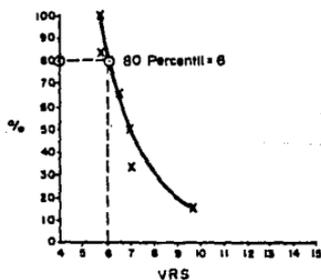


Fig. N.º 21.—V.R.S. tabulados de mayor a menor y porcentajes correspondientes en relación a la frecuencia para obtener el VRS de proyecto

así, ya que este valor es menor al medio y por otro lado existe la posibilidad de que el 20% de los valores menores se hayan obtenido de pruebas mal ejecutadas y que en realidad la calidad de los materiales sea mayor.

Para calcular el 80 percentil o sea el VRS de Proyecto, se procede como se indica enseguida.

a).- En una zona en donde puede ser posible obtener material de la calidad deseada, se hacen 3 o 4 sondeos preliminares, se efectúa el muestreo y en el laboratorio se realizan las pruebas de clasificación y de Porter modificada.

b).- Si el resultado de las pruebas indica que el material es adecuado para la capa que se trata de construir, se realiza un mayor número de sondeos en forma de cuadrícula, se muestrean los materiales y se les realizan las pruebas de clasificación y de Porter modificada con el resultado de las pruebas, en primer lugar se conoce y delimita la extensión del banco y enseguida se calcula el o los VRS de proyecto.

c).- Si es posible, se hace una zonificación del banco, de tal manera que en cada sección se tengan VRS del mismo orden de valores mayores e iguales a cada uno de ellos.

d).- Se forma una gráfica colocando en las abscisas los VRS y en las ordenadas los porcentajes calculados y se encuentra el VRS correspondiente al 80% que corresponde al 80 percentil, que es el VRS de Proyecto de esa Sección.

Para el cálculo de espesores basados en esta prueba de Porter modificada, de acuerdo con la experiencia obtenida durante la investigación ya mencionada, se formó un nomograma en el que se tomaba el tránsito mezclado en un sentido de circulación, ob-

teniendo de tal forma el tránsito equivalente en función de - - ejes de 8.2 toneladas y extrapolando hasta 200 millones de ejes, que resulta exagerado, pues cuando en un carril se llega a una cantidad del orden de 125 millones de ejes equivalentes que han transitado sobre él, durante 15 o 20 años, lo más probable es - que ya se haya llegado a su capacidad y ese carril no es forzoso que requiera un mayor espesor de pavimento, sino que se necesita que el camino cuente con un mayor número de carriles.

El espesor D que se obtiene en las ordenadas de las gráficas, corresponde al necesario desde la capa en estudio, que puede ser desde el terreno natural, o cualquier nivel del cuerpo del terraplén o de la capa subrasante, hasta la superficie de rodamiento; es decir, ya está incluido el espesor de la carpeta asfáltica. El espesor correspondiente es de material natural o grava.

De las gráficas antes mencionadas, para calcular los espesores de pavimento de acuerdo al método de la prueba Porter Modificada se requiere contar con el tránsito equivalente durante la vida útil del pavimento y los datos VRS de proyecto. Con el VRS de la parte superior del cuerpo de terraplén y el dato de tránsito se encuentra un espesor D_2 . La diferencia de estos dos valores es el espesor de la capa subrasante necesario para resistir las cargas; sin embargo, como ya se dijo, esta capa puede tener hasta cinco funciones además de las estructurales por lo que su espesor debe de ser de 30 cms. como mínimo; así si en el cálculo anterior se tiene un espesor menor, se debe aumentar, por especificaciones, hasta esa cantidad.

Solo en ocasiones, cuando el material del cuerpo del terraplén es de baja calidad y el tránsito intenso, al efectuar el -- cálculo anterior se pueden tener espesores de capa subrasante mayores de 30 cms. lo anterior debe evitarse y en el caso que se -

GRAFICA PARA LA ESTRUCTURACION DE UNA OBRA VIAL EN BASE A VRS OBTENIDO DE PRUEBA PORTER MODIFICADA

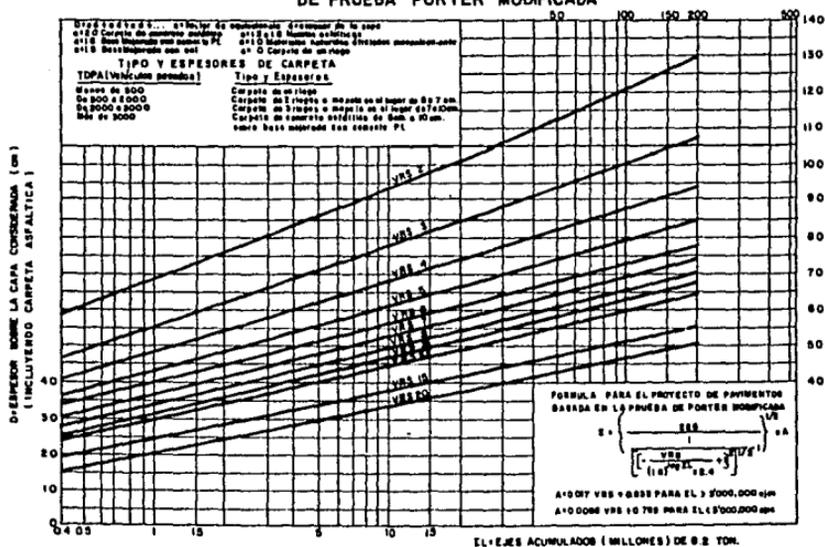


Fig N°22-Gráficas de proyecto por el método de Porter modificado (Padrón), con base en tránsito equivalente (8.2 ton) acumulado durante la vida útil de la obra

tengan buenos materiales en el cuerpo de terraplén se puede reducir el número de pruebas de resistencia para proyecto en estos materiales bajo la capa subrasante y solo realizar algunas por seguridad.

El cálculo del espesor de las capas de pavimento, o sea el de la carpeta, de la base y la subbase, se hace a partir del espesor D_2 que corresponde a material de grava o natural. Como al utilizarse materiales estabilizados en forma química o con asfalto, estas tienen mayor resistencia que los naturales, el espesor de la capa en que intervienen se puede reducir para ello, se recomienda utilizar los factores de equivalencia siguiente:

Tipo de Material	Factor de Equivalencia.
Carpeta de concreto asfáltico.	2.0
Carpeta de mezcla en el lugar de buena calidad.	1.8
Carpeta de mezcla en el lugar de regular calidad.	1.3
Base estabilizada con cemento Portland.	1.8
Base estabilizada con cal.	1.3
Carpeta de un riego o dos riegos.	1.0
Material natural.	1.0

Estos valores son tentativos y semejantes a los que utilizan algunas agencias extranjeras. Se hace la aclaración que algunos Proyectistas no utilizan estos valores y colocan el espesor de pavimento que se obtiene de la gráfica de proyecto sin hacer ninguna reducción, con lo que contienen un mayor factor de seguridad pero también un costo mayor.

Con los valores anteriores podemos hacer uso de la siguiente igualdad:

$$D_2 = a_1 d_1 + a_2 d_2 + a_3 d_3$$

En la que:

D_2 = Espesor de grava necesaria en el pavimento, obtenido de la gráfica de proyecto, utilizando el VRS de proyecto de la capa subrasante.

a_1, a_2, a_3 = factores de equivalencia correspondiente a la carpeta, base y subbase de acuerdo con la calidad de materiales que se usen.

d_1, d_2, d_3 = Espesores reales de carpeta, base y subbase.

El tipo y espesor de la carpeta se recomienda en la gráfica de proyecto, de acuerdo al tránsito diario promedio anual ACTUAL de vehículos con peso mayor a 5 toneladas, en dos sentidos, es decir, se descartan los automóviles y camiones de carga con 5 toneladas o menos. Lo anterior se hace, para que sobre todo en caminos nuevos, la carpeta se vaya construyendo por etapas y en cada una de ellas se tenga la posibilidad de corregir pequeñas fallas que se vayan presentando en la estructura; si al principio el tránsito es muy bajo, se puede construir una carpeta de un riego, cuando aumente el tránsito, quizá a los cinco años de la puesta en servicio, se colocaría una carpeta de mezcla en el lugar y al final, cuando se requiera, por ejemplo, a los 10 o 12 años, se coloca una carpeta de concreto asfáltico, para lo cual es probable que la capa asfáltica actual se disgregue y se incorpore a la base a la cual se rigidizará con cal o cemento Portland para darle al concreto asfáltico una sustentación adecuada.

Con estas recomendaciones, que aparecen en la gráfica de proyecto se tienen d_1 y a_1 ; para la elección del espesor y calidad de la base, se debe tomar en cuenta si se necesita rigidizar o no y que producto se utilizará para ello; además, se deben considerar los espesores mínimos, que para base y subbase, por los procedimientos de construcción son de 12 cms., se hace la

aclaración que en ocasiones no se requiere subbase, en cuyo caso no se colocará; si se necesita, tendrá como mínimo el espesor indicado. En caminos con tránsito diario promedio pesado actual mayor de 5000 vehículos, el espesor de base mínimo será de 20 cms.

Por otro lado si el cálculo nos indica que el espesor de subbase es del orden 8 a 10 cms. lo más conveniente será aumentarlo a los 12 cms. pero si es menor quizá sea mejor adicionarse al espesor de base, haciendo las correcciones por calidad y no construir aquella capa. El espesor de la subbase se calcula con la igualdad:

$$d_3 = D_2 - a_1 d_1 - a_2 d_2$$

Es pertinente insistir en que la gráfica de proyecto solo se puede aplicar con datos procedentes de la prueba Porte Modificada (padrón), ya que aunque existen otras tecnologías que utilizan el VRS como elemento de resistencia, los valores cambian al variar la forma de obtención.

Por último, a continuación se enumeran los factores de equivalencia para los tipos de vehículos autorizados a circular en la República Mexicana.

Para la mejor interpretación de la prueba Porter Modificada, se detalla un ejemplo de cálculo.

Tipo de vehículo	Peso (Ton.)	Coefficiente de Equivalencia a eje de 8.2 toneladas.
Automóvil	2	0.003
Autobús	15	1.80
Autobús	20	2.00
Autobús	25	2.30
Camión	5	0.06
Camión	15	1.80
Camión	30	4.20
Camión	40	5.20
Camión	50	6.40
Camión	60	7.30
Camión	70	8.10

Ejemplo:

Para la construcción de un tramo de camino de dos carriles, se realizaron sondeos en los bancos para el cuerpo de terraplén y de capa subrasante; para cada uno de ellos se obtuvo el VRS de proyecto, correspondiente al 80 percentil, teniéndose los siguientes datos:

VRS de proyecto para el cuerpo del terraplén: 6%
 VRS de proyecto para capa subrasante: 8%

El TDPA inicial será de 6,840 vehículos con la siguiente composición:

Vehículos con menos de 15 toneladas	40%
Autobuses de 20 toneladas.	10%
Camiones de 20 toneladas.	20%
Camiones de 25 toneladas	25%
Camiones de 40 toneladas.	15%

Periodo de diseño de 15 años.

Tasa de incremento anual del tránsito 7%

Resolución:

a).- Los datos anteriores se registran en la tabla correspondiente (anexa); se calcula el TDPA para el carril de diseño que en este caso, por ser un camino de dos carriles es del 60% del TDPA en dos sentidos.

$$TDPA_{C_d} = 60\% \times TDPA = 6,840 \times 0.6 = 4,104 \text{ Veh.}$$

b).- Se calcula el factor de proyección del tránsito futuro C, por medio de la fórmula que aparece en la hoja de registro - de datos de la Prueba de Porter Modificada.

$$C = \frac{(1 + r)^n - 1}{r} \times 365$$

Donde:

r = Taza de crecimiento anual en %

n = Período de diseño, años

$$\text{Por lo que: } C = \frac{(1+0.07)^{15} - 1}{0.07} \times 365 = 9172$$

c).- Se calculan los datos de la columna (multiplicando el TDPA en el carril de diseño, por los porcentajes de la composición del tránsito, que se tienen en la columna 2 y los de la columna 3 por los factores de equivalencia, que para cada tipo de vehículo corresponda para obtener los ejes correspondientes de - 8.2 Ton.) Se hace la suma de la columna 5 que se multiplica por el factor de proyección, futuro (c), que nos dará el tránsito -- acumulado en ejes 8.2 Ton., al final de la vida de proyecto.

d).- Con el dato anterior y el VRS de proyecto del cuerpo - del terraplén, se obtiene el espesor necesario desde la parte inferior de la capa subrasante hasta la superficie de rodamiento, - utilizando la gráfica de proyecto D, con el mismo dato de tránsito , pero ahora con el VRS de proyecto del material de capa sub-

rasante y la misma gráfica, se obtiene el espesor del pavimento (subbase, base y carpeta), D_2 .

Si: VRS del Cuerpo del Terraplén = 6%
 VRS de la Capa Subrasante = 8%
 Tránsito acumulado en ejes de 8.2 Ton. 97'000,000 de
 la gráfica de proyecto:

$D_1 = 80$ cms.

$D_2 = 68$ cms.

e).- Con los valores anteriores se calcula el espesor de la capa subrasante $D_{cr} = D_1 - D_2$; este valor, debido a las funciones que tiene esta capa además de las estructurales debe ser de 30 cms. como mínimo.

$D_{csr} = 80 - 68 = 12$ cms.

f).- Se efectúa el cálculo de las capas de pavimento; se --
 procede, suponiendo un porcentaje de vehículos ligeros (menos de 5 Ton.) y el porcentaje que queda de vehículos pesados se multiplica por el TDPA, y se siguen las recomendaciones correspondientes al tránsito de vehículos anotados con anterioridad.

Supongase un 25% de vehículos con menos de 5 toneladas; por lo tanto: $.75 \times 6,840 = 5,130$ vehículos / día. de donde según -- las recomendaciones citadas con anterioridad, para más de 3000 -- vehículos pesados. actuales se requiere carpeta de concreto asfáltico de 7 a 10 cms. y con una base rigidizada.

Por lo que en este caso; se recomendará una carpeta de concreto asfáltico de 7 cms. y sobre una base de material rigidizado con cal. El espesor mínimo de la base es de 15 cms.

Con los datos anteriores se procede a encontrar los factores de conversión de grava, y a calcular el espesor de la subbase, con la fórmula:

**CALCULO DE ESPESORES PARA PAVIMENTO FLEXIBLE
PORTER MODIFICADA**

CARRETERA (OBRA): CARRETERA DE DOS CARRILES FECHA: _____
 TRAMO: _____
 SUBTRAMO: _____

DATOS DE PROYECTO:

1.- Tránsito Diario promedio anual en ambos sentidos 5,840
 2.- Tránsito Diario en el carril de diseño (60 %) 3,104
 3.- Período de Diseño (años) (n) 15
 4.- Tasa de crecimiento anual (r) 3%
 5.- Factor de conversión (c) 9,172

CALCULO DE TRANSITO EQUIVALENTE

TIPO DE VEHICULO TON. (1)	DISTRIBUCION DEL TRANSITO EN % (2)	DISTRIBUCION DEL TRANSITO (VEHICULOS) (3)	COEFICIENTE DE EQUIVALENCIA (4)	EJES SENCILLOS EQUIVALENTES DE 8.2 TON. (5)
AUTOMOVIL - 5	40	1,641	1.60	2,626
AUTOMOVIL - 20	10	471	2.00	822
CAMION - 20	20	822	2.10	1,720
CAMION - 25	15	615	3.50	2,153
CAMION - 40	15	615	5.20	3,198
SUMA:				10,525
Tránsito acumulado al final de la vida útil Factor de conversión X suma				96'535,300

CALCULO DE ESPESORES

1.- VRS de diseño de las terracerías		63
2.- Índice de espesor (cm)		80 cm.
3.- VRS de diseño de la capa subrasante		83
4.- Índice de espesor (cm)		68 cm.
5.- Estructuración del pavimento en espesores equivalentes:	CARPETA DE	7 cm.
	BASE (BM)	15 cm.
	SUB-BASE (SB)	37.5 cm.
	SUBRASANTE (SR)	12 cm.
6.- Estructuración del pavimento en espesores reales:	CARPETA DE	7 cm.
	BASE (BM)	15 cm.
	SUB-BASE (SB)	37 cm.
	SUBRASANTE (SR)	30 cm.

SUMA :

$$c = 365 \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$

$$\text{Espesor de pavimento} = a_1 d_1 + a_2 d_2 = a_3 d_3$$

Para la carpeta de concreto asfáltico, $f_{cg} = 2.0$
 y el de la base de material rigidizado $f_{cg} = 1.5$

Por lo tanto: $68 \text{ cm.} = (2)(7) + (1.5) + S_b (1)$

$$S_b = 68 - 36.5 \text{ m} = 31.5 \text{ cm.}$$

g).-Con estos datos, se procede a la estructuración final de las capas del pavimento.

Capa subrasante = 30 cms.

Subbase = 32 cms.

Base rigidizada con cal 15 cms.

Carpeta de concreto asfáltico = 7 cms.

Actualmente, en otros países se utilizan métodos que son semejantes al desarrollado con anterioridad (patrón) en base al VRS - obtenido en muestras compactadas en forma estática, lo cual -- prueba su eficiencia.

2).- ESTRUCTURACION DE PAVIMENTOS RIGIDOS.

Los pavimentos rígidos están formados por una losa de concreto hidráulico y la subbase, que le sirve de apoyo y se construye sobre la subrasante.

Antiguamente, la losa se construía sobre las terracerías sin importar la calidad que tuvieran, esto dio lugar a que un gran número de pavimentos fallaran al aparecer grietas transversales o longitudinales cercanas a las orillas; al investigar el fenómeno se encontró que la causa de ellas había sido lo que se ha dado por llamar "fenómeno de bombeo", que consiste en el ascenso de materiales finos y húmedos hacia la superficie de rodaje a través de las juntas, en virtud de la deformación y recuperación de las losas en las orillas, al paso de los vehículos. A partir de este estudio, se especificó que la losa debía colocarse sobre un material granular, que cuando menos cumpliera las normas para subbase de pavimento en un principio no se tomaba en cuenta su espesor; sin embargo, en la actualidad ya se considera, pues se ha visto que el espesor de la losa se puede disminuir, sobre todo si la subbase se estabiliza con cemento Portland.

Con respecto al fenómeno de bombeo, se concluye entre otras cosas, que en el 80% de losas de pavimento rígido que se encontraron con fallas, éstas habían sido causadas por la falta de subbase.

El cálculo del espesor de las losas se realiza por medio de nomogramas que elaboran las Asociaciones de Productores de Cemento Portland, tomando en cuenta los esfuerzos a que están sometidos, que principalmente son los siguientes:

Esfuerzos debido al tránsito.
 Esfuerzos debidos a la temperatura.
 Esfuerzos debido al apoyo.

Los esfuerzos debidos al tránsito se han estudiado en tres posiciones de las llantas: Cuando la huella de una de ellas es tangente en forma simultanea a dos orillas. O sea que la llanta está en una esquina, en este caso, la losa trabaja en cantiliver y los esfuerzos principales de tensión se presentan haciendo un ángulo de 45° con respecto a las orillas y en la parte superior, en este caso los esfuerzos se calculan con la siguiente fórmula:

$$\sigma_c = \frac{3P[1 - (a)1.2]}{d^2}$$

La siguiente posición estudiada es cuando la huella de la llanta es tangente solo a una orilla de la losa, en este caso, el esfuerzo principal de tensión es paralelo a la orilla y se presenta en la parte inferior; la magnitud de este esfuerzo se calcula con la siguiente fórmula.

$$\sigma_c = \frac{0.572 P [4 \log_{10} \frac{T}{b} + 0.359]}{d^2}$$

Por último se han estudiado los esfuerzos de la losa de concreto hidráulico cuando la llanta está en el centro de ellas. En esta posición, los esfuerzos máximos de tensión se desarrollan en el lecho inferior de la losa y en forma radial y su valor se obtiene con la fórmula:

$$\sigma_i = \frac{0.316 P [4 \log_{10} \frac{T}{b} + 1.069]}{d^2}$$

$$b = \sqrt{1.6a^2 + d^2} - 0.675 d$$

En estas igualdades aparecen los siguientes términos:

- P = Carga transmitida a la losa a través de la llanta (lb)
 a, b = Semi ejes de la elipse que representan la huella de la llanta.
 a = Corresponde al eje paralelo a la orilla o junta (Plg).
 d = Espesor de la losa (plg.).
 e = Módulo de elasticidad del concreto (lb/plg).
 u = Relación de Poisson del concreto = 0.15
 R = Módulo de reacción (lb/plg³).
 T = Radio de rigidez relativa (plg).

$$T = \frac{Ed^3}{12(1 - u^2) R}$$

Cuando el cambio de temperatura es igual en la parte superior de la losa, se presentan los fenómenos de dilatación y contracción, pero si se encuentra en forma simultanea a diferentes temperaturas, se tiene un gradiente que hace que se presenten alabeos. Si la temperatura de la superficie es menor que en la parte inferior. El alabeo es hacia arriba o sea que la superficie de rodamiento se torna cóncava; en el caso contrario, el alabeo es hacia abajo, o sea la superficie de rodamiento es convexa.

En estos casos los esfuerzos producidos por la temperatura no son importantes, siempre que no se agriete la losa; sin embargo, los esfuerzos debidos al tránsito se modifican, ya que la losa no está apoyada en forma continua, apareciendo en el -- primer caso los esfuerzos de tensión en la parte superior y en el segundo caso en la parte inferior. Estos fenómenos de alabeo son alternados durante el día y la noche, por lo que tienen las dos situaciones, y se ha visto que cuando se tiene la superficie de rodamiento cóncava, los esfuerzos se aumentan un 20% en relación de las losas apoyadas en forma continua y que en el caso --

contrario es menos crítico; también se ha encontrado que el --- efecto es mayor cuando la subbase es más rígida.

En cuanto a los esfuerzos debidos al apoyo, pueden ser por la fricción que se desarrolle entre la losa y la subbase, y se - presentan por disminuirse la libertad de movimiento de la losa, teniéndose esfuerzos de tensión que se pueden calcular con la fórmula:

$$F = W_c \cdot \frac{L}{2}$$

Donde:

W = Peso de la losa por unidad de superficie. (Kg/m²).

L = Longitud de la losa (m)

C = Coeficiente de fricción = 1.5

También se pueden desarrollar esfuerzos en la losa cuando se tienen expansiones diferenciales en las capas de apoyo, lo más conveniente es evitar estos esfuerzos utilizando materiales de baja plasticidad y lo más homogéneos posible; el peso de la losa y de la subbase también ayudan a que se tengan menores expansiones de las terracerías.

Para efectuar el cálculo del espesor de las losas, se requiere conocer la resistencia del concreto y la capacidad de so porte de las capas de apoyo.

El parametro de resistencia del suelo que se acostumbra para el concreto hidráulico en pavimentos rígidos es el módulo de ruptura (MR) que se obtiene de la prueba de tensión por flexión, que consiste en llevar a la ruptura a una viga curada durante 28 días, con sección transversal de 225 cm² (15 cm. por lado) y longitud de 60 cms., la carga se proporciona en 2 puntos de apoyo en la parte superior de la viga y dos apoyos en la parte inferior en los tercios; el módulo de ruptura se calcula con la fórmula:

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

De donde:

P = Carga de ruptura.

L = Distancia entre apoyos inferiores.

b = Ancho de la viga.

d = Peralte de la viga.

La prueba de resistencia que se realiza a las capas de apoyo, es la prueba de placa con la que se encuentra el módulo de reacción (K). Para realizar esta prueba, sobre la capa subrasante se coloca una serie de placas con diámetros diferentes; esta cantidad de placas se requiere para que las anteriores no sufran flexiones y la presión que reciba el terreno sea uniforme. Sobre la placa superior se coloca una carga tal, que la presión que transmita la placa inferior sea de 0.7 Kg/cm²; alrededor, sobre esta placa se colocan cuando menos tres extensómetros para medir la flexión producida. El Módulo de reacción es igual a la relación de la presión proporcionada entre el promedio de las deflexiones medidas (q).

$$K = \text{Módulo de reacción} = \frac{P}{q} = \frac{0.7}{q}$$

El módulo de reacción de la subrasante se corrige de acuerdo al espesor y calidad de la base, para lo cual se utilizan las tablas correspondientes.

Al observar estas gráficas, se concluye que tiene mucha influencia al rigidizar la base, puesto que el valor de K aumenta de un modo considerable, lo cual se corroborará con el ejemplo de cálculo de espesores que se ilustrará adelante.

MÉTODOS DE PROYECTO DE PAVIMENTOS RIGIDIZADOS

La mayoría de las gráficas de cálculo de espesores de losa para pavimentos rígidos, se han elaborado en base a la resistencia de trabajo del concreto hidráulico, aunque explícitamente -- también toman en cuenta la fatiga, pues indica en ellos la vida útil que se puede esperar al aplicarlos.

El Método que se va a explicar enseguida es el Método de la Asociación de Cemento Portland (PCA), y que está en base a la energía potencial de la losa que consume cada uno de los diferentes tipos de ejes de los vehículos y el número total de ejes que se espera transiten durante la vida útil de la obra.

Para efectuar los cálculos necesarios se hace uso de una forma en la que en primer lugar se anotan los datos necesarios -- que son: nombre del camino y tramo; el módulo de reacción a nivel de la subrasante; espesor y tipo de subbase.

Enseguida se tiene el valor de la K combinada de acuerdo a los datos de la base y factor denominado de seguridad por carga -- (FSC) que se elige de acuerdo a la obra a construir.

TIPO DE OBRA	FSC	ESPESOR (cms.)
Carreteras de primer orden autopistas y otras -- con flujo interrumpido de tránsito y gran volumen de vehículos pesados.	1.2	30 - 40
Carreteras y avenidas con volúmenes moderados de -- vehículos pesados.	1.1	25 - 35
Carreteras y calles residenciales y otras con volúmenes pequeños de -- vehículos pesados.	1.0	20 - 30

En la columna 2, se anota el resultado de multiplicar los pesos de los ejes de la columna 1 por el factor de seguridad -- por carga (FSC), con lo cual se toma en cuenta el impacto de -- los vehículos.

Para iniciar el cálculo, se sugiere un espesor de la losa de acuerdo con el tipo de obra, como se indica en la tabla anterior, en la que se recomiendan diversos espesores, el espesor -- que se supone, se revisa por la fatiga de acuerdo a los siguientes cálculos:

Haciendo uso de las gráficas correspondientes, se encuentran los esfuerzos que cada eje provoca en la losa los cuales -- se anotan en la columna 3. Para utilizar estas gráficas, una de las cuales es para ejes sencillos y la otra para ejes Tandem, se entra en las abscisas de la familia de curvas inferiores con -- las cargas que se tienen en la columna 2; se asciende en este --

nomograma, llevando una paralela a las líneas inclinadas hasta llegar a la horizontal correspondiente al módulo de reacción (K) combinado; desde este punto se lleva una vertical hasta interceptar en la familia de curvas de la parte superior de la gráfica, la correspondiente al espesor de losa supuesto; con este punto se lleva una horizontal para, en las ordenadas, encontrar el valor del esfuerzo provocado.

Los datos de la columna 4 se obtienen dividiendo los datos de la columna 3 (esfuerzos) entre el módulo de ruptura del concreto (MT); este resultado se anota en decimales redondeados a las centésimas.

Con estas cantidades se toman para cada eje, el número de pasadas que provocaría la falla de la losa si nada más fuera a utilizarse ese eje en la obra. El número de repeticiones permisibles se anota en la columna 5, en el renglón correspondiente al eje respectivo. Si la cantidad que aparece en la columna 4 es igual o menor a 0.5, en la columna 5 se anota la palabra indeterminado, lo cual indica que de ese o esos ejes podrían pasar cualquier número sin que en teoría llegara a fallar la losa.

A continuación, se da la relación de esfuerzos y el número de repeticiones admisibles que le corresponde a dicho valor en la siguiente tabla.

De esta manera en la columna 5 se tiene el número de pasadas de cada eje que consumiría el 100% de energía potencial de la losa; sin embargo, en la columna 6 se tiene la posible cantidad de cada uno de los ejes que hará uso de la obra en la vida útil del camino, por lo que dividiendo los datos de esta columna entre los de la columna 5, multiplicada por 100, se tendría el porcentaje de energía o fatiga que consumiría cada eje; este resultado se colocaría en los renglones correspondiente de la co-

lumna 7, la suma de esta columna tanto de los ejes sencillos como de los Tandem, nos dá la energía que consumirían todos ellos.

RELACION DE ESFUERZOS	NUMERO DE REPE TICIONES PERMI SIBLES. (MILES)	RELACION DE ESFUERZOS	NUMERO DE RE PETICIONES - PERMISIBLES- (MILES)
0.50	INFINITAS	0.65	8
0.51	400	0.66	6
0.52	300	0.68	4.5
0.53	240	0.69	3.5
0.54	180	0.70	2.5
0.55	130	0.71	2
0.56	100	0.72	1.5
0.57	75	0.73	1.1
0.58	57	0.74	0.85
0.59	42	0.75	0.65
0.60	32	0.76	0.49
0.61	24	0.77	0.36
0.62	18	0.78	0.27
0.63	14	0.79	0.21
0.64	11	0.80	0.16
		0.81	0.12
		0.82	0.09
		0.83	0.07

Si esta suma es cercana a 100%, quiere decir que el espesor de losa considerado es correcto; pero si el valor es menor, se tendrá que realizar otro y otros cálculos, disminuyendo ya -

sea el valor del módulo de ruptura, el espesor de la losa o la calidad de la subbase hasta que la columna 7 se encuentre entre el 80% y 100%. En caso de que el pavimento esté subdiseñado, o sea que el porcentaje total sea mayor a 100%, se aumentará el valor de las características señaladas para hacer los nuevos cálculos.

Se recomienda que el aumento o disminución del espesor de la losa sea del orden de 1.27 cms. ($\frac{1}{2}$ Pulg.); pero el Proyectista lo hará realmente de acuerdo a su experiencia y a la suma de la columna 7.

METODO DE LA ASOCIACION DE CEMENTO PORTLAND PARA CALLES Y AVENIDAS DE LAS CIUDADES.

Este es un Método simplificado para proyectar pavimentos rígidos de calles y avenidas de ciudades; los datos de resistencia son los mismos que en el Método anterior.

En cuanto al tránsito, en este solo se toman los vehículos comerciales que circularán sobre el pavimento al iniciarse el servicio; se proporcionan gráficas para diferentes tipos de avenidas y para vida útil de 30 a 50 años. Para retornos de fraccionamientos residenciales.

El tránsito puede obtenerse indirectamente conociendo el número de casas a las que da servicio la calle correspondiente.

Para el uso de las gráficas antes mencionadas, se encuentra con el número de vehículos comerciales en las ordenadas del lado izquierdo y se lleva una horizontal hasta cortar la curva que indica el MR del concreto, de este punto se traza una vertical hasta cortar la curva correspondiente a la "K" modificada y de ahí por medio de una horizontal se encuentra el espesor de la losa en las ordenadas del lado derecho.

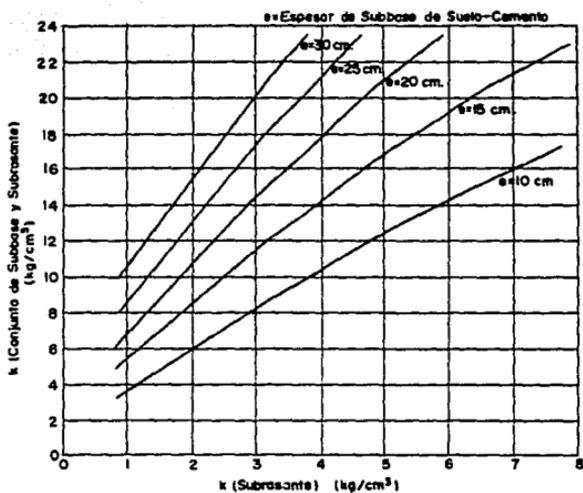


Fig. Nº 24-A.-Gráfica para obtener el módulo de reacción corregido en función del de la subrasante y el espesor de la subbase de material granular.

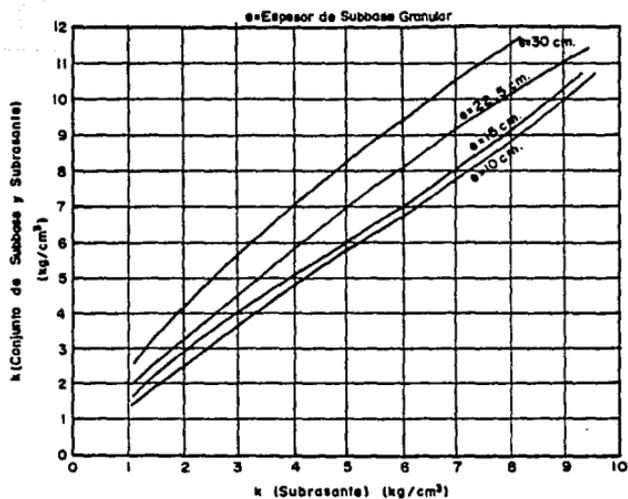


Fig. N° 24-B.- Gráfica para encontrar el módulo de reacción corregido para una subbase de acuerdo con el espesor de la subbase estabilizada con cemento Portland.

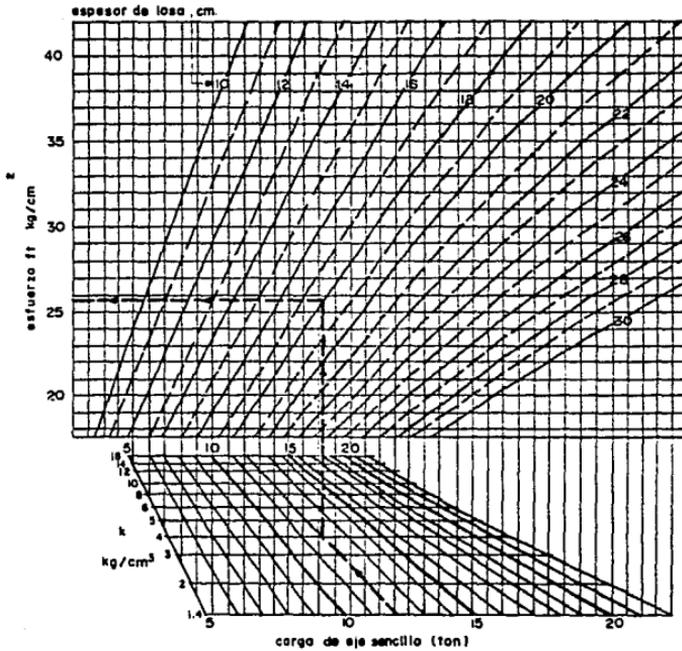


Fig. N^o 24-C.-Nomogramas para encontrar los esfuerzos que se causan a una losa de concreto hidráulico por ejes sencillos, en función de la carga aumentada por impacto, el módulo de reacción corregido y el espesor supuesto de losa (P. C. A.).

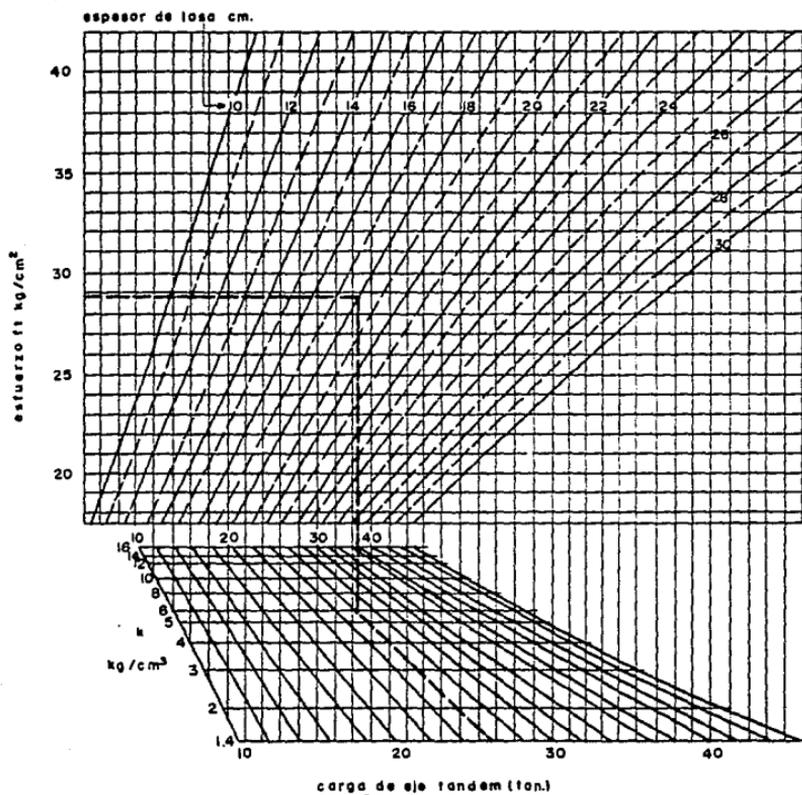


Fig. N^o 24-D.—Nomogramas para encontrar los esfuerzos que se causan a una losa de concreto hidráulico por ejes tandem, en función de la carga aumentada por impacto, el módulo de reacción corregida y el espesor supuesto de la losa (P.C.A.).

Para calcular el espesor de la losa de pavimentos rígidos de una manera más consisa a continuación se enumerará un ejemplo:

EJEMPLO:

Supongase que se proyectará una losa de pavimento rígido para un tramo de carretera de 2 carriles, con los siguientes datos:

K de la subrasante: 2.5 Kg/cm³.
Subbase de 10 cm. de material granular.
Factor de seguridad por carga; 1.2
Módulo de Ruptura: 35 Kg/cm².
Espesor de tanteo: 30 cms.

Se procede a llenar la forma correspondiente para el cálculo de espesores de pavimento rígido que se incluye con anterioridad, y los valores se toman de las gráficas correspondientes.

Cálculo del espesor de pavimento de concreto

Obras: AUTOPISTA Tramo: 0+000 al 5+000
 b. de la subbase: 4.0 kg/cm² tipo de sub-base: Material Granular (10cm.)
 c. camadas: 3 número de capas de seguridad por carga (PSC) 1.2
 Espesor de losa propuesta: 20 Cálculo de la ruptura propuesta (MR) 35 kg/cm²

Procedimiento:

1. Llene las columnas 1, 2 y 4, poniendo las cargas en orden decreciente.
2. Analice el espesor de las propuestas, completando las columnas 3, 4, 5 y 7.
3. Analice otros espesores de losa, variando el M.R., espesor y/o tipo de sub-base.

1	2	3	4	5	6	7
Cargas por eje (Kil) Ton	Cargas por eje X PSC (Kil) Ton	Esfuerzos (kg) kg/cm ²	Relaciones de esfuerzos	Repeticiones permitidas NR	Repeticiones propuestas NR	Resistencia a la fatiga construida %

Ejes sencillos

17.0	20.4	20.5	0.58	57000	3500	6.14
16.5	19.8	19.9	0.57	75000	7000	9.33
16.0	19.2	19.5	0.56	100000	9000	9.00
15.0	18.0	18.6	0.53	240000	30000	12.50
14.5	17.4	17.9	0.51	300000	70000	17.50

Ejes en tandem

25.0	30.0	19.5	0.56	100000	13000	13.00
24.5	29.4	19.0	0.54	180000	18000	10.00
24.0	28.8	18.8	0.53	240000	22000	9.17
23.0	27.6	18.4	0.52	300000	25000	8.34
22.0	26.4	18.0	0.51	400000	30000	7.50

Interpretación de resultados: En virtud de que la resistencia total de la fatiga acumulada no exceda el 125 %, se puede decir que los espesores propuestos para las capas subbase y losa, pueden ser utilizados en la construcción de la obra en cuestion.

Total = 102.40 %

TIPOS DE DRENAJE Y
DE ASFALTO



VI.- TIPOS DE DRENAJE Y ASFALTO

1).- Tipos de Drenaje:

Uno de los elementos que mayores problemas causa a los caminos, si no el que más es el agua, ya que en general, provoca la disminución de la resistencia de los suelos, por lo que se presentan fallas en terraplenes, cortes y superficies de rodamiento. Lo anterior, conduce a resolver el drenaje de tal forma, - que el agua se aleje lo más pronto posible de la obra. En consecuencia, podría decirse que un drenaje es el alma del camino.

A).- Consideraciones Hidrológicas Aplicables al Estudio del Drenaje de un Camino:

- a).- Cantidad y tipo de precipitación.
- b).- Ritmo y Precipitación.
- c).- Tamaño de la cuenca.
- d).- Permeabilidad de suelos y roca.
- e).- Declive superficial.
- f).- Condiciones de saturación.
- g).- Cantidad y tipo de vegetación.

B).- Clasificación del Drenaje.

Hablando de drenaje, podemos sitar en primer plano dos tipos del mismo, y que son:

a).- Drenaje natural.- Que es la facilidad que tiene el agua para moverse, ya sea superficial o subterráneamente.

b).- Drenaje Artificial.- Que es el conjunto de obras que nos sirven para captar, conducir y alejar el agua que sea perju-

dicual para la obra.

El Drenaje de Caminos se clasifica en superficial y subterráneo, según que el escurrimiento se realice o no a través de las capas de la corteza terrestre.

El Drenaje Superficial se clasifica, según la posición que las obras guardan con respecto al eje del Camino; en paralelo y transversal.

El Drenaje Longitudinal es aquel que tiene por objeto captar los escurrimientos para evitar que lleguen, al camino o permanezcan en él, de tal manera que no le causen desperfectos; -- quedan comprendidos dentro de este tipo las cunetas, contracunetas, bordillos y canales de encausamiento. Se llaman de drenaje longitudinal porque están situados más o menos en forma paralela al eje del camino.

El Drenaje Transversal es el que tiene por objeto dar paso expedito al agua que cruza de un lado a otro del camino, o bien, retirar lo más pronto posible el agua de su corona; quedan comprendidas en este tipo de drenaje los tubos, losas, cajones, bóvedas, lavaderos, vados, sifones invertidos, puentes y el bombeo de la corona.

De acuerdo a la dimensión del claro de las Obras de Drenaje Transversal, se ha convenido en dividir a estas en mayor o menor. El Drenaje Mayor es aquel que requiere obras con claro de más de 6 mts. A las obras de Drenaje Mayor se le denomina puentes y a las de Drenaje Menor, Alcantarillas.

C).- Materiales.

Los materiales que se utilizan en la construcción de las Obras de Drenaje de los caminos son los convencionales para este tipo de obras, es decir, Concreto hidráulico, Mampostería, -

Lámina de Acero, Acero Estructural, Morteros de Cal y Cemento, etc., Dentro de lo posible, se procurará utilizar el material de la región como puede ser la madera y la piedra braza.

D).- Tipos de Carga.

Para el proyecto estructural de las Obras de Drenaje, es necesario conocer el tipo de vehículo que se debe considerar. Para la elaboración de las especificaciones de carácter geométrico de caminos, se ha estimado conveniente utilizar las características del vehículo DE-427 con características de concentración MS-20 o sea un peso total de 15 toneladas inglesas, que equivale a un total de 18,144 Kg., 3,629 Kg. en las ruedas delanteras y 14,515 Kg., en las traseras.

Con estas cargas, se efectuaron los cálculos de los proyectos tipo de Alcantarillas y Puentes de la S.C.T.

E).- Cunetas.

Son canales que se hacen a los lados de la cama del camino en cortes y tienen como función interceptar el agua que escurre de la corona, del talud del corte y del terreno natural adyacente, para conducirla hacia una corriente natural o a una obra transversal para alejarla lo más pronto posible de la zona que ocupa el camino.

Para calcular el área hidráulica de las cunetas, será necesario tomar en cuenta las diferentes características del área por drenar. Se ha considerado suficiente para la mayoría de los casos la utilización de una sección transversal triangular cuya profundidad sea de 33 cms., ancho de 1 m. y con taludes de 3:1 del lado de la corona y del lado del corte, el que corresponda según el material que se encuentre. La longitud de ellas no debe ser mayor de 300 mts., si esto sucede, se deberá aumentar la sección de la misma o construir obras de alivio. Es conveniente re-

vestir las para evitar infiltraciones.

F).- Contracunetas.

Son zanjas que se construyen aguas arriba de los cerros de los cortes y tiene como finalidad interceptar el agua que escurre por las laderas y conducirla hacia alguna cañada inmediata o parte baja del terreno, evitando que al escurrir por los taludes los erosione o se aumente el caudal de las cunetas, lo que hace funcionar a estas como obras de alivio.

La sección de las contracunetas, generalmente es de forma trapezoidal y a fin de asegurar un buen funcionamiento se ha establecido, que las dimensiones sean de 80 cms., en la plantilla y 60 cm. de profundidad; la distancia de las contracunetas al borde del corte será como mínimo de 5 m. o una distancia igual a la altura del corte. Es de vital importancia que estas obras sean impermeabilizadas, para evitar infiltraciones evitando así las fallas de taludes por humedecimiento.

G).- Canales de Encauzamiento.

En terrenos sensiblemente planos, en donde el escurrimiento es del tipo torrencial y no existen causas definidas, es necesario construir canales que intercepten el agua antes de que llegue al camino y la conduzcan a sitios previamente elegidos para construir una obra de tipo transversal y efectuar el cruzamiento. La pendiente del canal deberá proyectarse tomando en cuenta, además, entre otros factores, el que la descarga se efectúe en el sitio preestablecido y, de tal manera, evitar la construcción de canales de salida de gran longitud; generalmente la pendiente usada en estas obras es de 0.50, y su sección tipo será de forma trapezoidal con 50 cms. de plantilla y una profundidad que dependerá de su longitud.

H).- Bombeo.

Consiste en proporcionar a la corona del camino, en las -- tangentes del trazo horizontal, una pendiente transversal del - centro del camino hacia los hombros y su función es la de dar - salida expedita al agua que cae sobre la corona y evitar en lo - posible que penetre en las terracerías.

I).- Vados.

Son estructuras superficiales del camino en el cruce con - un escurrimiento de agua efímera o permanente de tirante peque- ño. Por lo que se refiere al diseño hidráulico, el vado tendrá - una longitud limitada por el nivel de aguas máximas excepciona- les ya que no debe haber obstáculos al curso del agua y de sus - arrastres.

En cuanto al proyecto estructural se tendrá en cuenta que - el vado forma parte de la superficie de rodamiento del camino, - sujeta a la acción de la carga viva y del agua corriente con -- cuerpos flotantes y en suspensión. Para soportar estas acciones es conveniente, en general diseñar el vado con una sección de - mampostería de 3ra. junteada con mortero de cemento, de espesor - mínimo de 30 cms., y un ancho de 3.50 m.

J).- Alcantarillas.

Son estructuras de forma diversa que tienen la función de - conducir y desalojar lo más rápidamente posible el agua de las - hondonadas y partes bajas del terreno que atraviezan el camino. Por la forma de su sección y el material de que están construi- das éstas estructuras de drenaje menor pueden clasificarse en - tubos, bóvedas, losas sobre estribos y cajones. Están siempre en el cuerpo de las terracerías.

A diferencia de los vados, donde el régimen hidráulico no se -

altera, en las alcantarillas hay un estrechamiento del cauce, - que aunado al sujeto de caudal por la concentración de volu--
 mes al ser recolectada el agua por las obras de tipo longitudi--
 nal, hace que se aumente su velocidad. Este fenómeno puede pro--
 vocar erosiones tanto a la entrada como a la salida de las - -
 obras. Se mejora la función de las alcantarillas mediante una -
 estructura de transición, a la entrada y salida del conducto.

K).- Diferentes tipos de Alcantarillas.

a).- Tubos.- Son alcantarillas de sección interior usualmen--
 te circular, cuyo diámetro va desde 75 cms., hasta 1.5 mts. Los
 materiales que se usan para su construcción, son generalmente;-
 concreto simple o armado y lámina acanalada.

Estos tubos necesitan un espesor de material de 60 cms. o--
 la mitad del diámetro, en su parte superior llamado "Colchón",-
 ya que a diferencia de otros tipos de Alcantarillas no pueden -
 quedar a nivel de subrasante.

b).- Bóvedas.- Son estructuras cuya sección transversal in--
 terior está formada por dos estribos de mampostería de 3ra. jun--
 teados con mortero cemento 1:5, y un arco de mampostería en los
 lados y de concreto hidráulico de $f'c=100$ Kg./cm². en el centro
 llamado "Clave", dicho arco con un ancho medio mínimo de 35 --
 cm. También llevan una plantilla o zampeado en el piso y dente--
 llones, así como un colchón al igual que las Alcantarillas tubu--
 lares, el cual es de 1. mts. de espesor como mínimo.

c).- Losas sobre Estructuras.- Son estructuras formadas por -
 dos muros de mampostería de 3ra. junteados con mortero de cemen--
 to 1:5, llamados estribos, sobre lo que se apoya una losa de --
 concreto armado; cabe mencionar que cuando la resistencia del -
 terreno es baja se usan estribos mixtos, con el muro de mampos--
 tería y el cimientado de concreto.

En el fondo del cauce, se necesita una plantilla o zampeado para evitar la erosión del fondo; a la entrada y a la salida se pueden requerir dentellones dependiendo del caudal por drenar.

Estas Obras no necesitan "Colchón".

d).- Cajones.- Son estructuras de sección rectangular de construcción excepcional en los caminos por tratarse de obras con paredes, recho y piso de concreto armado, cuya construcción requiere cuidados especiales. Trabajan en conjunto como un marco rígido que absorbe el peso y empuje del terraplén, la carga viva y la reacción del terreno.

Tanto las losas como los muros son esbeltos y de poco peso. El conjunto tiene una amplia superficie de sustentación.

L).- Secuela del Proyecto de Alcantarillas.

El proyecto de una alcantarilla toma en cuenta los siguientes factores:

- a).- Ubicación de la obra y proyecto de la plantilla.
- b).- Cálculo del área hidráulica necesaria.
- c).- Elección del tipo de obra.
- d).- Cálculo dimensional y estructural.
- e).- Elaboración del funcionamiento del drenaje en tramos de 5 kms.

Es conveniente, que el cálculo del área hidráulica se lleve a cabo por medio de la fórmula de Talbot, ya que esta es la más usada y consiste en:

$$a = 0.183 CA^3/4.$$

A = área de la cuenca por drenar (ha)

C = es una constante que depende de la facilidad de movi---

miento del agua.

a = al área hidráulica necesaria en m².

Otro aspecto que se debe cuidar es el proyecto de la plantilla, para esto, lo más conveniente es tener los menos rellenos -- posibles, para evitar que al haber infiltraciones se quede sin -- apoyo la misma.

Para la elección del tipo de obra; es muy importante que se analicen los factores que a continuación se enlistan:

- a).- Topografía y "Colchón" necesario.
- b).- Sección hidráulica.
- c).- Capacidad de carga.
- d).- Tipificación de obras.

En el cálculo de la longitud de la obra, son de vital importancia los siguientes factores.

- a).- Ancho de corona.
- b).- Taludes.
- c).- Bombeo o sobreelevación.
- d).- Pendiente de la obra.
- e).- Dimensiones de la obra.
- f).- Dimensiones de los muros de cabeza.

El cálculo estructural de las Alcantarillas, en la mayoría de los casos se lleva a cabo por medio de manuales y proyectos - Tipo ya existentes, tanto en las Compañías que construyen Vías Te rrestres como en las Especificaciones de la S.C.T..

M).- Puentes.

Se determinan como obras de drenaje mayor y a diferencia --

de las alcantarillas se presentan cuando el claro de la obra es mayor de 6 mts. Para su construcción existen estudios especiales que para ello se realizan,

Estos estudios consisten en:

- a).- Elección del cruce.
- b).- Estudios toponidráulicos e hidrológicos.
- c).- Area hidráulica de la obra.
- d).- Estudios de Mecánica de Suelos.
- e).- Estudios de Socavación.
- f).- Cálculo Estructural.

El cálculo del área hidráulica para puentes, generalmente se lleva a cabo por medio del método de sección y pendiente - aplicando la fórmula de Manning. Este método es aplicable cuando se tienen arroyos con cauce bien definido, y en que pueden encontrarse huellas dejadas por las corrientes en las crecientes máximas. Es necesario conocer las dimensiones de las secciones de escurrimiento y la pendiente del arroyo así como el coeficiente de rugosidad del cauce, que es función del material en su lecho.

En los estudios para puentes, se requiere conocer el gasto máximo que pasará bajo el puente, según el período de retorno de avenidas que se tome, que generalmente es de 25 a 50 años así como la velocidad del agua y el mayor nivel que alcanzará debido al remanso que se producirá debido al estrechamiento de la sección hidráulica por la presencia del puente, nivel que no deberá ser mayor de 40 cms. del que se tenía antes de la construcción.

Para calcular el gasto máximo de una corriente de agua, es necesario conocer el área hidráulica de diferentes secciones del arroyo y la velocidad media en cada una de ellas y aplicar la siguiente fórmula.

guiente fórmula:

$$Q = A.V.$$

Donde:

A = Sección hidráulica en m².

V. = Velocidad de la corriente en M/Seg.

Los estudios generalmente se llevan a cabo en 3 secciones-- una en el sitio del cruce, otra aguas arriba y la tercera aguas abajo a distancias de 300 a 500 mts. entre ellas, de las cuales es necesario conocer la sección transversal, que se levanta por algún procedimiento topográfico.

Teniendo las secciones hidráulicas, se dibujan y encuentran geoméricamente o con planímetros el área correspondiente a cada sección.

Para obtener la velocidad de la corriente, se tienen métodos directos en los que se usan molinetes o flotadores y los indirectos entre los que está el de Sección y Pendiente, que es el más usado.

Debido a la velocidad del agua, los materiales de que está constituido el cauce, se ven alterados de diferentes maneras, entre los que están la erosión de las márgenes y la socavación del lecho.

La socavación consiste en el arrastre de los materiales del fondo del cauce debido a la velocidad del agua; sin embargo también se incluye dentro de este fenómeno el material que aunque no sufre arrastre se queda sin presiones efectivas; es decir el material queda en suspensión. Si algún apoyo del puente queda desplantado en la zona de socavación para una avenida determinada, al presentarse ésta; el elemento estructural sufrirá

un asentamiento, con los daños consiguientes a la obra.

Existe socavación general, que es la que se tiene a lo largo del escurrimiento; socavación por estrechamiento y socavación local; estas dos últimas ocurren debido a que con la presencia del puente aumenta la velocidad general del arroyo y por lo tanto la profundidad de socavación bajo el puente, además, por la presencia de las pilas, principalmente por su forma, se presentan a su alrededor aumentos y disminuciones de la velocidad; lo primero se presenta en la zona de aguas arriba y lo segundo hacia aguas abajo.

Se han realizado un sin número de estudios para poder conocer la velocidad de socavación; sin embargo, los estudios técnicos conducen a resultados mayores a los reales por lo que en general se utilizan criterios empíricos para este cálculo; de estos, el más utilizado es el de KENNEDY para la socavación de la sección del cauce, cuya fórmula es:

$$V_c = md^{0.064}$$

V_c = Velocidad crítica de erosión m/seg.

d = Tirante de agua en mts.

m = Factor que depende del tipo del material en el fondo del cauce.

Los valores de m , más usados son: $m = 0.437$ para arenas finas, $m = 0.658$ cuando existan cantos rodados y $m = 0.52$ para grava arena.

Diseño Estructural de Puentes.

El proyecto del puente se debe iniciar planteando las diversas soluciones que es viable usar en ese cruce con el fin de obtener el costo de cada solución en forma aproximada, para elegir aquella que presente las mayores ventajas funcionales, constructivas y económicas. Estos anteproyectos en general se des-

rollan con base en las dimensiones que tengan otros puentes similares ya resueltos o bien ejecutando cálculos preliminares -- aproximados en ellos se deben cumplir todos los requisitos que influyen en el cruce, como es la separación entre las pilas para permitir el libre paso de los cuerpos flotantes, o bien la circulación de los vehículos bajo o sobre la estructura si se trata de un paso a desnivel.

Una vez que se logra definir el tipo de la estructura más conveniente se procede al proyecto estructural de sus elementos de acuerdo con las técnicas de la estática y resistencia de materiales que corresponda, considerando las cargas que actuarán en el puente, su impacto, el posible efecto del empuje del viento sobre la estructura y los esfuerzos que resulten de la aceleración sísmica. Con base en estos cálculos se elaboran los planos constructivos de puente, en los que se detallan en forma clara y conveniente las dimensiones y espesores de sus elementos, la calidad de los materiales con los que se debe construir la obra, las elevaciones de los teraplones, coronas, rasante, etc., así como la ubicación de los ejes de los diversos elementos para su correcta localización en el sitio. En esos mismos planos se consignan las cantidades de obra que sirven de base para obtener el presupuesto de dicha obra.

Al igual que para las alcantarillas, existen Manuales de Proyectos Tipo editados por la S.C.T.

N).- Drenaje Subterráneo o Subdrenaje.

Como se dijo al principio de este capítulo, parte del agua de lluvia cae sobre la corteza terrestre y se evapora, otra escurre sobre ella y el resto se infiltra a las capas interiores; sin embargo no toda el agua subterránea procede de la lluvia si no que también hay agua entrampada como residuo de antiguos lagos y océanos y también puede proceder de la condensación de va

pores arrojados por actividad volcánica.

Este flujo puede aflorar a través de los taludes y de la cama del camino. En los primeros se puede no presentar fallas - conchoidales o tipo CREEP y en la cama de la obra se pueden tener inestabilidades en la superficie de rodamiento, ya sea que esté constituida por revestimiento provisional o de tipo definitivo como lo son los pavimentos.

Por lo anterior, se debe controlar y eliminar el agua subterránea por medio de captación y conducción, impidiéndole que erosione o que provoque presiones indeseables. Las obras que se construyen con este fin, en general son costosas; sin embargo, si se toma en cuenta el ahorro que se tendrá durante la conservación, seguramente que se justificará ampliamente.

Las Obras de Drenaje Subterráneo más comunes son los drenajes longitudinales de zanja y los drenes transversales.

a).- Drenes longitudinales de zanja.

Este tipo de subdrenaje consiste en la apertura de una zanja al pie de los taludes de corte con profundidad mínima de - - 1.5 mts., llegándose en ocasiones hasta los 4 metros,

En el fondo, sobre una plantilla de concreto pobre, se coloca un tubo de concreto perforado por su parte inferior, y se rellena con material filtrante.

La finalidad de este tipo de Subdren es la de bajar al nivel freático de la cama del camino y en menor escala disminuir la zona saturada del talud de corte.

El material filtrante más adecuado es la grava-arena en -- greda con tamaño máximo de 2" y con 5% máximo de finos pasando la malla 200.

Sin embargo, si no se tienen todos los elementos necesarios se puede prescindir del tubo perforado y se podrá rellenar la zanja con fragmentos de roca de 15 cms. de tamaño máximo.

El fondo de la zanja tendrá la pendiente necesaria para que el agua captada sea conducida hacia una obra de drenaje transversal y se aleje del camino lo más pronto posible.

b).- Drenes Transversales de talud.

Cuando existen fuertes filtraciones a través de los taludes de corte, además de los drenes longitudinales de zanja, generalmente conviene la utilización de otro tipo de subdrenajes que impida ese flujo y que evite daños mayores, que en ocasiones impiden el buen funcionamiento de los caminos.

Para este fin, es usual utilizar los drenes transversales que consisten en la introducción de tubos de acero de 5 cms., de diámetro, perforados lateralmente a través de los taludes, con pendiente hacia el camino de 5 a 20°; previamente a la introducción, se hace una perforación de 10 cms. con equipo especializado; la longitud de estos tubos debe ser tal, que cruce las probables superficies de falla. La velocidad de captación del agua, depende de la permeabilidad de la masa de suelo.

Cuando hay escurrimiento a través de los tubos, estos pueden descargar en la cuneta o se puede proveer un sistema que los capte, pudiendo ser con tubo vitrificado, de concreto o de plástico.

Dependiendo de la intensidad del problema se pueden colocar 1, 2 o 3 hileras de tubos cuya distancia entre los mismos pueden variar de 2 a 5 mts.

Para hacer más económico este tipo de subdrenaje, en lugar de introducir el tubo de acero, se pueden hacer inyecciones de -

arena a presión o utilizar, carrisos huecos perforados lateralmente y rellenos con arena; como se ha hecho en otros países.



FIG. N° 25 .- COLOCACION DE UNA ALCANTARILLA
TUBULAR.

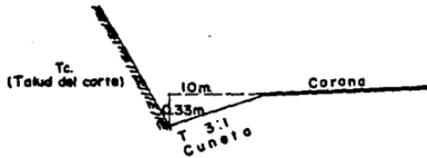


Fig. N° 26.— Sección tipo de una cuneta.



Fig. N° 27.— Sección tipo de una contracuneta.

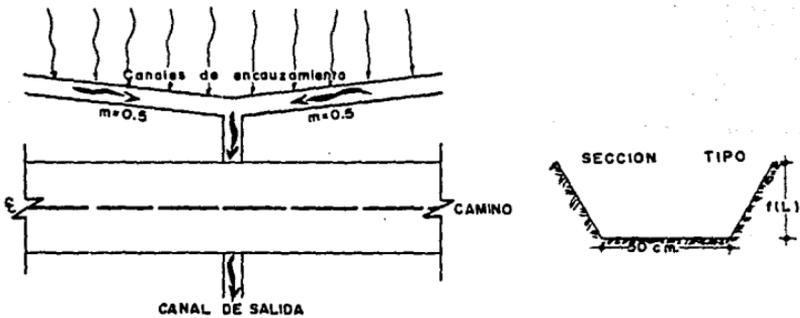


Fig. N° 28.— Canales de Encauzamiento.

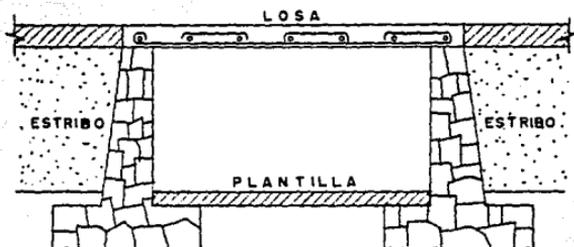


Fig. Nº 29.- Losos.

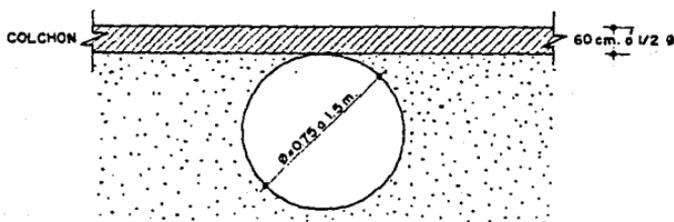


Fig. Nº 30 - Alcantarilla de "Tubo."

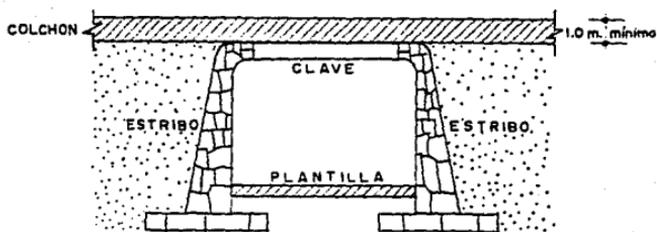


Fig. Nº 31.- Bóvedas.

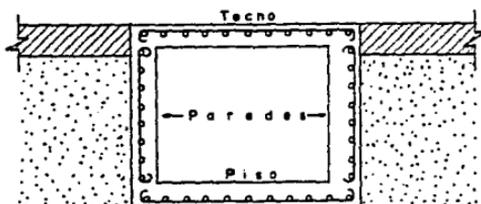


Fig. N° 32.- Cajones.

Nº	PRUEBA	CEMENTO ASFALTICO	REBAJADOS ASFALTICOS	EMULSIONES ASFALTICAS
1	DESTILACION		✖	✖
2	PENETRACION	✖	✖	✖
3	VISCOSIDAD	✖	✖	✖
4	PUNTO DE ENCENDIDO	✖	✖	
5	ASENTAMIENTOS EN CINCO-DIAS			✖
6	CARGA DE LA PARTICULA			✖

Fig. N° 33.- Pruebas que se aplican a los diferentes tipos de materiales asfálticos.

2).- TIPOS DE ASFALTO.

Estos materiales son los cementos asfálticos o productos asfálticos que se obtienen de la destilación del petróleo, de características cementantes y que se emplean para:

a).- Aglutinar el material pétreo en las carpetas de rodamiento.

b).- Impermeabilizar y aglutinar superficialmente las bases de pavimentos.

c).- Cubrir las partículas de arcilla en la estabilización de los materiales de la sub-base de pavimentos para modificar sus características plásticas.

d).- Cementar los materiales granulares finos en trabajos de estabilización de sub-bases y bases de pavimentos.

Los asfaltos se clasifican en tres grandes grupos:

A).- Cementos Asfálticos.

B).- Rebajados Asfálticos.

C).- Emulsiones Asfálticas.

A).- Cementos Asfálticos.- Son los productos de la destilación del petróleo, al que se le han eliminado sus solventes volátiles y parte de los aceites. Este en temperaturas normales es sólido o pastoso, y para trabajarlo en el campo, se calienta a una temperatura de 140°C aproximadamente, o se diluye con un solvente.

B).- Rebajados Asfálticos.- Son diluciones del cemento asfáltico, con un producto más ligero del petróleo llamado solvente; dependiendo del tipo de solvente de que se trate se clasifican en:

a).- Rebajados Asfálticos de Fraguado Rápido.- Son los productos que se obtienen mediante la adición de gasolina a un cemento asfáltico, generalmente, el porcentaje de gasolina es del 20% y el de cemento asfáltico del 80%.

b).- Rebajados Asfálticos de Fraguado Medio.- Son aquellos en que se usa como solvente, tractolinas, o kerosinas, para rebajar el cemento asfáltico.

c).- Rebajados Asfálticos de Fraguado Lento.- Son aquellos cementos asfálticos en los cuales se utilizó como solvente el diesel y otros destilados poco volátiles, este tipo de rebajados asfálticos también reciben el nombre de Asfaltos Residuales.

C).- Emulsiones Asfálticas.- Son los productos obtenidos al emulsionar un cemento asfáltico en agua, mediante el empleo de un agente emulsor.

Por su tipo de adherencia al material pétreo, las emulsiones asfálticas se dividen en emulsiones de rompimiento rápido, medio y lento.

Por sus cargas eléctricas las emulsiones asfálticas se clasifican en Aniónicas y Catiónicas.

Emulsiones Aniónicas.- Son aquellas en que debido a sus cargas eléctricas el anodo atrae al material y se consideran con carga negativa.

Emulsiones Catiónicas.- Son aquellas en las que debido a sus cargas eléctricas el cátodo atrae el material, y se consideran con carga positiva.

Las principales pruebas que se les realizan a los materiales bituminosos, son las siguientes:

a).- Destilación.- Consiste en rebajar componenetas de los

productos y determinar el tipo de fraguado. Se toma la temperatura de la ira. gota, así como el tanto por ciento de cemento - asfáltico y de solventes.

b).- Penetración.- Es para determinar la dureza de los materiales asfálticos, se lleva a cabo con una barra que pesa 200 grs. y en la parte inferior tiene una aguja, estas están montadas en un soporte, el cual tiene una carátula en la que se miden décimos de milímetro .

Para realizar esta prueba, se pone una cápsula con material asfáltico en contacto con la aguja y se deja caer la barra libremente durante 5 segundos, las lecturas que se forman se llaman - grados de penetración.

c).- Viscosidad.- Esta prueba mide la dificultad de un producto asfáltico al pasar un orificio, esto se lleva a cabo en un depósito que se llama viscosímetro, la temperatura para realizar esta prueba deberá ser de 135°C en los cementos asfálticos y en los rebajados asfálticos va de acuerdo al tipo de solvente utilizado, el tiempo que tarda en segundos en llegar al aforo son los grados de viscosidad.

d).- Punto de encendido.- Esta prueba consiste en colocar material asfáltico en un recipiente y darle calor, se pasa una llama por la superficie y con un termómetro se mide la temperatura de la ira. flama y la temperatura de inflamación.

e).- Asentamiento en 5 días.- Nos sirve para saber si es estable la emulsión, ya que una emulsión muy vieja no es estable y consiste en una probeta de 1 lts. se pone emulsión asfáltica y se dejar reposar durante 5 días, se toma una muestra de la parte superior y una de la parte inferior y: se mide el tanto por ciento (porcentaje) de cemento asfáltico en cada prueba. El asentamiento se conocerá por medio de la fórmula:

$$As = \% CA_1 - \% CA_2$$

$\% CA_1$ = Porcentaje de cemento asfáltico en la parte inferior.

$\% CA_2$ = Porcentaje de cemento asfáltico en la parte superior.

f).- Carga de la partícula.- Consiste en hacer pasar una corriente eléctrica por una emulsión asfáltica y sirve para conocer la carga de la emulsión y por ende saber si se trata de una emulsión catiónica (+) o de una aniónica (-). Esto se realiza ya que una emulsión catiónica trabaja mejor con materiales básicos y las aniónicas con materiales ácidos.

En resumen, el tipo de asfalto que se va a utilizar en la pavimentación de un camino está dado por la experiencia del constructor o por las Especificaciones que para tal efecto tiene la S.C.T. dependiendo del tipo de camino que se trate, así como de las especificaciones particulares del proyecto.

CONSERVACION DE LOS
PAVIMENTOS



VII.- CONSERVACION DE LOS PAVIMENTOS.
(FALLAS, ONDULAMIENTOS, CAUSAS Y FORMAS DE PREVENIRLOS)

A).- GENERALIDADES.

La conservación de un camino en sus superficies de rodamiento ya sean bases o pavimentos, es más un asunto de economía que un problema de alta técnica de Ingeniería y por esto los encargados de efectuar la conservación, deben fijarse en efectuar los trabajos necesarios oportunamente.

De la oportunidad, depende que los gastos o erogaciones sean mínimos. Los fondos que se destinan deben ser suficientes para atacar o emprender las reparaciones o mejoramiento en tiempo oportuno tanto para evitar el incremento en la destrucción, que tiene muchas veces características aceleradas y que pueden llegar hasta el fracaso, como para economizar en la ejecución de los mismos trabajos.

Este aspecto hace que los trabajos de conservación deben considerarse enteramente desligados de soluciones políticas o intereses sociales, factores éstos que influyen grandemente en la construcción.

Es conveniente indicar, que el éxito de un programa de caminos y sobre todo en el aspecto de conservación, depende más del carácter personal y habilidad profesional de quien tiene que ver con cualquier fase de la organización, que de otros conceptos.

Debido a la naturaleza del trabajo de conservación y a que esto se ejecuta en los caminos de explotación, las relaciones y el trabajo del personal encargado y los usuarios es constante. En vista de ello, la conducta del personal para con el público resulta de especial importancia.

Muchas veces, estas relaciones son el único punto de contacto entre la autoridad a cargo del camino y los usuarios, los cuales son ciudadanos y contribuyentes, que en forma directa proveen los fondos necesarios para la construcción y conservación de los caminos.

Debe tenerse siempre presente, que el público es juez severo y a veces mordaz, por lo tanto, debe proporcionársele todas las comodidades relativas al camino y evitar apariencias -- criticables, ya que cuando un camino está en el proceso de construcción, todos los defectos que pueda tener e incomodidades -- que sufra el público, él mismo lo disculpa por encontrarse en -- proceso de formación, pero cuando un camino ha sido terminado, -- especialmente hasta su pavimentación, debe siempre considerarse esta última fase como el espejo del camino por el cual juzgará el público, no solamente el aspecto superficial, sino que incluye hasta la localización del mismo.

Es de vital importancia, para los encargados de la conservación de un camino, el contar con una memoria detallada de la construcción en la cual existen por parte de los dirigentes de la misma, los estudios, pruebas, resultados veraces (aún cuando sean adversos) de los materiales usados y sus procedencias, así como métodos de construcción, pues por lo que hemos visto, se cuenta con una heterogeneidad de materiales, que practicamente hacen imposible para una sola persona el conocerlos y juzgar -- sus resultados en la práctica, por tal motivo es indispensable el acumular e interpretar debidamente los conocimientos de los materiales de construcción para poder juzgar posteriormente sobre la bondad de los mismos y el uso adecuado, así como los procedimientos de construcción empleados, para mejorar constantemente los mismos y evitar el incurrir en los errores constructivos en que se hayan caído. Esta práctica llevada y aumentada -- constantemente, producirá los mejores frutos, ya que se irá conociendo paulatinamente los mejores materiales, los métodos --

adecuados de construcción y se obtendrá mejor resultado, para que la conservación sea la más barata posible.

No hay que olvidar que las erogaciones empleadas para la construcción son únicas e inmediatas y las erogaciones efectuadas por la conservación son constantes y por tiempo indefinido, y que muchas ocasiones estas sobrepasan con mucho a las erogaciones de construcción cuando en esta etapa se incurren en errores graves. La idealización sería que durante la vida útil de un camino, como máximo se igualarán los costos de conservación con los de construcción.

Las inspecciones periódicas que efectúe el personal encargado de los trabajos de conservación, deben llevarse a cabo en forma de investigación o sea de manera que provean los datos y pruebas que sean necesarias para permitir formular una apreciación sobre los efectos y sus causas y lograr la ejecución de los trabajos económicos y en tiempo oportuno.

El éxito de las reparaciones y de las reconstrucciones, se debe principalmente a las pruebas que se hagan para determinar la causa de la destrucción o desgaste prematuro de las obras. Si para la construcción hay que hacer hincapié en la investigación, en la conservación, hay que darle toda la importancia debida, puesto que las demostraciones de los defectos y las pruebas que se llevan a cabo para conocer las causas del mal, son completamente claras ya que reúnen todos los elementos necesarios, características de la construcción (efectivamente y no sobre conjeturas de laboratorios) y las características del defecto.

Este sistema de pruebas es indispensable por que vienen a modificar o precisar en su caso las reglas generales de los métodos de construcción para aplicarlos concienzudamente en cada caso especial.

Cualquier obra por bien construida que sea, requiere trabajos constantes y periódicos que tiendan a evitar la destrucción de sus partes y el deterioro prematuro que mantienen sus elementos sin depreciación y sin decremento de su calidad, sin invertir para ello cantidades considerables.

Estos trabajos generalmente se designan con el nombre de conservación general, y aseguran la duración máxima de una obra de acuerdo con la calidad de la construcción y hacen que dicha obra preste el servicio eficiente para el cual se proyectó.

Estos trabajos son la base de una buena conservación y por lo tanto, tienen una importancia primordial.

Hay ocasiones en las cuales, deben hacerse trabajos provisionales y de emergencia, debiendo quedar bajo el criterio del encargado de la obra la ejecución, para poder asegurar que la inversión que se haga es necesaria y por lo tanto justificada. Si durante una temporada de lluvias se forman baches en una superficie de rodamiento pavimentada puede ser económico el rellenarlos con materiales provisionales que duran aunque sea en forma defectuosa hasta la terminación del temporal; pues con este relleno, se evita el crecimiento del bache, el reblandecimiento de la sub-base y la incomodidad y los accidentes de tránsito.

La reparación es un trabajo de mayor importancia que el llamado de conservación general, y no hay que confundirlo con el trabajo de reconstrucción que se ejecuta cuando la obra se ha destruido por haber llegado a su término normal.

La reparación obedece generalmente a un proyecto defectuoso por la existencia de factores que no se tuvieron en cuenta o que concurrieron en forma imprevista después de la construcción y por lo tanto, antes de proceder a una reparación, deben estudiarse las causas de la destrucción para asegurarse contra una nueva

destrucción; por esto resultaría contraproducente para los encargados que no experimentaron con el fracaso anterior. Así pues se debe tener presente que los estudios y pruebas que deben hacerse para una reconstrucción deben ser minuciosos y lo más precisos posible. El que corrige debe siempre pensar que si recae en el mismo error demuestra su indolencia, su irresponsabilidad o su falta de honradez profesional. Por lo general y en especial tratándose de caminos, la reconstrucción debe considerarse como el complemento de la conservación general, puesto que es un trabajo necesario para reponer en su estado primordial de construcción -- las partes de un camino, que habiendo tenido dicha conservación -- ha llegado al desgaste o extinción razonable con relación al uso y edad y que por lo tanto, ya no están capacitados para prestar el servicio eficiente para el que fueron destinados.

Los gastos de conservación general, van aumentando paulatinamente por el uso y la edad de las obras y, por lo tanto, debe estudiarse económicamente el límite en que dicha conservación es más cara que la reconstrucción para proceder en consecuencia.

Debido al incremento constante del tránsito en los caminos y a la experiencia adquirida, al hacerse una reconstrucción debe estudiarse la necesidad de un mejoramiento en relación a la resistencia amplitud y perfección sobre todo en las superficies de rodamiento.

Como el aumento de resistencia en pavimentos y bases, está íntimamente ligado con el costo de construcción se debe calcular en relación con el tránsito de cada tramo de camino el importe anual de amortización del capital invertido y gastos de conservación para elegir el tipo de mejoramiento que arroje una suma mínima de estos tres conceptos de inversión.

Es un principio fundamental de la conservación de pavimentos, el usar los mismos materiales que sirvieron para la cons---

trucción, para hacer las reparaciones (siempre y cuando estos materiales se haya comprobado su bondad, y el evitar la práctica perniciosa de utilizarlos en las reparaciones solo por que fueron usados en la construcción), esto se refiere a tratar de utilizar materiales similares con objeto de obtener uniformidad de los mismos es decir, un bache en camino de tierra debe rellenarse con tierra, un bache en una base de grava, con grava, - - etc.

Esto que parece obvio o natural, es quebrantado constantemente y los resultados de esta práctica equívoca son baches de mala apariencia, incómodos al rodamiento, heterógeneos en resistencia y cuestan más de lo que deben, por que se produce de nuevo el bache al utilizar un material más suave o se rompen las partes circundantes a él cuando se usó un material más resistente.

Los encargados de conservación de un camino, deben estudiar a fondo la teoría de mecánica de suelos y sus constantes adelantos y familiarizarse con la aplicación práctica de estos conocimientos, para la selección de materiales y para la determinación de las fallas de bases. Así, al llevar a cabo reparaciones podrán substituir materiales defectuosos por materiales eficientes, o en su caso hacer mezclas para mejorar los existentes y ponerlos en condiciones favorables.

Cuando los caminos van a quedar expuestos al tránsito en sus aspectos de bases, por su bajo tránsito inicial o no se tiene previsto pavimentarlos en un futuro próximo, su conservación depende de los materiales empleados en su recubrimiento.

Para que la conservación de estos caminos sea económica, se deberá procurar que el tránsito se haga con seguridad, pero nunca pretender que tenga las comodidades de una superficie pavimentada. Por lo tanto y de acuerdo con los materiales emplea-

dos, se deberá formar un criterio que permita servir de balance entre el menor gasto de conservación y la mayor comodidad del tránsito.

Si se pretendiera conformar un camino de esta clase constantemente para borrar inmediatamente la huella de un vehículo, a la iniciación de una corrugación rítmica, se tendría una concentración de maquinaria que haría antieconómica dicha conservación; en cambio si el camino no se compone, el tránsito llega a formar huellas profundas, cuya parte central llegarán a lastimar las partes inferiores de los vehículos y harán que se pierda toda seguridad en la conducción. Además los rastreos y conformaciones demasiado frecuentes, acarrearán una pérdida de los materiales superficiales, sobre todo en los finos obligando por lo tanto a recargues más frecuentes del material de que es indispensable.

Por término general, una conservación racional, dentro de un tránsito bajo, ocasiona pérdidas en los espesores de las bases por los rastreos y por los efectos del tránsito de 2 a 4 cms., por año, aumentando este espesor a medida que la intensidad del tránsito aumenta.

El éxito de la conservación de caminos sin pavimentos, depende más que en los caminos pavimentados, del estudio de los ciclos o intermitencias con que deben llevarse a cabo las distintas operaciones para conservación de superficies de rodamiento.

Para la economía futura de la conservación de estos caminos, el tratamiento de la superficie, es ventajoso no efectuarla en forma simple, sino que de ser posible incorporando el criterio de mejoramiento. Es decir, que los materiales desgastados se repongan con materiales de mejor selección y que tiendan a poder usarse para bases de tratamientos bituminosos.

El drenaje, es el concepto más importante de la conservación de caminos sin pavimentar, pues solo atendiendo a esta circunstancia se puede mantener el tránsito durante todo el tiempo.

La superficie del camino debe mantenerse con un bombeo apropiado y con una buena conformación, para facilitar el escurrimiento superficial de las aguas de lluvias hacia los talldes o cunetas. En los tramos a nivel, es necesario una pendiente transversal de 4%, y en los tramos de pendientes debe darse el 6% de pendiente transversal al bombeo del camino, para evitar que el agua escurra longitudinalmente formando canales y deslaves en los talldes en los lugares en que desembocarfa.

La pendiente transversal de la corona del camino, depende también de la naturaleza de la superficie: una superficie arenosa requiere menos pendiente que una de tipo arcilloso. Las superficies de tipo arcilloso deben drenarse lo más rápidamente posible, las secciones en terraplén deben tener menor pendiente transversal que las secciones en corte por motivo de seguridad del tránsito.

La sección parabólica de la corona, da muy buen aspecto a la superficie de rodamiento, pero tiene el defecto de ser demasiado nivelada en la parte superior, en donde por esta circunstancia se concentra el tránsito ocasionando que bajo su acción se incremente esta superficie, ocasionando dificultades de drenaje que acentúan la formación de baches. Es más efectivo en estos caminos el usar secciones de "V" invertida, con una pequeña sección redondeada en el centro.

Al llevarse a cabo los trabajos de rastreo y conformación, se debe tener cuidado de conformar limpiando de toda clase de escombros los acotamientos y las cunetas para que el drenaje superficial quede expedito.

Las superficies de rodamiento de las bases, deben ser conformadas lo más inmediatamente posible a las temporadas de lluvias para aprovechar el momento adecuado en que la humedad facilita la consolidación y se prevea un fácil desagüe de la superficie hacia las cunetas. El rastreo o la conformación, cuando las superficies de rodamiento están secas y polvosas hace más daño que provecho, puesto que el material suelto no se consolida y la acción del tránsito y del viento acarrearán la pérdida de los materiales finos dejando las superficies rugosas y sueltas, además del perjuicio que ocasione el polvo en los vehículos y el tránsito.

Durante las época de aguas, las superficies de las bases, expuestas al tránsito se llevan pequeños cortes transversales por el deslave que ocasiona el agua al escurrir por la corona del camino, y por lo tanto, deben de conformarse tan pronto como sea posible prácticamente, la primera vez que pase la cuchilla deberán llenarse las grietas con material fino de la corona del camino, ya que los materiales acarreados por las aguas a las cunetas, consolidan defectuosamente.

Tan pronto se han llevado los cortes, deben de limpiarse -- las cunetas para que el material producto de los mismos sirva para completar la sección del camino.

Puede haber ocasiones en que el material de las cunetas sea de tan mala calidad, que convenga aprovecharlo para reforzar los taludes de los terraplenes.

Debe prohibirse que las cortadas o grietas se rellenen con piedras grandes puesto que estas entorpecen las subsecuentes conformaciones. Este procedimiento es erróneo, puesto que a pesar de las apariencias de solidez que presentan las piedras, es antieconómico, pues por más satisfactorio que pudiera resultar, su duración es solo momentánea y por tal motivo se debe usar el mismo material de las bases.

Las superficies de rodamiento de las bases, deben ser conformadas lo más inmediatamente posible a las temporadas de lluvias para aprovechar el momento adecuado en que la humedad facilita la consolidación y se prevea un fácil desagüe de la superficie hacia las cunetas. El rastreo o la conformación, cuando las superficies de rodamiento están secas y polvosas hace más daño que provecho, puesto que el material suelto no se consolida y la acción del tránsito y del viento acarrean la pérdida de los materiales finos dejando las superficies rugosas y sueltas, además del perjuicio que ocasione el polvo en los vehículos y el tránsito.

Durante las época de aguas, las superficies de las bases, expuestas al tránsito se llevan pequeños cortes transversales por el deslave que ocasiona el agua al escurrir por la corona del camino, y por lo tanto, deben de conformarse tan pronto como sea posible prácticamente, la primera vez que pase la cuchilla deberán llenarse las grietas con material fino de la corona del camino, ya que los materiales acarreados por las aguas a las cunetas, consolidan defectuosamente.

Tan pronto se han llevado los cortes, deben de limpiarse -- las cunetas para que el material producto de los mismos sirva para completar la sección del camino.

Puede haber ocasiones en que el material de las cunetas sea de tan mala calidad, que convenga aprovecharlo para reforzar los taludes de los terraplenes.

Debe prohibirse que las cortadas o grietas se rellenen con piedras grandes puesto que estas entorpecen las subsecuentes conformaciones. Este procedimiento es erróneo, puesto que a pesar de las apariencias de solidez que presentan las piedras, es antieconómico, pues por más satisfactorio que pudiera resultar, su duración es solo momentánea y por tal motivo se debe usar el mismo material de las bases.

Cuando la destrucción de las bases, sea muy grande, y no baste un rastreo o conformación, es necesario el efectuar una - escaificación de los mismos, pero teniendo cuidado de mezclar de nuevo los materiales para evitar una segregación de sus - -- partículas, en los que los finos se van al fondo y se dejan en la superficie solo materiales grandes. Esta escaificación y -- mezcla debe alcanzar una profundidad suficiente, para permitir una buena consolidación y borrar los efectos del rizamiento en las superficies, como veremos más adelante, sin embargo, no se debe llegar a esta ejecución hasta el material de la subrasante para evitar el riesgo de contaminar el material de las bases, - con el de las terracerfas.

Al hacer las reconformaciones de la superficie, el material se debe acamellonar en el centro del camino y de ahí repartirlo a ambos lados en un espesor uniforme con su humedad óptima, para proceder a su compactación, estas operaciones se deben ejecutar pasadas las temporadas de lluvias.

Tendiendo como es racional, al mejoramiento de las superficies de rodamiento, es conveniente que al hacer las operaciones de conformación y compactación, se agregue la cantidad y la calidad de los materiales necesarios para que quede la corona ajustada a secciones y espesores de proyecto.

Durante estas operaciones no deben pretenderse abarcar secciones muy largas. La longitud de las secciones varfa en su recorrido longitudinal. Al hacer las conformaciones y rastreo en - las curvas, se debe de tener cuidado de no ir perdiendo la so-breelevación por los rastreos sucesivos.

Cuando una sección de camino se encuentra en lo general en buenas condiciones de forma en su corona y con una compactación adecuada, no es conveniente la conformación o rastreo para corrgir baches aislados y por lo tanto se debe proceder al arreglo de ellos por medios manuales.

Antes de proceder al arreglo de ellos, se debe estudiar la causa de la formación fijándose si esto proviene desde la subbase, por exceso de humedad o por mala calidad de las tierras, o si se debe exclusivamente a defectos del material de la superficie. Si existe un bache que tienda a reaparecer en el mismo lugar y que se produce por asentamiento no por desgaste, es seguro que lo causan deficiencias en las bases. En cambio cuando los baches aparecen indistintamente en toda la superficie, la causa debe buscarse en ésta. La desintegración de los materiales y el desplazamiento son síntomas claros de defectos en el material, pues en primer lugar indican defecto de cohesión y en segundo puede representar un cementante inadecuado o un exceso del mismo que con la humedad facilita el desplazamiento.

Una vez estudiada la causa de la formación de un bache, de abrirse una caja de 5 a 10 cms. más ancha que el defecto, hasta encontrar el material sano y se rellenará con materiales adecuados, las cuales se procurará que llenen las especificaciones del material en general que se haya usado en este tramo, con objeto de tener uniforme la resistencia de la base y evitar puntos de mayor o menor resistencia que ocasionan la continuación progresiva del defecto o su reaparición; en el segundo de los casos se consolidará con pisonos de mano o vibratorios para darle la misma compactación que la alcanzada por el material circundante. Cuando el bacheo se debe a defectos de la subrasante, se debe llevar hasta la profundidad que sea necesaria para retirar el material inadecuado. En caso de que la base esté en buenas condiciones, la caja se abrirá simplemente hasta la altura del fondo del bache y en todos los casos las paredes deben ser verticales.

Se deberá tener cuidado en dejar la superficie a la altura de la rasante para que no se origine ningún golpe de las ruedas de los vehículos puesto que éstos golpes provocan la reaparición del bache o la destrucción anterior o posterior de las superficies adyacentes por falta o exceso de altura respectivamente del

relleno del bache.

Es conveniente el observar las superficies del camino, después de una lluvia, para localizar por los pequeños encharcamientos, las depresiones que forman la iniciación de los baches.

El encargado de la conservación, debe tener especial cuidado de calcular económicamente cuando es conveniente reparar la superficie por medio de bacheo o por medio de una reconformación general, pues cuando los baches son muy frecuentes, el bacheo es antieconómico y la superficie que se obtiene es defectuosa. En cambio si se hace una reconformación prematura se pierde la consolidación general del camino, haciendo un gasto excesivo.

La reconstrucción de las superficies, está indicada cuando los métodos de conservación general, no son suficientes para mantener el camino en buenas condiciones de tránsito y cuando los gastos de dicha conservación son excesivos.

Esta reconstrucción, puede ser motivada por la pérdida de los materiales que hacen inestable la superficie, por malos materiales de la base o por falta de un drenaje adecuado.

Antes de proceder a una reconstrucción, se debe estudiar el estado de la subrasante, mediante las pruebas de laboratorio indicadas, para resolver si es conveniente mejorar la estabilidad de la misma, ya sea agregando en forma de mezcla los materiales indispensables, o si simplemente debe hacerse una consolidación mejor, usando rodillos, patas de cabra, neumáticos o cualquier otro equipo adecuado. Resuelto el tratamiento que deba darse a la subrasante se deberá proceder al arreglo de ésta, haciendo a un lado el material de las bases que pueda ser aprovechado posteriormente. Todo mejoramiento que se lleva a cabo en la subrasante, es económicamente justificado, pues debe tenderse a poner dicha parte en condiciones de estabilidad definitiva, para evitar-

trabajos posteriores en ella que son generalmente más costosos y causen interrupciones al tránsito, limitando en esta forma -- los trabajos de reparaciones futuras, unicamente a las superficies de rodamiento, ya que se debe tender como se ha dicho en -- varias ocasiones, al aprovechamiento de los materiales de las -- superficies para formar parte de las bases para un futuro pavimento.

Por ningún motivo, al hacer la reconstrucción de las bases se deberá omitir el arreglo inmediato de los acotamientos, cunetas y talldes, puesto que se pondría en peligro dicha construcción al no poner en condiciones de estabilidad y de drenaje estos elementos.

Cuando se hagan reconstrucciones de bases, por desgaste superficial, deberá escarificarse ligeramente, para sin destruir la compactación lograda se tenga una buena liga entre las dos -- capas. Esta escarificación es indispensable y por lo tanto, no se debe omitir por ningún concepto.

En las reconstrucciones debe tenerse un especial cuidado de no mezclar con el material de la base (durante el proceso de escarificación y conformación) materiales de la subrasante, cunetas o depósitos de materiales desprendidos de los talldes.

Cuando la reconstrucción sea motivada por exceso de humedad o por otra deficiencia del drenaje, deberá de corregirse primero el grado de humedad por medio de drenes y procediendo al arreglo de la base después de haber compactado satisfactoriamente la subrasante.

Cuando el tránsito en un camino tiene un volumen mayor de -- 100 vehículos diarios, la conservación de las superficies de rodamiento es más económica si se protege con un tratamiento superficial. Además este volumen de tránsito ya exige tratamientos -- adecuados como paliativos del polvo.

B).- ONDULAMIENTOS, CAUSAS Y FORMA DE PREVENIRLOS.

Los ondulamientos o deformaciones de las superficies de rodamiento podemos dividir las en dos grupos: atendiendo a las causas que las originan:

- 1).- Eventuales.
- 2).- Periódicas.

1).- Ondulamientos Eventuales.- Estos pueden deberse: a las insuficiencias de la subrasante si el subsuelo es malo o la subrasante no tiene el valor de soporte necesario, o si el espesor de las bases es insuficiente; las presiones transmitidas a las subrasantes son muy elevadas y causan deformaciones de mayor o menor cuantía en cualquiera de los sentidos de la carretera. Este caso es común en las orillas de los caminos, los cuales generalmente se encuentran bajos de compactación; debe de tenerse un especial cuidado en la supervisión, ya que los operadores del equipo de compactación se sienten inseguros por temor a deslizamientos.

La superficie de una base puede deformarse también bajo la influencia del agua que penetra a la subrasante cuando los materiales que la componen son atacados fácilmente por la humedad (en el caso de algunas arcillas), y en el caso de ciertos climas extremadamente calurosos pueden ocasionar agrietamientos en las bases, debidos al límite de contracción de los materiales que forman los cementantes, permitiendo por este concepto la introducción del agua a las subrasantes que llega a debilitar su poder de soporte. En el caso de las bases abiertas al tránsito, este defecto no es apreciable a simple vista por encontrarse abiertas con el polvo pero en cambio es muy notable cuando se encuentran protegidas por una superficie bituminosa y en ocasiones llega a presentar grietas que alcanzan anchos de 2 o 3 cms. dependiendo esto del límite de contracción de los materiales usados.

Irregularidades de la Subrasante.- Aparecen siempre en la superficie en un tiempo más o menos grande, por efecto del tránsito que tiende a efectuar una compactación homogénea en las superficies de rodamiento, al encontrarse con espesores variables por esta razón se comprende que lo expresado anteriormente como requisito fundamental de la sub-base para permitir construir la base, se pida que se encuentre libre de surcos y ondulamientos- y que en el caso de poner una capa de material de base, sobre otra para efectuar un mejoramiento, se exija la Escarificación previa de la capa vieja y la compactación uniforme de la misma.

Construcción Defectuosa de las Bases.- Se ha insistido - - siempre en la construcción de bases, sobre la necesidad absoluta de tratar de obtener la máxima densidad de los materiales que forman las mismas, por medio de la compactación adecuada. Sin -- embargo, los errores más comunes en la construcción de bases, -- son los que a continuación se mencionan:

a).- La mala distribución del material que forma las bases- permitiendo la segregación de las partículas, lo que ocasiona de ficiencias en la compactación.

b).- La mala conformación de las mismas.

c).- La mala operación del equipo de compactación; hay que- tener en cuenta que los arranques bruscos y la mala operación - del equipo ocasiona que los ondulamientos que se forman adelante de las ruedas de las compactadoras, al iniciarse el trabajo y -- encontrándose el material suelto, si no se tiene un especial cui dado al ligar un tramo con otro, produce posteriormente defectos dffíciles de corregir.

d).- Una compactación deficiente; si la compactación de los materiales que forman la subrasantes y las sub-bases (en caso de

existir) es deficiente, los vacíos que quedan entre la masa, se llenan de agua o aire, que en algunas ocasiones el tránsito debido a la vibración producida por él, provocará la desintegración del equilibrio de las partículas, para formar una nueva masa que viene a provocar un nuevo estado de cosas ocasionando disturbios superficiales.

2).- Ondulamientos Periódicos.- Se conoce como Ondulamientos Periódicos, o rizamientos, en bases expuestas al tránsito y aún en algunas superficies pavimentadas, aquellas ondulaciones más o menos rítmicas que toman la forma de una curva senoidal y que generalmente se presentan en forma diagonal y que aparentemente no tienen causa de ser.

Sin embargo tiene una especial importancia el tratar de conocer las causas, para tratar de evitar su aparición sobre las superficies pavimentadas, en las cuales ya no es posible su corrección.

Los Ondulamientos Periódicos se deben primordialmente a:

a).- Se inician en alguna desigualdad de la superficie, generalmente hondonadas o salientes, debidos a la compactación o conformación.

b).- La rapidez de formación está estrechamente ligada a la granulometría y cohesión del material de las bases, así como a la intensidad del tránsito.

c).- La longitud de onda, está en relación con la plasticidad del revestimiento o la carpeta, entre más plástico, más larga es la longitud entre cresta y cresta.

d).- La carga por rueda de los vehículos, afecta a la compactación interna de las ondas.

Por tanto, se puede deducir la conveniencia de efectuar una escarificación profunda y una compactación uniforme, en las bases que han estado expuestas al tránsito antes de permitir -- que se continúe con el proceso de pavimentación para superficies bituminosas, si no se efectúa este trabajo, aparecerán -- tarde o temprano estas ondulaciones en los pavimentos sin causa aparente y no pudiendo remediarse sin efectuar trabajos profundos de conformación, lo que encarecerá innecesariamente los costos de conservación.

CONCLUSIONES

En relación a las pruebas y métodos para llevar a cabo la-pavimentación de un camino que se vieron en el contenido del -- presente trabajo; surgen varias interrogantes, tales como:

¿Qué pruebas se deben ejecutar con mayor cuidado?

¿Qué tipo de pavimento se requiere?

¿Qué Método utilizará el Proyectista?

De esto, en resumen se llega a la conclusión de que no se puede tener un método tipo para la pavimentación de un camino, sino que cada uno de ellos tiene sus muy especiales características por la experiencia obtenida, se recomienda que se tomen las precauciones necesarias en los siguientes puntos:

- a).- Elección correcta del tipo de material que se usará para la capa subrasante.
- b).- Una elección adecuada del tipo de drenaje que va a utilizar en la obra.
- c).- Proyectar y elegir el tipo de pavimento correcto.
- d).- Llevar a cabo una periódica y eficiente conservación del camino.

En general, todas las recomendaciones anteriores no nos dará la perfección de la obra ya que esta dependerá de la experiencia propia del Proyectista.

Cabe mencionar que debido a las funciones que realizan las capas subrasante y base , se tenga especial cuidado en la selección de sus materiales y procedimiento constructivo , ya que --son las capas que llevan a cabo la distribución de esfuerzos de bidos al transito.

Es recomendable tener tambien una adecuada elcción del --- equipo básico , que se usará en la obra ; para no tener problemas de maquinaria inactiva, que incrementaria considerablemente el costo de la obra.

APENDICE DE DEFINICIONES

- ACAMELLONAR:** Acción de formar un camellón.
- ALCANTARILLA:** Estructura de claro menor de seis metros, con colchón o sin él, que tiene por objeto permitir el paso del agua en forma tal, que el tránsito en una obra vial pueda ser permanente en todo tiempo, bajo condiciones normales o anormales previstas.
- AFINIDAD:** Semejanza de una cosa con otra; tendencia a combinarse de los elementos químicos.
- ASFALTO REBAJADOS:** Producto que se obtiene mediante la adición de solventes apropiados, a un cemento asfáltico.
- BANCO:** Sitio del cual se extrae materiales naturales para terracerías, obras de drenaje, estructuras, sub-bases, base y pavimentos.
- CEMENTO ASFALTICO:** Producto de la destilación del petróleo al que se han eliminado sus solventes volátiles y parte de los aceites.
- COLCHON:** Capa de materiales de terracerías o revestimiento, colocado encima de una alcantarilla.
- COMPACTACION:** Operación mecánica para lograr una reducción de volumen de los espacios entre partículas sólidas de un material, con objeto de aumentar su peso volumétrico y su capacidad de carga.
- EMULSION ASFALTICA:** Producto que se obtiene por la dispersión estable de un cemento asfáltico en agua.

- IMPERMEABILIZACIONES:** Trabajo que tiene por objeto evitar la transminación del agua o de otros líquidos.
- MENISCOS:** Formación de grumos o aglutinamiento de material suelto.
- PUENTE:** Estructura sin colchón, con longitud mayor de 6 metros, destinada a dar paso a una obra vial sobre agua o sobre una depresión natural o artificial.
- RIEGO DE IMPREGNACION:** Aplicación de un asfalto rebajado a la base terminada, con objeto de impermeabilizarla y formar una transición entre ella y los pavimentos asfálticos.
- RIEGO DE SELLO:** Aplicación de un material asfáltico que se cubre con una capa de material pétreo para impermeabilizar el pavimento, protegerlos del desgaste y proporcionar una superficie antiderrapante.
- TALUD:** Estructuras construidas sobre el terreno con material adecuado, producto de un corte o de un préstamo.
- ZAMPEADO:** Recubrimientos de piedra sin labrar secos o junteados con mortero de cemento o de cal hidratada, construidos sobre superficies horizontales o inclinadas, para protegerlas contra las erosiones.

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

- 1.- INFORME DE LABORES.
SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS.
S.O.P., MEXICO 1975.
- 2.- PAVIMENTACION DE CAMINOS Y AEROPISTAS
ING. JESUS GONZALEZ HERMOSILLO.
TOMOS I Y II
- 3.- MANUAL DE PROYECTO GEOMETRICO DE CARRETERAS
SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES.
S.C.T., MEXICO 1983.
- 4.- CONSTRUCCION DE LA CARPETA ASFALTICA DE LA
AUTOPISTA LOS REYES TEXCOCO EDO. DE MEXICO.
U.N.A.M., MEXICO 1976.
- 5.- MANUAL DE CAMINOS VECINALES
ING. RENE ETCHARREN GUTIERREZ.
AMC., A.C. Y RYSI, S.A.
- 6).- CAMINOS PLANEACION, DISEÑO GEOMETRICO, TERRACE-
RIAS Y DRENAJE.
ENRIQUE ESPINOSA DE LEON.
OCTAVIO HERNANDEZ PELAEZ.
E.N.A., CHAPINGO, MEX.
- 7.- MANUAL DE DRENAJE PARA CAMINOS RURALES.
E.N.E.P. "ARAGON" U.N.A.M. INGENIERIA.
ING. FERNANDO OLIVERA BUSTAMANTE.
- 8.- TECNOLOGIA PARA EL PROYECTO DE PAVIMENTOS
FLEXIBLE (PORTER MODIFICADA).
E.N.E.P. "ARAGON" INGENIERIA U.N.A.M.
- 9.- DISEÑO DE PAVIMENTO DE CONCRETO
PORTLAND. CEMENT. ASSOCIATION.
LIMUSA.
- 10.- APUNTES DEL CURSO DE PAVIMENTOS.
U.N.A.M.
- 11.- VIAS DE COMUNICACION.
CARLOS CRESPO VILLALAZ.
LIMUSA.