

R 6916

H 9 4

TESIS DE GRADO

PARA OBTENER EL TITULO

DE

INGENIERO CIVIL

EN LA

ESCUELA NACIONAL DE MINAS



MEDELLIN OCTUBRE DE 1927

Departamento de Antioquia

Republica de Colombia

Presidente de Tesis:

Dr. Eduardo Orozco

Presentada por:

Enrique González Mesa
11

ESTATUTOS UNIVERSIDAD NACIONAL

"Art. 200 - El Presidente de Tesis, el Consejo de Jueces de Tesis y el Consejo Examinador: NO serán responsables de las ideas emitidas por el Candidato."

T
625.8
E65e

PRINCIPALES OBRAS CONSULTADAS

✓ IRA O. BAKER

ROADS AND PAVEMENTS

ARTHUR H. BLANCHARD

ELEMENTS OF HIGHWAY ENGINEERING

WILSON G. HARGER

THE LOCATION, GRADING AND DRAINAGE OF HIGHWAYS

..

RURAL HIGHWAY PAVEMENTS

W. H. BARTON AND
LOUIS H. DOANE

SAMPLING AND TESTING OF HIGHWAYS MATERIALS

HUBBARD + PREVOST

DUST PREVENTIVES AND BINDERS

..

LABORATORY MANUAL OF BITUMINOUS MATERIALS.

P. L. GAVRIAN

LES CHAUSSEES MODERNES.

REVISTAS

INGENIERIA INTERNACIONAL

TIERRA Y ROCA

CATALOGOS

INDICE

	PAG.
PROLOGO.....	1
CAPITULO I ↵ Drainage.....	3
,, II - Conservación de los caminos de tierra	7
III - Mejora de los caminos de tierra con el trata- miento de arena y arcilla.....	9
IV - Espesor de los pavimentos.....	15
V - Carreteras de grava.....	19
VI - Carreteras de macadam hidráulico.....	24
VII - Efectos del tráfico automóvil.....	30
VIII ↵ Productos hidrocarbonados.....	32
LX - Macadam bituminoso.....	37

ESTUDIO SOBRE PAVIMENTOS INTERIORES PARA CARRETERAS.-

Las ventajas de las carreteras son suficientemente reconocidas por todo el mundo para entrar a enumerarlas. El desarrollo creado por un buen sistema de carreteras no puede ser previsto como puede demostrarlo el dato siguiente: en el estado de Wisconsin se registraron en el año de 1917 unos 3700 vehículos y en dicho año se decretó un programa general de carreteras y con esto en 1926 el número de vehículos registrados ascendía a 500.000.

Lo anterior no necesita comentarios, un aumento de tráfico como el que puede resultar de la diferencia de tales números tiene que representar un progreso material e intelectual para la comunidad.

Los Estados Unidos después de estudios cuidadosos en un sinnúmero de vías han basado la construcción y reconstrucción de sus pavimentos en la clase y número de vehículos que pasan por ellas, y no en la construcción inmediata del mejor tipo. El fin principal es facilitar el tránsito de vehículos sobre todas las carreteras que forman el sistema, reduciendo las pendientes, mejorando los desagües, haciendo las conexiones indispensables, dejando para después la construcción de pavimentos de mejores clases.

La aplicación de este sistema da por resultado la mejora progresiva gradual de los caminos, consistiendo primero en mejorar las rasantes y los desagües, segundo la construcción de superficies del tipo menos perfeccionado, tercero pavimentos que pudiéramos llamar intermedios y por fin el pavimento que demanda el tráfico.

En cada una de estas etapas la mejora se proyecta de manera que pueda servir de base a la mejora siguiente.

La rasante y los desagües son dos detalles que siempre deben proyectarse y ejecutarse de manera que queden apropiados para recibir pavimentos de las mejores clases. Aun cuando se prevea que el número de vehículos no aumenten por mucho tiempo en un camino o aun cuando la clase de pavimento existente parezca satisfactoria por el momento, la rasante y los desagües deben proyectarse para un tráfico intenso, pues las mejoras en los caminos hacen aumentar considerablemente el número y peso de los vehículos que transitan por ellos.

Suponiendo que todos los caminos que forman un sistema, hayan sido trasados y sus rasantes arregladas de acuerdo

con normas establecidas para carreteras de primer orden, lo que primeramente debe mejorarse es la superficie, aprovechando algún material que se tenga a mano, tales como las arenas, arcillas o gravas. La operación siguiente es la construcción de una capa común de macadam hidráulico, en el caso de que los vehículos que transitan por el camino tengan llanta metálica; si las llantas son de goma, es preferible el macadam asfáltico, pues el macadam hidráulico se destruye rápidamente bajo la acción de las llantas de goma. Si el camino está destinado a automóviles de poco peso, bastará la construcción de una capa de macadam hidráulico con una superficie preservativa contra el polvo de asfalto, en el caso de tráfico más intenso se necesitará un macadam asfáltico hecho por penetración.

En los lugares donde la estadística de caminos muestre un gran número de vehículos pesados, el pavimento de grava o de arena y arcilla puede mantenerse todo el tiempo que su conservación resulte económica, pero tan pronto como el coste de reparación resulte excesivo, debe mejorarse.

Además de todos los tipos de macadam conocidos, existen muchas otras combinaciones de materiales con las que pueden construirse diversos tipos de pavimentos adecuados a clases intermedias de velocidades, pesos y tipos de vehículo. Una de esas combinaciones es la que recientemente se ha puesto en uso, consiste en la aplicación de arena preparada con petróleo asfáltico a los caminos de grava y arcilla arenosa, cuya duración aumenta considerablemente con tal combinación.

El éxito de estos pavimentos, repetimos, depende de la perfección con que se hallan preparado la rasante y los desagües.

Resumiendo lo dicho hasta aquí: el método progresivo, o sea la construcción por etapas de carreteras, consiste, en la construcción inicial de un camino de poco costo, pero en cuanto a trazado, rasantes, alineamientos y desagües definitivos como para carreteras de primer orden. Después se mejora la superficie progresivamente según el tráfico y aprovechando los pavimentos anteriormente construidos.

Vemos la conveniencia de estudiar la construcción de estos pavimentos según los últimos adelantos efectuados en Estados Unidos, Francia, Inglaterra y Europa en general. Por ser esta materia de por sí bastante extensa, nos concretaremos a los detalles más interesantes de su construcción y conservación.

Añadiremos además, que en lo que a pavimentos se refiere, mucho falta por hacer aún en los países más avanzados, sin embargo, después de enseñanzas útiles obtenidas en la práctica, se ha logrado estandarizar determinados sistemas que son el fruto de numerosas experiencias.

Como podemos verlo en el cuadro adjunto, en Estados Unidos las carreteras se hallan clasificadas en cuatro clases principales, según el número de vehículos que transitan diariamente por ellas, el pavimento para cada clase puede verse asimismo en el cuadro adjunto.

CAPITULO I

DRENAJE.

El primer pavimento que consideraremos es el suelo común de tierra, el cual requiere únicamente un drenaje apropiado. Según esto podemos dividir el drenaje en tres partes.

1. Drenaje superficial, comprende el bombeo conveniente de las rasantes para desalojar las aguas-lluvias de su superficie y las cunetas de la carretera.
2. Drenaje del subsuelo, como su nombre lo indica su fin es retirar las aguas superficiales que humedecen el pavimento y debilitan su resistencia.
3. Drenaje transversal, que da paso a todas las aguas que cruzan el camino, en esta tercera clase están incluidos los puentes, alcantarillas, tajeas, etc. No entraremos a considerar esta última clase por su extensión.

BOMBEO.

Para desalojar las aguas-lluvias de la superficie de la carretera se usan dos tipos generales de bombeo, el parabólico y el circular; el primero se usa en los pavimentos de primera clase, como concreto, asfalto, madera, etc., el segundo, que no es propiamente circular, es una combinación de recta a los lados de la carretera y curva en el centro, este se usa generalmente en los pavimentos de grava, arcilla, etc. La pendiente de la parte en recta se divide en dos partes, plataforma útil y espaldones; la plataforma útil tiene una pendiente que varía entre $1/16$ a $1/24$ según la clase de pavimento, en general esta última es la que se adopta; para los espaldones se usa una inclinación de $1/12$.

Se denomina espaldones la parte comprendida entre las cunetas y la parte consolidada o pavimento propiamente dicho.

CUNETAS.

Las cunetas suelen dividirse en dos clases principales: cunetas del camino y cunetas adicionales. Las primeras van paralelas al camino y sirven para descargar el agua que cae sobre la superficie y taludes de los cortes. Las segundas

recogen las aguas que bajan a lo largo de las colinas y que pudieran descargarse en el camino.

Las cunetas del camino se construyen en dos tamaños, según la cantidad de agua que tengan que descargar se les da una profundidad de 10 a 30 cm. La primera puede descargar las aguas-lluvias de unos 100 m. de carretera, desde que sean sólo las aguas que caen sobre la superficie del pavimento y los taludes. La segunda puede descargar unos 600 m. de carretera.

La forma de las cunetas del camino debe ser triangular. La forma cuadrada o trapezoidal es de difícil conservación y peligrosa para el tráfico. La forma triangular se repara con facilidad con una niveladora y su sostenimiento es más barato.

En las pendientes fuertes la velocidad del agua produce erosión según la calidad del terreno. Estas velocidades son:

Arena.....	0.60	a	0.90	metros	por	segundo.
Arcilla.....	0.60	"	1.15	"	"	por
Grava.....	1.50	"	1.80	"	"	"

La tabla adjunta da una comparación entre los dos tipos de cunetas y la velocidad y descarga en diferentes pendientes.

Podemos mejorar notablemente las cunetas poniéndoles un revestimiento de piedra o cascajo. Si usamos empedrado, las dimensiones de las piedras pueden variar entre 7½ y 20 cm. Si usamos cascajo o piedra quebrada la mezclaremos con un poco de arcilla.

Las cunetas adicionales recogen las aguas que caen más allá de la superficie del pavimento, sus dimensiones se determinan por medio de la fórmula de Kutter para canales abiertos.

$$Q = AV$$

A = área de la cuneta.

V = velocidad del agua.

$$V = C \sqrt{RS}$$

R = Radio hidráulico. = A/P

P = Perímetro mojado.

C = Constante dada por la fórmula:

$$C = \frac{a + \frac{l}{n} + \frac{m}{s}}{1 + \left(a + \frac{m}{s}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}}$$

n, a, l y m son constantes.

$$a = 41,66$$

$$l = 1,00$$

$$m = 0,00285$$

$$n = 0,035$$

DRENAJE Y SUBSUELO.

El drenaje del subsuelo se efectúa construyendo un filtro que colecte las aguas superficiales del terreno y las desague fuera de la carretera. La colocación y forma de los filtros las describimos a continuación.

Colocar el filtro debajo de la cuneta parece ser el sistema más indicado porque hay excavación mínima y facilidad de reparación sin afectar el pavimento. Colocándolo en el centro quizá el drenaje sea más eficiente pero la construcción debilita el subsuelo y su reparación se haría imposible con pavimentos costosos. Colocarlos entre el espaldón y el pavimento no tiene ventaja ninguna.

La posición del filtro debajo de la cuneta puede dar lugar a alegar la necesidad de dos filtros, uno a cada lado de la carretera. Pero el Departamento Agrícola de Illinois comprobó que en la generalidad de los casos un solo filtro es suficiente.

En efecto, se colocaron dos tuberías de barro a 0.75 m. de profundidad y a 15 m. de distancia, en un terreno el peor que se consiguió en cuanto a humedad. En el punto medio entre las tuberías el nivel del agua llegaba hasta 0.50 m. de la superficie, en tanto que en el resto del terreno llegaba a 0.15 m. Dedujeron que la superficie del agua por efecto de los filtros tenía una cierta inclinación como de un 4%. Nuevas observaciones confirmaron este resultado con respecto a la superficie de saturación. Esta inclinación puede variar con las diferentes clases de suelos.

Hay dos tipos generalmente usados para los filtros: de piedra y tubería de barro. El de piedra recomendable en terrenos arcillosos y cascajosos. El de barro es un poco más caro pero superior en terrenos arenosos donde se destruyen fácilmente los de piedra.

DETERMINACION DE LAS CONDICIONES DEL SUELO.

Hay algunos sistemas para determinar rápidamente y en el campo las condiciones del subsuelo. Los métodos a continuación son recomendados por la Dirección de Caminos de California.

Humedad. Pulverícense 500 gr. de la muestra que se tenga, séquese al aire, quítense todas las piedras que contenga, después mójese lentamente hasta la saturación; esto es hasta que el agua que se agregue se separe de la muestra sin quedar absorbida en la superficie. Este detalle es muy importante pues de él depende la exactitud del resultado.

La consistencia final de la muestra debe ser como de masa, para ser manejada y amasada con una espátula.

Preparada así la prueba pése en una balanza. La diferencia entre el peso de la muestra seca y la muestra mojada representa la cantidad de agua absorbida.

Como regla general el peso del agua absorbida no debe pasar de un 20%. Si el agua absorbida pasa de 20% y no llega al 30% el suelo es regular. Si la cantidad pasa de 30% el suelo es malo y habrá que darle algún tratamiento antes de construir sobre él.

Prueba de contracción. Los suelos compuestos de material que se contrae o se dilata son impropios para construir sobre ellos, pues sus variaciones de volumen producen grietas y desigualdades en los pavimentos. Este es el método para determinar la contracción o dilatación del suelo:

Mézclase lentamente agua a una muestra del suelo por experimentar como se hizo en la prueba descrita antes, dejando la mezcla final con consistencia de masilla. Ténganse preparados unos moldes de hierro galvanizado o madera impregnada de aceite, cuyas dimensiones sean de 30 cm. de largo, 3 cm. de ancho y 3 cm. de profundidad. La anchura y profundidad del molde pueden variar siendo iguales entre sí, pero la longitud tiene que hacerse de tal manera que cada centímetro sea una parte alícuota de las anteriores. En dichos moldes se vierte la muestra para formar unas barras que después se sacan y dejan secar al sol. Una vez seca la barra se mide. La diferencia entre su longitud primitiva y su longitud después de seca, representa la contracción que ha sufrido. Si la contracción es mas de un 5% o sea para nuestro caso uno y medio centímetros deben tomarse precauciones respecto al subsuelo.

DRENAJE EN V.

Existe además otra forma de drenaje del subsuelo llamada drenaje en V que es muy recomendable en los terrenos de gran humedad y variación en la contracción.

Este sistema quizás es mejor que construir dos zanjas laterales con sus filtros correspondientes. En las figuras adjuntas puede observarse el sistema.

La construcción de un buen drenaje es quizás el factor más interesante de todo pavimento. Es la primera etapa del programa de construcción de carreteras obtener una superficie resistente para soportar los pavimentos anteriores.

Teniendo una superficie bien drenada, tenemos ya un camino común de tierra, por donde un tráfico mediano puede regularizarse en el transcurso de todo el año.

CAPITULO II

CONSERVACION DE LOS CAMINOS DE TIERRA.

Los caminos de tierra necesitan una conservación mayor que cualquier otro camino. Estudiaremos a continuación algunos puntos principales.

Organización. Hay tres sistemas principales de organización para la conservación de los caminos y carreteras.

- 1º. Peones camineros.
- 2º. Cuadrillas.
- 3º. Contratos.

En el sistema de peones camineros un solo peón tiene asignada la conservación y vigilancia de determinado número de kilómetros, cinco o diez kilómetros por lo regular. Su habitación estará colocada en el centro de su sección. Debe ser un hombre animoso pues su trabajo es ingrato, no desalentándose si después de varios días de trabajo arreglando la superficie del camino una tormenta destruye sus esfuerzos. La estabilidad en determinada sección aumentará su experiencia en las necesidades de ella. La remoción del personal, no es pues conveniente.

El equipo del trabajo de un peón caminero consta más o menos de los siguientes elementos:
Un caballo, una rastra, un azadón, una pala, barra, carreta de mano, escobas y una vasija pequeña para el aceite.

En el sistema de cuadrillas, muy usado en los Estados Unidos, se acostumbra hasta 12 hombres. Cuando la cuadrilla consta de 4 peones, van equipados con sus herramientas correspondientes y un camión de una tonelada. El radio de conservación asignado a esta cuadrilla es de 25 a 40 kms.. Este sistema ha dado magníficos resultados por su rapidez y movilidad. Tiene además la ventaja de concentrar la responsabilidad en un peón más diestro que los otros. En las cuadrillas de 8 a 12 hombres, van equipados con un camión de 3 toneladas y tiene a su cargo una sección de 30 a 70 kilómetros. Estas últimas cuadrillas dan magníficos resultados en el sistema de mejoramiento progresivo de carreteras, pues con ellas se perfecciona en las épocas de poco trabajo determinado número de kilómetros.

En el sistema de contratos, se usan cuadrillas como en el último caso. La dirección general le suministra la maquinaria necesaria y las especificaciones y forma de efectuar el trabajo.

Reparaciones. Un camino de tierra debe ser reparado con el mismo material de que está formado, por ejemplo, si tenemos un camino de arcilla, no debemos reparar los huecos y baches con grava o piedra quebrada. La diferencia de dureza de los materiales establecerán dos huecos en lugar de uno a ambos lados del anterior. Además se ve feo y constituye un tropiezo en medio del camino.

La reparación del camino debe hacerse después de las lluvias, en que el terreno está blando y húmedo atendiendo

las secciones que se secan primero o que pueden deteriorarse más rápidamente por efecto de la humedad.

Las cunetas pueden desherbarse con herramientas de mano, pero con una niveladora, trailla de arrastre o back filler board se efectúa mucho más rápidamente este trabajo. Las figuras adjuntas muestran las diferentes máquinas para reparar las cunetas.

Los postes de la luz y del telégrafo deben colocarse más allá del límite de las cunetas, pues de lo contrario no se podrían operar rápidamente estas máquinas.

Rastras. Las rastras son de madera o de acero, consisten en general en un marco de madera o acero unidas por una cadena al sistema motor que las arrastra, camión, tractor, caballos.

La operación eficiente de las rastras envuelve dos principios, que vienen a facilitar enormemente el trabajo si se aplican inteligentemente. El primer principio se refiere a la longitud del enganche de la cadena, la distancia del enganche a la rastra afecta la profundidad del corte, más distancia, más corte. El segundo principio se refiere a la posición del conductor sobre la rastra; éste debe moverse adelante o atrás, apoyándose sucesivamente en las vigas correspondientes para afectar con su peso el corte.

El ángulo de inclinación de las rastras con el eje de la carretera, debe ser de 45° . Se debe empezar a ras-trar de las cunetas hacia el centro.

Niveladora. Una niveladora de hoja invertible es la que se usa generalmente en la conservación de los caminos de tierra. Sus funciones pueden resumirse:

- 1º. Cuando está inclinado un ángulo determinado forma el bombeo del camino.
- 2º. Si el camino está blando después de una lluvia, disminuye e iguala las rodadas moviendo el material de la superficie de los montículos a los huecos.
- 3º. Puede servir para secar el camino después de las lluvias, extendiendo los charcos y aumentando la superficie de evaporación.
- 4º. Si el material superficial está blando, la hoja cerrará los poros superficiales e impermeabilizará la superficie.
- 5º. Con un dispositivo especial puede reparar las cunetas y los taludes.
- 6º. Deshierba las cunetas y espaldones.

En las láminas adjuntas pueden verse algunas clases de niveladoras y su forma de tracción.

Preservativos contra el polvo. Se usan varias clases de preservativos entre los cuales los principales son:

- El cloruro de calcio;
- Cloruro de magnesio;
- El aceite;
- El agua de mar.

Cloruro de calcio. La comisión de carreteras de California después de varios años de experimentos ha obtenido la siguiente fórmula:

Primer año.....1.350 gramos de $CaCl_2$ por mt^2 .
Segundo año..... 475 " " " " " "

Para hacer la aplicación de la sal, se necesita arreglar y uniformar bien la superficie. Luego se humedece con agua hasta la saturación. Se extiende luego una capa de 675 gramos por $mt.$ cuadrado y al cabo de 10 días se pondrá igual cantidad. Durante el espacio de un mes se regará el camino una vez por semana.

Cloruro de magnesio. La misma comisión tiene la siguiente fórmula:

Primer año.....1.410 gramos de $MgCl$ por mt^2
Segundo año..... 540 " " " " " "

Estas cantidades no son absolutas y pueden sufrir variaciones según las regiones y según los terrenos.

Aceite. La misma comisión ha obtenido magníficos resultados por el tratamiento con aceite. Durante el primer año, se aplican $2\frac{1}{2}$ litros por metro cuadrado, en los años siguientes $1\frac{1}{2}$ libro por metro cuadrado. Es conveniente después de esta aplicación esparcir una capa ligera de arena a razón de 1 metro cúbico por cada 100 a 150 metros cuadrados de carretera.

Más adelante estudiaremos más extensamente este asunto de los preservativos contra el polvo.

Sal de mar. El agua de mar por su porcentaje de cloruros de calcio, sodio, magnesio, se aplica con muy buen éxito en las regiones vecinas al mar. Los balnearios europeos y americanos hacen gran consumo del agua de mar en sus parques y avenidas.

CAPITULO III

MEJORA DE LOS CAMINOS DE TIERRA CON EL TRATAMIENTO DE ARENA Y ARCILLA.

Un camino común de tierra puede ser mejorado notablemente cuando tengamos arena y arcilla a nuestra disposición

TEORIA DEL TRATAMIENTO. La arena siendo compuesta de pequeñas partículas de roca que están poco expuestas a desgastarse bajo la influencia de los agentes externos tiene un poder de cementación muy reducido. La arcilla está compuesta de partículas finísimas de rocas pulverizadas, tan pequeñas, que nadan en la capa de humedad que las rodea, no tienen adhesión mecánica alguna, pero poseen cierta cementabilidad.

Cuando la arena está húmeda, el agua aumenta el poder de cementación siendo suficientemente resistente para ~~se-~~portar el paso de un carro o caballería sin deformación de la superficie. Cuando la arena está seca el poder de cementación del agua desaparece y la deformación de la superficie puede variar entre 2 y 10 cm. según la calidad de la arena.

Si la arena contiene arcilla, feldespatos o partículas de roca capaces de desintegrarse posteriormente, se cementará en una forma más o menos resistente. Por tanto, una mezcla de arena y arcilla produce un pavimento sólido por la resistencia mecánica de aquella y la acción aglutinante de la arcilla. Su principio es el mismo del concreto y el asfalto, un material obra como liga y otro resiste la acción del tráfico.

Conviene definir los términos de arena y arcilla para mayor claridad del asunto:

Se llama arena, todo material retenido por un pedazo número 200.

Se llama grava, todo material retenido por un cedazo número 10.

Se llama arcilla, todo material que pasa por un cedazo número 200.

ANALISIS DE LAS ARCILLAS Y ARENAS. Efectuaremos varios ensayos para obtener el mejor resultado posible, tomando las muestras de diferentes lugares y a diferente profundidad.

ANALISIS Nº 1. Separación de la arena y arcilla. Hay dos métodos:
1º. La muestra se seca al sol y pulveriza en un mortero, el material se clasifica con un cedazo # 10 y # 200. El material retenido por el cedazo # 10 es grava; el intermedio entre el # 10 y el # 200 es arena y el que pasa el cedazo # 200, arcilla. Luego se determinan los porcentajes por peso o volumen.

2º. La separación de la arena y arcilla puede hacerse por decantación. Se toman unos 150 gr. de la muestra y se secan a una temperatura de 100 gr.C. Luego se pesan 100 de ellos y se colocan en una vasija donde se lavan con agua hasta tanto que la muestra no enturbie más el agua que agregamos. De esta manera toda la materia orgánica, lodos, arcilla, son removidos de la muestra. Después se seca el residuo y se pesa, esto da el porcentaje de arena.

ANALISIS # 2. Análisis mecánico de la arena. El residuo seco

del análisis anterior se pasa luego por orden a través de cedazos # 10-20-40-60-100-200. Los porcentajes retenidos en cada uno de ellos se calcula y tabula:

Los estudios del profesor Koch en más de mil análisis lo han llegado a las siguientes conclusiones con respecto a las propiedades más convenientes de los materiales y que resumiremos en la siguiente regla:

- 1º. El % de arena despreciando sus dimensiones no debe servir de norma.
- 2º. La arena que pase el cedazo # 60 tiene poco valor, la que pase el # 100 es perjudicial.
- 3º. Mientras mayor sea la proporción de arena gruesa más durable y resistente será la superficie del camino.
- 4º. Para obtener los mejores resultados con mezclas de arena y arcilla tenemos la siguiente mezcla standard que recomienda el profesor Koch.

Material que pase por un tamiz #	200	-	39%	-	clas. como arcilla.
" " " " " "	"	100	-	47"	- 8)
" " " " " "	"	60	-	55"	- 8
" " " " " "	"	40	-	70"	- 15 Clasificado como
" " " " " "	"	20	-	85"	- 15 arena 61%
" " " " " "	"	10	-	100"	- 15

Suponiendo una tolerancia de 6% la mezcla práctica de arena y arcilla será:

Material que pase por un tamiz #	200	varía entre	33	a	45%
" " " " " "	"	"	"	"	41 " 53"
" " " " " "	"	"	"	"	49 " 61"
" " " " " "	"	"	"	"	64 " 76"
" " " " " "	"	"	"	"	79 " 91"
" " " " " "	"	"	"	"	100 %

Si se tiene material de dimensiones mayores al número 10 puede usarse también pero sin exceder de 5 cm. de diámetro.

El comité sobre materiales para carreteras de la A.S.T.M. indicó los siguientes límites para las mezclas de arena y arcilla:

Cantidad de arena.....	50	a	80%
Material retenido por tamiz #	50..25	"	50"
" " " " " "	"200..5	"	20"
" no " " " "	"200..15	"	30"

En este caso los porcentajes se refieren a materiales separados entre los diversos tamices.

ANALISIS # 3. Se han ideado dos métodos para analizar la resistencia de las mezclas de arena y arcilla, aunque no difieren en su principio.

1º. Método de Koch. Un tubo de ensayos de 1" de diámetro y 3" de longitud se llena con material que ha pasado por un cedazo # 10, humedeciéndolo un poco para formar una pasta. El cilindro se introduce en un baño de maría para secarlo. Luego se retira el pequeño cilindro del tubo y se sumerge en agua a 21 gr.C., se anota el tiempo que tarda en desintegrarse el cilindro. La experiencia del Dr. Koch ha determinado que las muestras que resisten de dos minutos para arriba, son buenas. Esto da pues una idea de la resistencia del terreno a la acción del agua.

El mismo experimento se aplica a las arcillas con una variación en el tiempo de desintegración entre dos y 20 minutos.

2º. Método de James. Se hacen mezclas de arcilla y arena en diferentes proporciones entre los siguientes límites:

Arena.....1	1	1	1	1	1½	2	2½	3
Arcilla...3	2½	2	1½	1	1	1	1	1

Se toman de estas mezclas cierta cantidad para hacer pequeñas bolas como para hondas o caucheras, se humedecen un poco para poderlas amasar mejor. Se ponen a secar al sol después de colocarlas sobre pequeños papeles para distinguirlas por su numeración. Una vez secas se colocan en un plato o vasija en un orden riguroso. Luego se introduce agua lentamente a la vasija y se anota la velocidad o tiempo con que se desintegran las distintas muestras. Las que tienen un exceso de arena se desintegran primero, las que tienen exceso de arcilla, después, las que están convenientemente mezcladas, resisten muchísimo más.

ANALISIS # 4. Determinación de la mica y feldespató. El examen de la arena con un lente o microscopio nos puede dar una idea general del porcentaje de mica y feldespató. También pueden separarse por medio del agua por sus diferencias específicas con el cuarzo.

Si la mica existe en una proporción de más de 5% es perjudicial, pues obra como lubricante. El feldespató no debe tener una proporción de más de 8 a 10%.

CONSTRUCCION.

En lo referente a construcción podemos seguir las indicaciones del señor Ingeniero W.S. Keller, quien ha construido varios kilómetros de carreteras de arena y arcilla con magnífico resultado.

" Todo hacendado que vive en una región en donde abunde la arcilla y arena está viajando seguramente por un camino areno-arcilloso, pero él quizá lo ignora. Puede recordar que cierto trecho del camino que transita se conserva en buenas condiciones en todas las épocas del año, no necesitando reparación alguna. Podrá además observar como primer factor el buen drenaje que tiene el terreno en dicho lugar y si sigue en sus observaciones comprobará que la superficie está formada por una mezcla de arena y arcilla."

" Si este pequeño trecho está en buen estado, durante la estación lluviosa, podemos utilizar la enseñanza de la naturaleza y mejorar el resto del camino. Primero lo explicaremos y drenaremos en una forma semejante al trecho citado. Segundo, agregaremos el material necesario para formar una mezcla semejante a la que encontramos en dicho lugar."

" Si no se puede hallar una mezcla apropiada para explotarla como de una cantera y aplicarla al camino, si es posible hallar los materiales aislados y formar con ellos una mezcla que llene las condiciones necesarias. Si sucede que después de arreglado el camino vemos que hay un exceso de arena, bastará agregar arcilla, si hay exceso de arcilla agregaremos arena."

Podemos pues considerar cuantros formas principales de construcción:

- 1º. Mezcla preparada y colocada sobre el terreno.
- 2º. Arena y arcilla colocadas en el terreno en capas separadas y mezcladas allí.
- 3º. Arcilla transportada sobre un terreno de arena y mezclada con la arena.
- 4º. Arena transportada sobre un suelo arcilloso y mezclada con arcilla.

1º. Una mezcla natural de arena y arcilla puede hallarse con frecuencia en los lugares donde existen estos materiales por separado. Lo más importante es encontrar una mezcla apropiada. Puede resolverse esto con una observación cuidadosa del camino el cual nos indicará la sección de mezcla más conveniente.

Tomamos entonces una muestra de esta sección y de otras del resto del camino pudiendo determinar así los elementos que faltan a las otras.

Uno de los indicios de encontrar esta mezcla es la tierra roja común la cual es muy apropiada para esta clase de caminos. Puede asimismo servirnos de guía la observación de los taludes del camino, los cuales serán más o menos resistentes según la calidad del terreno.

Antes de colocar la arena y arcilla sobre el camino debe nivelarse. La superficie debe ser ligeramente bombeada como de unos 4 cm. por metro. La capa de arena y arcilla se colocará con un espesor de 20 a 30 cm. según la calidad de las fundaciones. Con una arcilla dura como base, son suficientes 20 cm.. Si el suelo es de arena debe ponerse por lo menos 30 cm.. Después de colocar unos 100 m. de superficie, se pasa una niveladora para uniformar y rectificar el bombeo para evitar que se endurezca la parte superior. La cuchilla puede invertirse para alisar la superficie y es práctica recomendable pasar la niveladora con la cuchilla invertida, alternadamente. Efectuado el trabajo de la niveladora se debe pasar la rastra la cual da el último toque a la superficie uniformando y alisando las desigualdades que haya podido dejar la niveladora.

Pero un camino de arena y arcilla no estará terminado con esto. Lo dejaremos en la forma descrita hasta aquí aunque apenas una ligera corteza protege un material suelto debajo de ella. Después de la primera lluvia esta corteza se ablanda y el trabajo aparentemente está perdido. Pero justamente necesitamos esto para consolidar el camino. Dejamos que la superficie se ablande lo suficiente para alisarla y bombearla con la rastra, haciendo esta operación por lo menos una vez por día hasta tanto que el sol haya endurecido la superficie. Sería un error retirar el tráfico durante este tiempo, pues el efecto de las herraduras de las bestias y las llantas de los vehículos contribuye a mezclar y uniformar la mezcla.

En estos caminos no tiene mayor efecto el empleo de la cilindadora; en cambio el de la rastra es indispensable.

2º. Arena y arcilla trasportadas al terreno y mezcladas allí.

Este caso se presenta cuando el suelo del camino de tierra no tiene ni arena ni arcilla y además no encontramos una mezcla natural de estos dos materiales aunque podemos obtenerlo por separado. La arcilla se coloca primero con un espesor de 10 cm. en toda la anchura del camino. No debe esparcirse más de unos 100 metros de carretera, pues podría endurecerse y dificultar la operación. Luego colocamos una capa de arena de 15 cm. y el conjunto lo aramos y escarificamos para uniformar la mezcla. Estas operaciones es mejor efectuarlas en épocas de lluvia, pues el terreno está más blando y requiere menos esfuerzo. El tráfico ayuda muchísimo y debe concentrarse el máximo posible. Después que la mezcla aparezca uniforme se bombeará y explanará la superficie en la forma indicada.

3º. Arcilla colocada sobre un suelo de arena.

La construcción es semejante al caso anterior. Sólo añadiremos que siendo el suelo de arena, se debe aumentar la cantidad de arcilla hasta unos 12 cm. de espesor.

49. Arena colocada sobre un suelo de arcilla.

La arcilla del terreno será arada o escarificada hasta una profundidad de 10 cm. . Un cilindro de discos, si se dispone de él , pulverizará la arcilla, si no se dispone de tal cilindro , un rastrillo como el que se ve en la fig. adjunta será suficiente. La arcilla ya pulverizada se mezcla con una capa de arena de 15 cm. de espesor.

La arcilla y arena se mezclan mejor húmedas, pero como la operación puede hacerse durante el verano , es necesario mantener el bombeo y forma de la superficie hasta tanto que las primeras lluvias sobrevengan; entonces el tráfico y la consolidación efectuarán la mezcla.

Un camino de arena y arcilla es de conservación muy barata y sencilla, pues se repara con su propio material; una rastra niveladora repara el camino devolviéndole su superficie original. El uso de la rastra es suficiente para mantener una superficie uniforme además que la mejora con la conservación. Los huecos se reparan agragando más material. Las secciones deben estudiarse, sea con respecto a su drenaje o a los materiales que las componen. Si el camino se deteriora mucho, basta escarificarlo y agregar más arena y arcilla.

Mientras el tráfico no sea de unos 300 vehículos diarios, puede conservarse esta superficie; el peso de los vehículos no debe exceder de 7000 lbs. por llantas de 10" de anchura.

Un camino de arena y arcilla necesita de unos 500 metros cúbicos de arcilla por kilómetro y 750 metros cúbicos de arena para una anchura de 5 metros.

CAPITULO IV

ESPOSOR DE LOS PAVIMENTOS.

Para calcular el espesor de los pavimentos se tienen en cuenta tres factores principales:

- 1º. Tráfico;
- 2º. Suelos;
- 3º. Forma de distribución de la presión a la fundación.

1º. TRAFICO. La carga máxima que tiene que resistir un pavimento es producida por los camiones modernos que viajan a grandes velocidades. Los automóviles de pasajeros y vehículos de tracción animal no necesitan considerarse en cuanto al peso que transmiten al pavimento.

Los reglamentos de tráfico de los diferentes estados de la Unión Americana han limitado aproximadamente entre

Los límites que indicamos:

Peso máximo del camión cargado... 22.000 a 28.000 lbs.
 Presión por pulgada de anchura de llanta..... 600 " 800 "
 Carga máxima por rueda (vehículo parado)..... 8.000 " 10.000 "

C L A S E	GARGA TOTAL EN LBS.	VELOCIDAD MILLAS POR HORA.
AA	7.000	20
A	11.000	20
B	15.000	18
C	20.000	15
D	24.000	15
E	26.000	12
F	28.000	10

Tabla de experimentos del U.S Bureau of Public Roads.

1½	1½	3.475	2.410	1.065	5.500	7.800	10.200
1½	1½	3.475	2.410	1.065	4.500	6.300	11.500
1½	2½	4.240	3.175	1.065	4.700	10.000	16.000
1½	2½	4.240	3.175	1.065	4.900	5.900	9.200
2	2	4.300	3.300	1.000	6.800	7.800	11.500
2	2	4.300	3.300	1.000	6.800	8.500	13.400
2	2	4.300	3.300	1.000	6.800	7.900	11.000
2	2	4.300	3.300	1.000	6.800	7.500	11.000
2	3	4.900	3.900	1.000	7.200	8.500	14.000
2	3	4.900	3.900	1.000	7.300	8.600	13.700
2	3	4.900	3.900	1.000	6.800	8.000	11.000
3½	2½	5.150	3.450	1.700	8.400	9.200	15.700
3½	4½	7.000	5.300	1.700	10.000	10.000	19.000
3½	4½	7.000	5.300	1.700	10.000	11.000	15.300
5	5	7.900	5.950	1.950	11.000	12.800	18.000
5	5	7.900	5.950	1.950	9.200	9.700	13.000
5	7½	10.600	8.650	1.950	12.200	15.300	26.000
65	7½	10.600	8.650	1.950	11.200	12.100	15.800

Estas limitaciones no representan los esfuerzos reales y deben ser modificadas considerando el impacto como podemos verlo en la última tabla.

Las siguientes recomendaciones están aconsejadas por W.G. Harger, para el cálculo del espesor del pavimento:

CLASIFICACION..	PESO ESTÁTICO/RUEDA INCLUYENDO EL IMPACTO.						
1ª - 2ª clase	16.000	lbs.	en	llantas	de	12"	pav. rígidos.
800 vehículos/día	14.000	"	"	"	"	12"	flexible.
	12.000	"	"	"	"	12"	elástico.
3ª clase	12.000	"	"	"	"	12"	rígido.
300 - 800/ día	9.000	"	"	"	"	10"	flexibles.
4ª clase.							
hasta 300 diarios	7.000	"	"	"	"	10"	flexible.
Rígidos:	Bloques de asfalto, concreto, ladrillo, piedra.						
Flexibles:	Asfalto, bituminoso, grava, etc.						

SUELOS. El segundo factor que se estudia en el espesor de los pavimentos es la resistencia de los suelos. La capacidad de los suelos varía muchísimo en los distintos terrenos; así como en las diferentes épocas del año, esto dificulta el uso de valores definidos para la capacidad de los suelos. Esta capacidad en los pavimentos es un 50% menos que la usada para los cimientos de edificio por estar más afectados por las lluvias, vibraciones del tráfico y capilaridad de los terrenos.

La tabla que damos a continuación está recomendada para usar en combinación con la fórmula que desarrollaremos más adelante.

DISTRIBUCION DE LA PRESION AL SUELO. Las superficies de macadam, grava, telford, distribuyen de manera diferente la presión al terreno, pero como resultado de numerosos ensayos puede suponerse que la presión se distribuye con un ángulo de 45°.

CAPACIDAD EN LIBRA POR PULGADA CUADRADA DE LOS SUELOS

C L A S E.	LOCALIZACION.		
	En cortes o terraplenes de 1 pie.	En terreplenes de 1 - 3 pies	En terraplenes de más de 3 pies.
Arena fina	4 - 8	8 - 15	15
Arcilla pura	4 - 8	10 - 17	17
Arcilla ordinaria	8 - 13	13 - 19	19
Arcilla y barro	13 - 17	17 - 20	20
Marga	17 - 21	19 - 21	21
Arcilla arenosa	21 - 25	23 - 25	25
Arena gruesa	25 - 30	27 - 30	30
Grava fina	25 - 30	27 - 30	30

Nota: Esta tabla ha sido calculada para localidades con invierno muy fuerte y puede tomarse con seguridad para los cálculos de la fórmula 1.

En las figuras 1 y 2 se puede ver la suposición hecha sobre la presión transmitida por el pavimento. Luego si llamamos:

W = carga estática en libras de una rueda más el impacto.

T = Ancho de la llanta en pulgadas .

D = Espesor del pavimento en pulgadas.

B = Presión máxima que puede resistir el suelo en libras por pulgada cuadrada, tomadas de la tabla anterior.

Area de distribución de la presión: (Véase fig. 1)

$$\begin{aligned}
 A &= \pi D^2 + 2DT \\
 &= 3,14 D^2 + 2DT \\
 &= 3D^2 + 2DT \text{ (prácticamente)}
 \end{aligned}$$

Luego la presión en el suelo será:

$$B = \frac{W}{A} = \frac{W}{3D^2 + 2DT}$$

$$\therefore D = \sqrt{\frac{W}{3B} + \frac{T^2}{9}} - \frac{T}{3}$$

D = espesor del pavimento puede ser transformado para las distintas clases de tráfico antes enunciadas así:

Primera clase:

$$D = \sqrt{\frac{48.000}{9B} + 28} - 5,3$$

Segunda clase:
$$D = \sqrt{\frac{12.000}{3B} + 16} - 4$$

Tercera clase:
$$D = \sqrt{\frac{9.000}{3B} + 11} - 3,3$$

Cuarta clase:
$$D = \sqrt{\frac{7.000}{3B} + 11} - 3,3$$

Los espesores así determinados no se construyen de un material muy fino, por ejemplo, si se fuera a emplear macadam de piedra quebrada esto resultaría muy costoso. Se acostumbra poner una capa de material barato, como piedra suelta, cascajo, empedrados; luego se pondrá el material clasificado en la parte superior como puede verse en la fig. adjunta.

El gráfico adjunto muestra una forma práctica de aprovechar los valores de las fórmulas enunciadas; estos valores han sido calculados sólo para cortes o terraplenes de un pie.

CAPITULO V

CARRETERAS DE GRAVA. La grava puede definirse como fragmentos de roca más o menos redondeados por la acción del acarreo sufrido a lo largo de las corrientes de agua. La grava se encuentra en abundancia en el período reciente o cuaternario; constituye una fuente de riqueza en la construcción de carreteras, pues aunque no tiene las ventajas del macadam de piedra quebrada, su uso se ha extendido muchísimo en los últimos tiempos y en los Estados Unidos constituye el 50% de la superficie de sus carreteras.

Los principios referentes a los caminos de grava son también aplicables a los de macadam hidráulico, pero estos últimos, que se construyen más cuidadosamente, se discutirán aparte.

Para emplear con éxito la grava en los caminos debe llenar las siguientes condiciones:

- 1º . Dureza;
- 2º . Tenacidad;
- 3º . Clasificación por sus dimensiones y
- 4º . Debe tener un material que obre como mortero de las partículas más gruesas.

A continuación enumeramos los principales análisis que debe darse a las muestras de grava para obtener una mejor calidad de material.

ANÁLISIS # 1. Abrasión. El ensayo se hace en la máquina de Deval que consta de uno o más cilindros inclinados en un eje a 30° con la horizontal; las dimensiones de los cilindros son de 20 cm. de diámetro por 34 cm. de alto. Unas 30 lbs. del material son suficientes para el ensayo; las muestras deben ser de dimensiones iguales, unas 50 piedras son suficientes para el ensayo. El peso total de las piedras en un ensayo debe ser de 5 a 10 kgs. Las piedras serán lavadas y secadas antes de introducirlas en el cilindro. 10.000 revoluciones con una velocidad de 30 a 33 por minuto constituyen la prueba. Sólo el % de materiales desprendidos que pase por un cedazo de 0.16 cm. (1/16") se considera como el material desgastado. Se expresa el desgaste con respecto a los 5 kg. usados en porcentaje; o bien según el coeficiente francés que es más usado, dado por la siguiente fórmula:

$20 \times 20/W = 400/W$ en que W es el peso en gramos del material interior a 0.16 cm. por kg. de roca usada.

La siguiente tabla de conversión nos da la relación entre el coeficiente francés y el % de desgaste:

COEFICIENTE FRANCES	TANTO POR CIENTO DE DESGASTE
20.0	2
13.3	3
10.0	4
8.0	5
6.7	6
5.7	7

ANÁLISIS # 2. La grava deberá ser clasificada según sus dimensiones. Las siguientes especificaciones han sido aconsejadas para el valor máximo y mínimo del tamaño de la grava por la A.S.C.E.

"Dos capas de grava, arena y arcilla se usarán; denominaremos mezcla # 1 la capa superior y mezcla # 2 la capa inferior.

MEZCLA # 1. Todo el material pasará por una criba de 1½" y tendrá un 60% retenido en una de ¾"; por lo menos el 25 y no más del 75% del material grueso, (material mayor de ¾" de diámetro) será retenido en una criba de ¾"; por lo menos el 65% y no más del 85% (del material inferior a ¾") será retenido en un tamiz # 200.

MEZCLA # 2. Todo pasará a una criba de 2½" y tendrá de 60 a 75% retenido en una criba de 1"; por lo menos de 65 a 85% del material menor de 1" será retenido en un tamiz # 200.

ANALISIS # 3. Porcentaje de arcilla en la grava. Se disuelven unos 3.200 gr. de cloruro de zinc en un litro de agua. Pesaremos una cantidad de la muestra de 1 kg. , no mayor del # 10. Luego la mezclaremos con la solución y removeremos unos 2 o 3 minutos. Se harán unos 4 análisis . El material disuelto por el cloruro de zinc es el % de arcilla presente en la grava.

MORTERO. La grava lavada no cementa bien, en cambio un pequeño porcentaje de arcilla , marga o caliza es conveniente y necesario. Este porcentaje debe ser de 20% cuando más para la capa inferior y 10% para la superior.

Hay gravas que tienen la propiedad de producir un polvo fino que cementa los materiales, especialmente las que tienen óxidos de hierro, sílice o cal; por tanto la presencia de estos elementos en los bancos de grava será conveniente.

La arcilla puede mezclarse con la grava antes de aplicarla al camino o colocarla en una pequeña capa independiente como se hace en los caminos de arena y arcilla.

CONSTRUCCION. La construcción puede hacerse por dos sistemas:

- 1º. El sistema de zanja y
- 2º. " " achaflanado o en bisel.

El primer sistema resiste más en sus extremidades pero en el segundo esta ventaja puede remediarse colocando una capa un poco más gruesa. (Véanse figuras) .

SISTEMA ACHAFLANADO O EN BISEL. La forma más primitiva de este sistema es transportar la grava tal como se obtiene y esparcirla a montones sobre la superficie de la carretera, la grava no se nivela ni apisona. Durante los dos primeros años esta superficie y la de un camino de tierra no se diferencian en cuanto a su resistencia. La superficie estará llena de protuberancias, huecos, rodadas, que dificultarán el tráfico. Este sistema de construcción puede usarse donde la abundancia de grava y su transporte sea baratísimo. En los EE.UU. aplican este sistema efectuando el trabajo por (Labor Road-Tax) contribución de trabajo en los caminos.

Otra forma de construcción consiste en colocar en los extremos de la zona de tráfico tablonces paralelos al eje del camino; luego se rellena con grava el espacio comprendido entre ellos y se retiran para utilizarlos más adelante; la grava adopta su talud natural en los extremos y es esparcida y uniformada por el tráfico. Los tablonces presentan la comodidad de poder controlar el espesor de la capa. En este sistema no se usa la aplanadora.

En el sistema más moderno de construcción , el camino antiguo de tierra es nivelado cuidadosamente reduciendo su bombeo hasta un 4%. Si después de nivelar su superficie ésta no es resistente, se pasará la aplanadora hasta afirmarla. En seguida colocaremos las fundaciones que serán de un espesor variable según

lo vimos en la parte sobre espesor de los pavimentos. La calidad del material usado hará que se emplee el sistema telfor o macadam para las fundaciones. Si se usa este último las capas se colocarán en espesores no mayores de 15 cm. siendo luego cuidadosamente aplanadas con el rodillo. La relación entre el material suelto y compactado es de 1 a 1,2 o 1 a 1,25, esto es: una capa suelta de unos 20 cm. se compactará en otra de 16 cm. (Véanse figuras).

Sobre la fundación colofaremos el material clasificado de la mezcla # 2 en un espesor de unos 7 a 8 cm. Este será cuidadosamente nivelado a mano con rastrillo. El material no será descargado directamente de los carros sobre la superficie sino amontonado a lo largo del camino; esta previsión se indica para evitar que al descargar un carro el material más grueso se amontone en nódulos, lo cual establecerá desigualdad en la resistencia del pavimento, dando lugar a un desgaste prematuro en las partes débiles.

La consolidación de la superficie debe empezar de los lados hacia el centro del camino. El uso del rodillo de vapor en la consolidación no tiene tanta importancia en los caminos de grava como en los de piedra quebrada o macadam hidráulico; en los primeros el material conglomerante ya está mezclado, en los segundos, está esparcido en la superficie necesitando introducirlo entre las piedras; además el tráfico ayuda muchísimo en la consolidación, pues la presión unitaria por pulgada lineal puede llegar a 600 u 800 lbs., en tanto que con los rodillos de 10 o 15 tons. sólo obtenemos presiones de 350 y 500 lbs. por pulgada lineal.

Si el terreno está húmedo no debe permitirse el tráfico pesado para evitar que la grava se mezcle con el material del subsuelo. Durante la consolidación el uso de rastrillos agrícolas será indispensable para uniformar los huecos y rodadas que aparezcan; todos los huecos se rellenarán con material nuevo a medida que se presenten. El valor de estas ligeras reparaciones estará más que compensado por las economías futuras.

Después de consolidada la primera capa, añadiremos la segunda y procederemos de la misma manera.

SISTEMA DE ZANJA. En este sistema se escava una zanja con la profundidad y anchura necesarias al pavimento. La base de la zanja se hace con el bombeo indicado, o sea el 4%. La base de la zanja será cilindrada para uniformarla y descubrir las secciones débiles. Después de cilindrada cualquier depresión será llenada y nuevamente cilindrada.

Una capa de 10 o 15 cm. es colocada en la zanja y consolidada por el tráfico y la aplanadora. Lo último es mejor, pues el tráfico destruye los costados de la zanja mezclando la tierra con la grava, además las llantas pueden romper esta capa delgada y mezclar la tierra del subsuelo.

Las capas siguientes se agregan tan pronto como la

anterior esté consolidada hasta obtener el espesor necesario. Antes de aplanar la última capa, el terreno a los lados de la zanja, los espaldones propiamente dichos, deben ser aplanados; cuando el aplanado de la grava se comience, se operará de los lados hacia el centro para evitar que la grava se deslice hacia las cunetas.

La grava es mejor consolidarla húmeda, pero si se humedece debe cuidarse: 1º. que el material ligero se vuelva semifluido y se acumule en la superficie; 2º que el subsuelo no sea alterado por la humedad.

COMPARACION ENTRE LOS DOS SISTEMAS. El sistema biselado es más barato y común que el de zanja; además el espesor de la grava varía del centro a los lados proporcionalmente a la intensidad del tráfico. En tanto en el sistema de zanja si la zona consolidada es muy ancha, el espesor de la capa será excesivo a los lados; si es muy estrecha, el tráfico pasará por los espaldones. En general es mejor el sistema biselado para caminos que tienen mucho tráfico, en parques y avenidas es mejor el sistema de zanja.

CLASIFICACION DE LA GRAVA. En general debe ser clasificada la grava según sus dimensiones. Cuando la cantidad necesaria es pequeña, esta operación se puede hacer con la pala y tamiz inclinado; pero cuando la cantidad es grande, es mejor usar una criba rotatoria movida mecánicamente.

Para obtener los mejores resultados, se aconsejan 3 clases de huecos o cribas: $2\frac{1}{2}$ " , $1\frac{1}{2}$ " , y $\frac{1}{2}$ " . La grava que pasa la primera, será usada en la capa inferior o fundación; la que pasa la segunda, en la media; la que pasa la tercera, en la capa superior .

Cuando la grava tiene un porcentaje de cascajos muy grandes (de más de $2\frac{1}{2}$ ") una quebradora de piedra es conveniente.

MEDIDA DE LA GRAVA. Cuando el camino se construye por contrato la grava puede medirse de tres maneras:

- 1º. Por el número de vagones;
- 2º. Floja en el camino por medio de reglas graduadas;
- 3º. Compactada, por medio de perfiles establecidos.

El primero y segundo método se usan con el sistema biselado y el tercero con el de zanja. En el último, una parte de la grava puede ser enterrada en el subsuelo y con tal fin hay que prever que el contratista coloque suficiente grava para permitir una contracción de un 33% por consolidación,

CONSERVACION. Las mismas instrucciones dichas en los caminos de tierra. Añadiremos que el uso del riego es muy necesario en los caminos de grava, por la formación de polvo a causa del tráfico automóvil.

CAPITULO VI

CARRETERAS DE MACADAM HIDRAULICO.

El macadam hidráulico nos presenta por primera vez un tipo de pavimento que es el resultado de esfuerzos conscientes para solucionar los problemas inherentes a las superficies de las carreteras. Es ya un paso dado en la ciencia como fruto de numerosas investigaciones y experimentos, que aunque no son todo lo completas para decir que se ha llegado a la perfección, sí representan un saldo en favor del progreso humano.

Podemos definir el macadam hidráulico como una mezcla de fragmentos de rocas y polvo de las mismas regados con agua, el conjunto es apisonado hasta endurecerlo.

El requisito principal de un buen macadam es la calidad de la roca empleada en su construcción; necesita dicha roca ciertas condiciones de dureza, tenacidad, cementación y resistencia a los agentes atmosféricos.

En general toda roca dura y tenaz resiste a los agentes atmosféricos, pero los esquistos y pizarras que son duros y tenaces en la cantera se desintegran una vez expuestos a los agentes externos. Otra condición del material utilizado es su uniformidad en la calidad, esto es, debe desgastarse igualmente en toda la superficie del camino para evitar que se produzcan huecos y baches en los lugares débiles.

La dureza es la propiedad que posee la roca para resistir la acción abrasiva de las ruedas y herraduras. La tenacidad es la propiedad de resistir los choques sin quebrarse. Una roca puede ser dura y quebradiza como el cuarzo; puede ser blanda y tenaz, como se observa en ciertas areniscas. La cementación es la propiedad del polvo de la roca para obrar como cemento entre los fragmentos más gruesos del macadam. Esta propiedad tiene un valor importantísimo, varía mucho con las rocas, siendo tan pequeña en algunas que se hace casi imposible compactar el macadam con la ayuda de rodillos o del tráfico siendo preciso agregar materiales de cementación como betún y asfalto.

El uso del agua tiene por objeto que obre como lubricante momentáneo, permitiendo a los fragmentos de piedra acomodarse más fácilmente bajo la acción del rodillo. La absorción del agua por la roca influye también en la resistencia del pavimento, una roca que absorba mucha agua vivirá muy lubricada siendo por esta razón fácilmente desprendida por el tráfico. No significa esto que la presencia de humedad sea perjudicial, por el contrario, en cantidad moderada es conveniente y aun cómoda para evitar la formación de polvo.

Por las razones antes enumeradas describiremos varios análisis adoptados para determinar las condiciones que debe llenar la roca empleada en el macadam.

19. ANALISIS DE LA ABRASION.

Este análisis se usa para determinar la resistencia de la roca a la abrasión y fractura debida al impacto, expresándose por el porcentaje de desgaste o el coeficiente de French.

La máquina usada para este análisis es la de Deval de la cual hicimos una descripción en las carreteras de grava.

El método seguido consiste en quebrar la muestra de roca en fragmentos uniformes de 5 a 6,5 cm. de diámetro, de manera que unos 50 pedazos pesen alrededor de 5 a 10 kg. ; los fragmentos serán preferibles de forma cúbica evitando los alargados. Lávense y séquense los fragmentos antes del ensayo, luego se carga la máquina y se le hace dar una 1000 revoluciones a razón de 30 o 33 por minuto. Después de estas revoluciones se separa el material que pasa por un tamiz # 10 o sea un diesiseisavo (1/16") de pulgada, luego se pesa. El porcentaje de desgaste está dado por:

$$P = D/I$$

D = al material separado por el tamiz # 10;

I = peso del material al iniciarse el ensayo.

El coeficiente de French se determina por la fórmula:

$$C = 400/W$$

W = peso del material aislado por el tamiz # 10 por cada kg. de peso de la muestra ensayada;

La máquina de Darry también se usa para este experimento, especialmente en Francia, pero la generalidad de los Ingenieros han reconocido la mayor facilidad y exactitud del sistema de Deval.

20. ANALISIS DE LA TENACIDAD.

La tenacidad es la resistencia a la fractura por choque o impacto, se determina por medio de la máquina de Page. (Véase fig.).

El análisis consiste en cortar un cilindro redondo perpendicular al plano de clivaje de la roca y otro paralelo a dicho plano; por medio de un taladro de diamante puede efectuarse esta operación. Las dimensiones del cilindro serán de 86 mm. de longitud por 25 mm. de diámetro. Luego se divide en tres partes por medio de una sierra y se coloca en la máquina que consta de un martillo o masa de hierro que cae sucesivamente de 1, 2, 3, 4, etc. cm. de altura hasta romper el material. El número de golpes o altura en centímetros de la última caída expresa el coeficiente de tenacidad.

El promedio de los seis análisis resultantes se tomará como base. El coeficiente debe ser por lo menos 10 para obtener una buena roca.

3º. ANALISIS DE LA COMPRESION.

Este análisis se hace en la máquina UNIVERSAL con una muestra de 25 mm. de diámetro y 38 mm. de altura. La resistencia se calcula por cm^2 .

4º. ANALISIS DE LA RESISTENCIA DE LOS AGENTES ATMOSFERICOS.

Se disuelven 350 gr. de sulfato de sodio en 1500 cm^3 de agua destilada. Se hace una solución y se calienta para activarla.

Se toman pedazos de la muestra como de unos 100 gr. cada uno (10 pedazos). Luego se tratan con la solución y se dejan unas 20 horas sumergidos en ella, se repite la operación unas 5 veces, al fin de las cuales se observa los pedazos para ver el efecto producido por la solución en ellos. Si hay trazas de rajaduras, desintegración o descomposición de la muestra, la roca es mala.

5º. CLASIFICACION GEOLOGICA.

La clasificación geológica puede hacerse con un microscopio (petrográficamente) o con una lente común.

El U.S. Bureau of Public Roads ha clasificado las rocas para carreteras según la siguiente tabla:

<u>CLASE</u>	<u>TIPO</u>	<u>FAMILIA</u>
<u>IGNEAS</u>	Plutónicas.	Granito
		Sienita
		Diorita
	Efusivas.	Gabro
		Peridotita
		Riolita
<u>SEDIMENTARIAS</u>	Calcáreos	Traquita
		Andesita
	Silíceas	Basalto
		Diabasa.
		Piedra de cal.
		Dolomita
		Esquistos.
		Areniscas
		Conglomerados

CLASETIPOFAMILIAFOLIADAS

Gneis
Esquistos
Anfibolita

METAMORFICASNO FOLIADAS

Pizarra
Cuarcita
Eclogita
Mármol

Las rocas ígneas efusivas son muy buenas para la construcción de macadam, su estructura porfirítica las hace muy tenaces y resistentes. Las rocas ígneas plútónicas son muy buenas también para caminos. Entre las sedimentarias está la caliza que cuando tiene grano fino es uno de los mejores materiales que se pueden adoptar. La cuarcita entre las metamórficas, es también utilizable, no debe confundirse con el cuarzo.

El término TRAP muy usado por los Ingenieros americanos, corresponde a las rocas ígneas de color oscuro o sea las básicas en general (diabasa, peridotita, gabro, basalto, andesita).

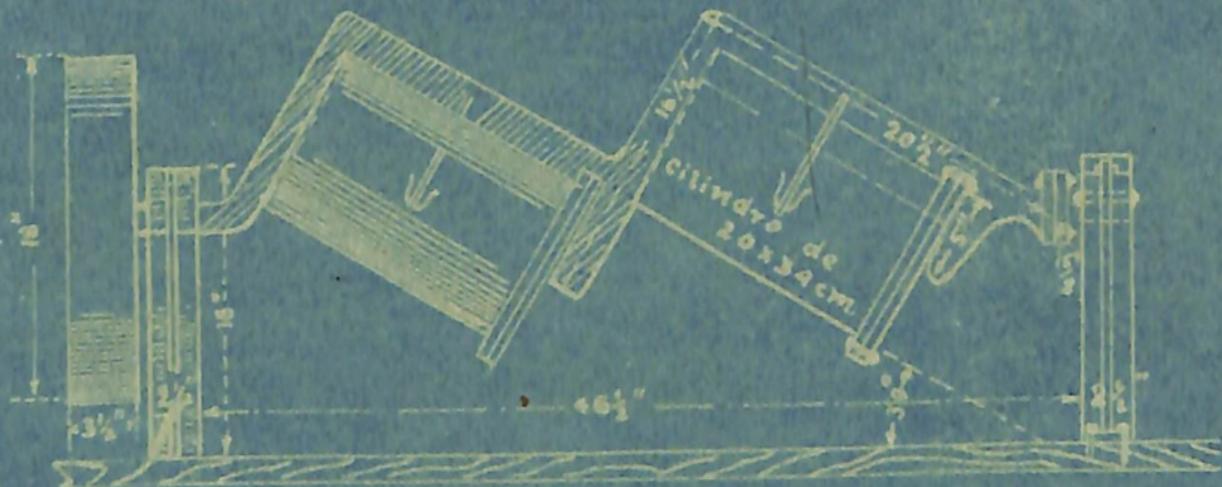
CONSTRUCCION.

La construcción puede hacerse por el sistema de bisel o de zanja como vimos en los caminos de grava. Una vez elegida la roca, ésta deberá triturarse en pedazos de 3 o 4 tamaños bastando generalmente 3. Las dimensiones de tamaño más grande que es el que se pone en la base o primera capa, dependen del grado de tenacidad de la roca. Cuando la roca es suave y se rompe fácilmente, las dimensiones deben ser mayores. Los pedazos destinados a la segunda capa deben ser más pequeños y por último la tercera capa se hace de astillas o polvo de piedra.

La tabla siguiente puede dar una idea según la dureza y tenacidad de la roca:

	<u>1º. CAPA</u>	<u>2º. CAPA</u>	<u>3º. CAPA</u>
Roca suave.	6 a 9 cm.	3 a 6 cm.	1 a 2 cm.
" dura.	3 " 6 "	3 " 6 "	polvo.

La roca puede a mano o mecánicamente. El sistema a mano tiene el gran inconveniente de no poder uniformar la roca tan bien como mecánicamente. Existen dos tipos de quebradoras de rocas, las oscilatorias y giratorias. El sistema oscilatorio consta de una quejada que quiebra la roca por medio de un movimiento de avance y retroceso. La dimensión de la roca puede graduarse a voluntad por medio de un tornillo. En el sistema oscilatorio la roca baja entre las dos quijadas a su parte más estrecha lo cual requiere un momento de inercia mayor para poder efectuar el choque.



Màquina de abrasión
Deval

Todos los días se pasará la aplanadora sobre el trabajo, corrigiendo las imperfecciones que resulten. Se agregará más polvo y más agua hasta que la mezcla corra delante del rodillo. La aplanadora deberá operarse en toda la anchura del camino pues es el único medio de dar el bombeo y corte transversal convenientes.

Por último se extiende sobre toda la superficie una capa delgada de polvo de piedra de un centímetro y por varios días después de haber abierto el camino al tráfico, se procurará regarlo para conservarlo húmedo.

La construcción de un macadam requiere cuidados, paciencia y experiencia. Un buen sobrestante es un factor decisivo en la economía y eficiencia del trabajo.

Los rodillos usados para macadamizar son por lo regular de 10 a 20 tons. y de 3 ruedas. Es práctica recomendable empezar a cilindrar con el mínimo de peso, esto es, sin agua y combustible en los depósitos del cilindro, luego aumentar su peso a medida que avanza la operación. Debe cuidarse que el rodillo no sea muy pesado pues molera las piedras y redondeará sus aristas con lo cual se dificultará la operación.

El número de veces que se pasa el cilindro varía con el peso del mismo, la dureza y dimensión de la roca y la cantidad de agua usada. Las rocas ígneas básicas requieren mucho más trabajo que las otras. El número de veces citado por el profesor Ira O. Baker varía entre 75 a 100 como un promedio.

La conservación del macadam se efectúa agregando material en los lugares en que se producen huecos. Si aparecen ondulaciones tan frecuentes cuando hay tráfico como hoy de automóviles, es conveniente pasar la niveladora operándola a una profundidad de 2 cm. Si el material desalojado por el tráfico a las orillas del camino la niveladora lo distribuirá de nuevo sobre la superficie. En fin, si el camino presenta muchas desigualdades, lo mejor es escarificarlo, nivelarlo y volverlo a cilindrar; la escarificada se hará a una profundidad de 5 cm.

Un macadam puede servir con economía para un tráfico de 800 a 2000 vehículos diarios. Este valor puede variar según las condiciones de construcción y conservación. Cuando el macadam hidráulico no es suficiente ya para este tráfico, es reemplazado por un macadam bituminoso o superficies de concreto o asfalto.

El macadam hidráulico está llamado en mi concepto a constituir el pavimento de nuestras futuras carreteras. La abundancia de rocas ígneas, la gran cantidad que de ellas resulta en las explanaciones de las carreteras, la abundancia de las aguas, la sencillez del sistema, son factores que me hacen pensar su gran utilidad entre nosotros.

El factor más interesante para economizar en la quebrada de la piedra es la disposición de la planta, para poder elevarla, clasificarla, almacenarla y cargarla en los vagones que han de conducirla al lugar donde será depositada. Las plantas para esto son muy conocidas en el mercado, siendo su capacidad muy variable, por lo general para carreteras se usan plantas fácilmente trasportables por medio de un camión poderoso y de un tractor.

La planta consta de un motor o fuente de energía, de una banda de transmisión con canchales para elevar el material quebrado sobre un andamio en donde están colocadas las clasificadoras o cribas giratorias con huecos de las dimensiones requeridas. El material se clasifica en las cribas y se almacena en el andamio en tres compartimientos distintos. Los compartimientos tienen una boca de descarga a una altura conveniente para vaciar el material directamente sobre los camiones o vagones de transporte.

La piedra para la base puede vaciarse directamente sobre la rasante del camino y extenderse en un espesor uniforme por medio de rastrillos de mano o agrícolas; también puede colocarse sobre tabloncillos de madera y desde allí arrojarla con palas o a mano sobre la rasante del camino. Para controlar el espesor de dicha capa se habrán colocado tabloncillos de canto a lo largo del camino.

Una vez distribuida la piedra que forma la base, se quitan los tabloncillos de los bordes y se comienza a pasar el rodillo aplanador, empezando por los bordes del camino y haciendo que el rodillo posterior de la aplanadora abarque la unión entre la zona de piedra y los espaldones, se continúa el aplanado hasta llegar al centro, después se empieza por el borde opuesto hasta volver al centro.

La piedra que forma la base de los caminos de macadam debe apretarse hasta que andando un hombre sobre ella no se muevan las piedras. También puede servir de base el colocar una piedra sobre la superficie y que ésta sea triturada y no enterrada. Cuando después de pasar el cilindro unas cuatro veces, la piedra se afloja delante del cilindro, es señal de que el terreno está blando y debe procederse a cilindrarlo antes de seguir agregando material.

Luego se colocan de nuevo los tabloncillos para controlar la segunda capa. La vaciada de la piedra de esta segunda capa debe hacerse con las palas de mano o con carretillas especiales, evitando siempre descargarla sobre la capa anterior para que ésta no se dañe con el tráfico. Se aplanan y comprime la segunda capa como la primera. Después se extienden sobre ella las astillas o fragmentos pequeños de roca, utilizando escobas de chuzos fuertes para esparcirlas y hacer que penetren por entre los intersticios de las más gruesas. Una vez que el material ha sido bien distribuido, se pasa la aplanadora.

Después regamos la superficie con agua, distribuimos el polvo de roca, se riega con más agua y finalmente se hace pasar la aplanadora.

CAPITULO VII

EFFECTOS DEL TRAFICO AUTOMOVIL

Uno de los grandes problemas de las carreteras modernas es el efecto destructor que en ellas producen los vehículos automoviles, siendo interesante enumerar algunas de las principales.

Un vehículo automóvil no produce un efecto igual en un pavimento a un vehículo traccionado. Podemos ver en la figura adjunta que indica las fuerzas que obran en un vehículo traccionado que la única fuerza que obra sobre el pavimento es la resultante del peso o gravedad del vehículo, que pasa por el punto de contacto de la rueda al pavimento. En tanto que en la segunda figura vemos un vehículo automóvil, en que las ruedas traseras son las motrices; el trabajo del motor se transmite por medio del árbol y diferencial dando lugar a un par que debe vencer las resistencias opuestas al movimiento.

Si llamamos F la resultante del par motor y de la fuerza de gravedad podemos descomponerlas en una fuerza normal N y en otra tangencial T .

La fuerza tangencial T por la reacción del suelo hace avanzar el vehículo, variando su magnitud entre límites muy grandes según la potencia del par motor desarrollado (aceleraciones de la velocidad). El efecto de esta fuerza T produce una desintegración superficial del pavimento por la presión horizontal que ejerce sobre las piedras, la acción repetida en uno y otro sentido acaba por aflojarlas y sacarlas a la superficie.

Las patinadas de los vehículos es otra de las causas de desintegración de los pavimentos, tiene lugar cuando la acción tangencial de la llanta tiene un valor mayor a la reacción del pavimento. El efecto producido en la superficie es semejante al de una rueda de amolar. En las pendientes cortas y fuertes por la costumbre de los chauffers de salvarlas con aceleraciones progresivas, puede observar se deterioros y raspaduras mayores que en el resto de la carretera.

Al frenar un vehículo el efecto es análogo al de la patinada pero en sentido inverso, sin ser menor. El efecto máximo se produce cuando se frena instantáneamente, el vehículo se arrastra sobre la superficie hasta perder su fuerza viva.

Cuando se marcha en línea recta las reacciones transversales de la superficie son prácticamente nulas, en cambio, en las curvas y carreteras de bombeo excesivo tienen valores apreciables, estas reacciones están originadas por causas diferentes pero una de ellas es la fuerza centrífuga la cual podemos ver no es despreciable.

Lo dicho hasta ahora supone un pavimento perfectamente liso, pero esto sucede raras veces y las desigualdades aumentan el efecto de las causas enunciadas.

Bajo la rueda motriz un obstáculo recibe en el momento del choque un esfuerzo que se mide por la diferencia de los cuadrados de la velocidad anterior y posterior al choque multiplicados por la masa chocada ($\frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv_2^2$)

Después del choque la acción tangencial rechaza el obstáculo con tanto más fuerza cuanto mayor fué la aceleración impresa al par motor para salvarlo. Una piedra será solicitada por dos fuerzas o puestas no demorándose en ser arrancada. Luego queda allí un hueco causa de efectos posteriores semejantes.

Si el obstáculo tiene una dimensión mayor que la elasticidad del neumático, el carro salta y en el espacio de tiempo que gira la rueda libremente desarrolla una fuerza de efecto semejante al de patinada, ocasionando una fricción vigorosa de la superficie al tocarla nuevamente.

El objeto de los resortes del vehículo es absorber y amortiguar los choques, pero si los absorbe los devuelve a su tiempo cargando y descargando sucesivamente las ruedas, causando por tanto las variaciones correspondientes en la acción normal y tangencial.

Al pasar el eje delantero por una desigualdad carga sucesivamente el eje trasero y delantero dando lugar a un movimiento como de galope. Siendo éste movimiento oscilatorio está sujeto a las leyes de la resonancia, es decir, a una amplificación que puede alcanzar valores considerables si antes de terminar la oscilación un nuevo obstáculo viene a afectarla en el mismo sentido.

Las llantas neumáticas se adhieren al piso formando un vacío parcial, el aire es desalojado por la velocidad del vehículo de la parte delantera y se precipita con violencia tras la rueda por el vacío formado, esto ocasiona remolinos y corrientes de aire que dispersan el polvo y material fino.

Otra causa de la formación de nubes de polvo es la salida del gaz ya quemado.

Con lo dicho hasta aquí podemos formarnos una idea clara de la necesidad de superficies uniformes y unidas que requiere un tráfico automóvil muy intenso. Necesitamos para remediar estos inconvenientes un material cuyo fin principal sea cementar los fragmentos de roca para evitar que sean dispersados. En los capítulos siguientes trataremos de dichos materiales.

Pero antes de pasar adelante es conveniente citar el procedimiento acostumbrado para analizar un pavimento.

Dicho procedimiento consiste en adaptar un aparato llamado por los americanos "Vialog" y por los ingleses "Viagram" a un automóvil común después de calibrarlo convenientemente. Dicho aparato registra en un perfil las desigualdades del terreno. Por medio de él se ha llegado a estandarizar los coeficientes de imperfecciones admisibles en las carreteras. Este coeficiente se expresa en pulgadas verticales por milla; quise decir un coeficiente de 500 pulgadas por milla que la carretera tiene 500 huecos o montículos de una pulgada o bien 250 de dos pulgadas o combinados entre sí.

Un pavimento es confortable mientras éste coeficiente no exceda de 250 pulgadas por milla tal es el resultado de los estudios hechos por Mr. Dunbar en 2.000 millas de carreteras del estado de Nueva York y que comprendía pavimentos de primero y segundo orden

En el gráfico adjunto podemos ver una comparación de los diferentes coeficientes de deterioro según la edad y condiciones del tráfico. Hay sin embargo variaciones muy grandes en estos promedios como puede verse en la tabla adjunta.

Por medio de este sistema se puede fijar el límite económico a un pavimento en una forma más científica no dejando esta apreciación a la opinión muy diversa de distintos ingenieros.

TIPO DE PAVIMENTO	NUEVO	BUENO	MALO
	pulgadas por milla		
CONCRETO	25-80	250 máximo	250-600
LADRILLO	20-80	"	250-300
CONCRETO ASFALTICO	35-90	"	250-300
MACADAM BITUMINOSO	80-150	"	250-300
MACADAM HIDRAULICO	90-170	"	250-1.000

Además para aceptar un pavimento recientemente construido se considera como ~~uniforme~~ desigualdades admisibles un coeficiente de 50 pulgadas para pavimentos de los tres primeros tipos y 100 pulgadas para todos los otros inferiores.

CAPITULO VIII

PRODUCTOS HIDROCARBONADOS

Hemos visto en el capítulo anterior el efecto del tráfico automóvil sobre los materiales sueltos de las superficies de las carreteras, la manera de solucionar dicho problema ha dado lugar al empleo de materiales que tengan por fin pegar o cementar las piedras o cascajos; la presencia de arcilla (como lo vimos en los pavimentos de arena y arcilla) ya no es suficientemente fuerte para cementar los materiales siendo reemplazada por asfalto, betún, alquitrán o cemento hidráulico. Del cemento hidráulico no trataremos en este estudio, pero si consideraremos los otros materiales enunciados.

El estudio de productos tan complejos y variados como el alquitrán, betún, petróleo y asfalto requiere una nomenclatura clara y concisa. Esto no ha sido obtenido de una manera completa por la usada en los Estados Unidos siendo muy superior la standarizada por el Road Board de Inglaterra. Teniendo esto en cuenta pasamos a enumerarla.

I Productos alquitranados. (Tar products)

El alquitrán es una materia libre de agua, resultante de la condensación de los productos volátiles en la destilación por destrucción de las materias hidrocarbonadas contenidas en la antracita, hulla, madera, lignita, turba. Para especificar un alquitrán se nombrará su origen y proceso de fabricación (hulla, madera, etc. fábrica de gas, altos hornos, hornos de coke, etc.).

La brea (pitch) es un residuo sólido o semi-sólido de la evaporación parcial del alquitrán. Se especificará como el alquitrán.

II Betún y Asfalto. (Bitumen, Asphalt)

Betún es el nombre genérico de los productos hidrocarbonados solubles en el sulfuro de carbono, hallados tal cuales o como se obtienen de la destilación de los petróleos asfálticos, (ésta definición no incluye los residuos de los petróleos de parafina). En lenguaje comercial se llama betún el material con 98% soluble en

sulfuro de carbono.

Asfalto es un material para caminos consistente en una mezcla de betún y materia mineral finamente dividida y que atraviesa un tamiz de mallas cuadradas de 6 mm. ó $\frac{1}{4}$ de pulgada.

Asfalto natural es una rosa impregnada de betún. Par identificar la sustancia se añadirá el nombre geográfico de su procedencia.

Las definiciones dadas pueden no corresponder a las definiciones químicas, pero se entenderá que han sido dadas para fines camineros.

La variedad tan grande de productos como son los incluidos bajo las definiciones dadas hace indispensable el análisis cuidadoso del producto para ⁴ fines principales: 1º Identificación del material. 2º Conformidad con las especificaciones. 3º Determinación de su uso apropiado. 4º Control de su preparación y aplicación.

A continuación indicamos los análisis más acostumbrados para las distintas clases de productos.

Materiales líquidos asfálticos.

- 1º Peso específico.
- 2º Viscosidad específica.
- 3º Punto de ignición ó inflamación.
- 4º Betún total.
- 5º Carbón fijo.

Materiales semi-sólidos ó sólidos asfálticos.

- 1º Peso específico .
- 2º Penetración.
- 3º Temperatura de resblandecimiento.
- 4º Punto de ignición.
- 5º Volatilización.
- 6º Consistencia del residuo.
- 7º Betún total.

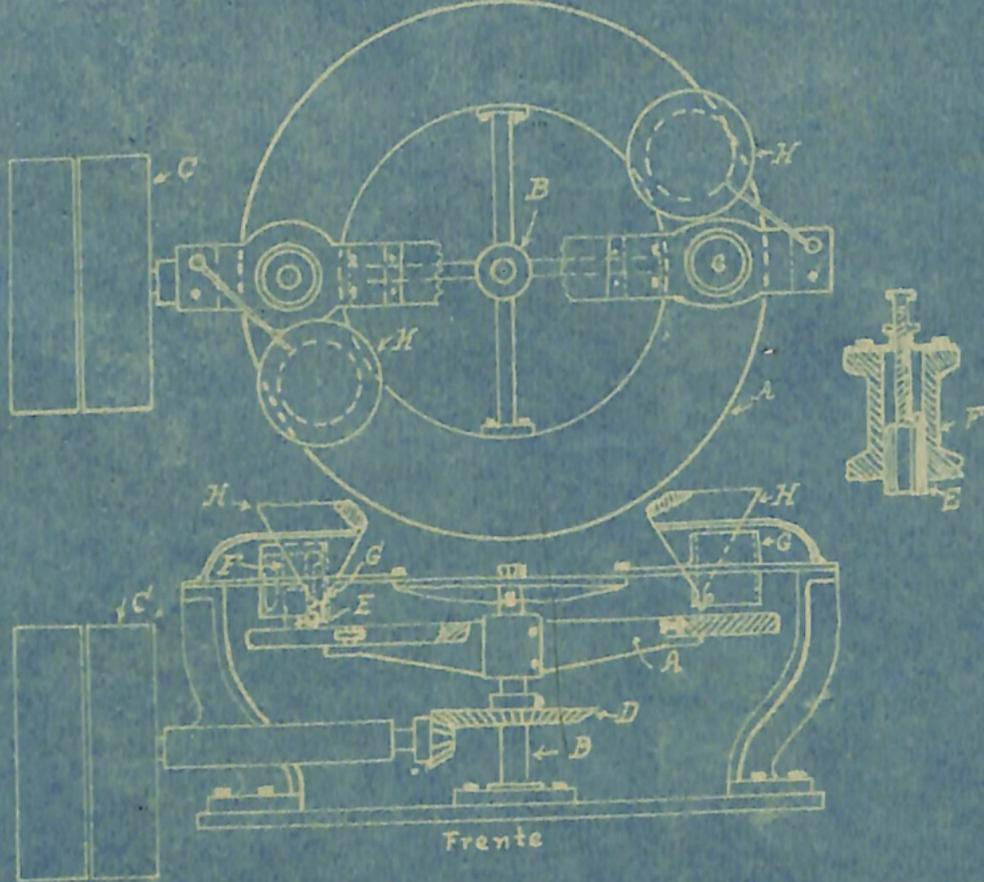
Materiales líquidos alquitranados.

- 1º Peso específico.
- 2º Viscosidad específica.
- 3º Destilación .
- 4º Temperatura de resblandecimiento del residuo.
- 5º Determinación del % de hidrocarburos.

Materiales alquitranados sólidos o semi-sólidos.

- 1º Peso específico.
- 2º Analisis de flotación. 9
- 3º Punto de resblandecimiento.
- 4º Destilación.
- 5º Determinación del % de hidrocarburos.

Análisis de emulsiones.



Maquina para la dureza
Dorry

Análisis de emulsiones.

1º Análisis de deshidratación.

2º Análisis del material como para los productos líquidos.

Muestras de pavimentos en uso.

1º Separación de la materia mineral.

2º Análisis mecánico del agregado.

3º Análisis del material bituminoso ó alquitranado.

Como vemos el origen y estado físico del material determinan la serie de análisis correspondientes. Pero la interpretación de los resultados es lo que interesa en nuestro estudio más aún que la descripción cuidadosa y detallada del experimento, por tales razones he considerado más conveniente buscar los fines que se persigue con dichos análisis más bien que su descripción cuidadosa, sin embargo añadiré el nombre con que se conoce en inglés pues en cualquier libro sobre la materia se encontrará una explicación detallada y completa.

Según lo dicho podemos clasificar los análisis enumerados atrás en la forma siguiente:

1º Análisis del Peso específico.

Se conocen tres métodos muy acostumbrados:

a- Método de inmersión para materiales sólidos (displacement method).

b- Método del piquómetro para materiales pastosos o fluidos. (pycnometer method).

c- Método del hidrómetro para materiales líquidos. (hydrometer method)

El análisis del peso específico se usa especialmente para clasificar o identificar los materiales cuando se tiene en cuenta el estado físico del material. Se usa también para determinar la uniformidad de varias muestras de una remesa o pedido. Para la conversión a unidades volumétricas de pesos dados. En general si varias muestras tienen un mismo peso específico las propiedades de los materiales son aproximadamente iguales.

2º Análisis de la consistencia.

Se conocen seis métodos:

a) Análisis de penetración para los productos asfálticos (penetration test).

b) Análisis del punto de resblandecimiento de los alquitranes por el método del cubo sumergido (softening-point test for tars method of cube-in-water).

c) Análisis del punto de resblandecimiento para asfaltos ó betunes por el método del anillo y la bola (softening-point test for asphalt method of ring-and-ball).

d) Viscosidad específica para productos líquidos (viscosity test).

e) Análisis de flotación para productos pastosos o semi-sólidos conocido por (float test).

g) Análisis de la ductilidad para productos semi-sólidos, es poco usado (ductility test).

El análisis de penetración se usa para clasificar los materiales en sólidos, semi-sólidos, ~~sólidos~~ y líquidos según las siguientes definiciones; material sólido bituminoso es el que tiene una penetración menor de 10 bajo un peso de 50 gr. aplicados por espacio de un segundo; material semi-sólido bituminoso es el que tiene una penetración de más de 10 bajo un peso de 50gr. aplicados por espacio de un segundo y en que dicha penetración no pase de 350; material líquido bituminoso es el que tiene una penetración mayor de 350 en las condiciones enunciadas.

Sirve además éste análisis para determinar el proceso de fabricación del producto (métodos de craking ó blowing), cuando se compara con el análisis del peso específico. El proceso de blowing aumenta mucho la consistencia del producto, mientras que su peso específico aumenta muy poco. La penetración de un material disminuye con el tiempo de destilación . Este análisis no sirve para productos alquitranados por la dificultad de vencer la tensión superficial de dichos productos, en estos casos el punzón del penetrómetro indica deformación y no penetración.

Como los materiales bituminosos usados en leas carreteras son por lo regular mezclas, no poseen un punto de fusión definido. Por tanto un punto arbitrario definido como punto de fusión se adopta para efectuar los análisis en condiciones estándar. Como la penetración el punto de fusión varía con el peso específico del material preparado por el mismo proceso y de mismo origen. Luego el punto de fusión aumenta con la gravedad específica. El proceso de blowing altera ésta relación. Se han adoptado dos métodos par el alquitrán y el betún.

En el análisis de la viscosidad ésta se compara con la del agua y puede dar algunas indicaciones sobre la calidad del material para los tratamientos contra el polvo.

El análisis de flotación se usa para materiales muy viscosos y que no pasarían por el viscosímetro de Engler. Cuando se pueda reemplazar el último da mejores garantías para los alquitranes.

La utilidad más marcada del análisis de la ductilidad es la propiedad tan baja para los productos del blowing.

3º Análisis del betún.

El análisis del betún tiene por objeto remover este ingrediente por medio de un solvente, el betún total sirve para determinar la cantidad necesaria de material bituminoso en un pavimento dado para obtener un σ dado. Sirve para controlar el proceso de aplicación y controlar el cumplimiento de los contratos para determinada especificación.

4º Analisis por calor.

Bajo este nombre incluimos cinco análisis en que el calor es el agente principal:

- a) Punto de ignición y de combustión (flash and fire point).
- b) Carbono fijo (fixed carbon).
- c) Volatilización .
- d) Deshidratación.
- e) Destilación.

Hay dos métodos para determinar el punto de ignición y combustión, método de vasija destapada (open-cup test) y método de vasija

tapada (closed-cup test). Este análisis se hace especialmente a los betunes para conocer su temperatura normal de inflamación y evitar accidentes (hay petróleos que se encienden a temperaturas muy bajas).

El análisis del carbono fijo ó materia orgánica nos indica si está o no presente, la materia orgánica es perjudicial al material.

El análisis de volatilización nos indica la presencia de parte volátil en el material. La materia volátil de un material lo hace poco estable y es por tanto perjudicial.

El análisis de deshidratación sirve para comprobar la presencia de agua en los alquitranes y emulsiones. La presencia de agua en estos materiales así como la de amoníaco es muy perjudicial.

El análisis de destilación se efectúa únicamente en los alquitranes y corresponde al de volatilización en los betunes.

Como vemos los resultados obtenidos de estos análisis pueden resumirse así:

El primero nos da una idea general del material y de sus propiedades pues éstas varían aproximadamente con la densidad como habíamos dicho.

El segundo nos indica su consistencia, factor muy importante, pues mientras más consistente sea un material menos afectado estará por los agentes externos y cambios de temperatura.

El tercero nos indica la presencia de material cementador en el producto, con esto conocemos la mayor o menor tenacidad y solidez del pavimento.

El cuarto nos indica los materiales perjudiciales a la sustancia.

En cuanto a las posibilidades de aprovechar nuestra riqueza nacional en estos materiales nada se ha hecho en favor de nuestros problemas viales. Poseemos sin embargo yacimientos de betún cerca a Cristalina (finca de Los Angeles) y en las hoyas de los ríos Nare, Samaná y La Miel.

Lo único que hasta ahora aprovechamos es el Fuel Oil o residuo de las refinerías de Barranca Bermeja para tratamiento de la carretera de la Quebra. Aún cuando hoy suple la ausencia de materiales mejores no es el material más aconsejable por la presencia de impurezas y materia volátil, sin embargo un tratamiento especial de dicho producto con el fin de refinarlo y evaporar la materia volátil nos daría un magnífico betún. La instalación para dicho tratamiento no es muy costosa.

Es mi opinión que estando el Departamento y Municipalidad de Medellín enfrentados a programas de vialidad y pavimentación convendría hacer un estudio cuidadoso del problema. Considerado desde el punto de vista patriótico, nos emanciparíamos del extranjero en éstas cuestiones, crearíamos una industria nacional y beneficiaríamos con ella al pueblo colombiano.

Sea además el lugar de recomendar la necesidad de un laboratorio departamental para el análisis de los materiales para carreteras. La

elección e inspección de los materiales que se han de usar en las carreteras constituye uno de los problemas más serios de un buen pavimento, un material de segunda calidad puede llegar a perder una buena administración y obra de mano. Además dependemos del extranjero en un sinnúmero de productos que empleamos en nuestras obras, necesitamos pues, poder comprobar las garantías de los materiales que compramos.

La Escuela Nacional de Minas está dotada de parte de dichos elementos, con muy poco gasto se podría obtener lo que falta. Una buena dirección añadida a lo anterior y tendríamos un centro de experimentación con una formación del ingeniero en estos asuntos. El progreso de la ingeniería se debe en mucha parte a los centros de experimentación universitarios, la cooperación entre la industria y las universidades americanas pueden atestiguarlo.

CAPITULO IX

Macadam Bituminoso

Los pavimentos con material de asfalto, alquitrán ó petróleo pueden estudiarse respecto al sistema de construcción como pavimentos con tratamientos superficiales, pavimentos por el método de penetración, pavimentos por el método de mezcla.

En el primer sistema se busca principalmente recubrir la superficie para evitar la formación de nubes de polvo, tan molestas, peligrosas y antihigiénicas. Sin embargo hay una transición lenta entre este sistema y el de penetración debido a la mayor o menor cantidad de sustancia aplicada por metro cuadrado de superficie, especialmente si esta aplicación se hace en frío, la operación se diferencia muy poco.

En el sistema de penetración el fin principal que se persigue además de evitar las nubes de polvo, es añadir un material que tenga propiedades adherentes, y retenga las partes minerales, impidiendo que sean desalojadas por el tráfico automóvil por las causas antes descritas.

En el método de mezcla los fines son los mismos que en el de penetración, pero en este caso se procede con un sistema muy semejante al de la fabricación de concreto, esto es, los materiales se hallan clasificados según sus dimensiones y algunos ingenieros hasta acostumbran especificarlos como el concreto (1- 2 - 4) por ejemplo. Este sistema requiere multitud de cuidados y maquinaria más costosa que el sistema de penetración, pero sus resultados son mejores en condiciones de tráfico muy intenso.

Este último sistema ha sido motivo de numerosos volúmenes por tanto en éste corto estudio no pretendemos exponer lo que con él se refiere, sólo enunciaremos algunos puntos que han sido objeto de nuestro estudio.

elección e inspección de los materiales que se han de usar en las carreteras constituye uno de los problemas más serios de un buen pavimento, un material de segunda calidad puede hechar a perder una buena administración, organización y obra de mano.

CAPITULO IX

Macadam bituminoso

La dificultad de mantener en buenas condiciones el macadam hidráulico con un tráfico activo y siendo no menos difícil conservar los caminos de grava, han obligado al empleo de materiales asfálticos y alquitranados.

Hoy en día la tendencia general en Europa y Estados Unidos es de reemplazar el pavimento de grava o macadam por su correspondiente bituminoso, esto por razones de economía, comodidad é higiene.

Los materiales más generalizados son el petróleo crudo, el asfalto y alquitrán. Según el método de aplicación empleado hay uno de ellos más recomendable.

Dividimos los métodos de tratamiento de un macadam en:

- a) Método superficial
- b) Método de penetración.

METODO SUPERFICIAL. Los dos materiales más empleados para éste tratamiento son el alquitrán y el petróleo crudo. La superioridad del alquitrán sobre el petróleo parece admitida, sin embargo la economía y condiciones locales definen mejor éste punto.

El sistema de aplicación es el mismo para cualquiera de los dos materiales, por tanto todo lo que se diga es aplicable a cualquiera de ellos, la única diferencia que existe se halla en las especificaciones del material para cada caso particular. Acompañamos una tabla con las especificaciones que requiere el material según el caso.

El tratamiento superficial depende en parte del ingeniero que lo ejecuta según la preferencia de una de las dos opiniones más generalizadas: unos opinan que la superficie debe estar perfectamente unida y cubierta por una capa de alquitrán o petróleo crudo con una apariencia de caucho, otros son partidarios de agregar la mayor cantidad de piedra posible para obtener una superficie como de mosaico. El último método se ha generalizado más por ser menos peligroso, en el primero se corre el peligro de formarse una superficie muy lisa.

El tratamiento superficial comprende:

- A) Preparación de la superficie.
- B) Aplicación del material bituminoso.
- C) Consolidación.

A- Suponemos que hemos venido desarrollando el programa de me-

jora progresiva de los caminos, por tanto en éste caso tendremos un pavimento de macadam o grava cuyos drenajes y fundaciones se hallan contruidos y consolidados por el tráfico anterior. Cuando el pavimento se construye desde su principio es necesario dejarlo consolidar por espacio de tres a seis meses antes de hacer cualquier aplicación de material bituminoso.

Lo primero que se hace es reparar los huecos, secar los pantanos y despejar las cunetas. Luego se rectifica la rasante y el bombeo del camino con la niveladora si la superficie no está muy deteriorada, en el caso que lo esté será escarificada hasta una profundidad conveniente.

Ya sabemos que el macadam y grava se construye de dos capas de material clasificado sobre una de material sin clasificar que va como fundación. La capa superior es desgastada por el tráfico y renovada siempre que llega asu límite. El ingeniero deberá juzgar después de las operaciones enunciadas si es preciso agregar más material o no. La manera de agregarlo es idéntica a la construcción de las capas superficiales de macadam hidráulico.

Otra de las operaciones preliminares es la barrida del polvo y materia orgánica de la superficie, este detalle es importantísimo si se quiere obtener buenos resultados. La barrida se hace por medio de escobas mecánicas o a mano.

Estas operaciones deben efectuarse en tiempo seco porque el tratamiento en tiempo húmedo emulsiona el material bituminoso y lo hecha a perder.

B) La distribución del material bituminoso se efectúa a mano, con tanques que lo distribuyen por gravedad o por distribuidores de presión, la aplicación puede ser en frío o en caliente según lo indiquen las especificaciones del material.

Existen en el comercio gran variedad de máquinas, pero salvo trabajos muy extensos éstas aplicaciones se hacen mejor a mano. En otro lugar describiremos al gunos de los aparatos más acostumbrados.

La cantidad de material bituminoso que se agrega varía en general entre 1 a 2 litros por metro cuadrado, para el primer tratamiento de la superficie, en los tratamientos posteriores es de $\frac{1}{2}$ al litro por metro cuadrado.

El material se distribuye uniformemente sobre la superficie luego se recubre con una capade piedra a razon de 10 a 32 kg. por metro cuadrado, ésta piedra no será mayor de 6 mm. Cuando ponemos poco material tenemos una superficie como de caucho, cuando aplicamos mucho tiene el aspecto de mosaico. Un metro cúbico puede cubrir una superficie de 55 a 175 metros cuadrados de carretera.

La distribución se hace con carretas de mano desde las cuales se distribuye el material con palas; existen pequeños distribuidores mecánicos que facilitan ésta operación. El material distribuido se uniforma con rastrillos de mano.

C) La consolidación consiste en efectuar ciertas operaciones de vigilancia en los días posteriores a la aplicación del tratamiento.

Después de distribuir el material bituminoso es conveniente dejar pasar unas 24 horas antes de recubrirlo con la piedra menuda. El tráfico debe suspenderse en éste tiempo.

Después de aplicar la piedra menuda se abre el camino al tráfico y se observa que como el betún no coge todo el material extendido es preciso distribuirlo nuevamente sobre la superficie porque el tráfico lo desaloja a los bordes del camino. De ésta manera irá disminuyendo el asfalto libre indicando que se ha ido uniendo a las piedrecillas de la superficie.

También es buena práctica pasar la aplanadora sobre la superficie para activar la operación. Mientras más grande sea la piedra que se puso en la superficie el aspecto de mosaico será más característico.

Durante los días siguientes se requiera una vigilancia continua de la superficie, el color más o menos uniforme indicará si el material fué bien distribuido, en los puntos muy claros pronto se observará ausencia de material y por tanto se producirán huecos o rodadas que es preciso reparar.

Estas reparaciones se hacen agregando material asfáltico y recubriéndolo con una capa menuda convenientemente apisonada con pisones de mano. El material que se emplee debe ser de la misma calidad y especificaciones del que se empleó en la construcción.

El sistema de cuadrillas como vimos en la conservación de los pavimentos de tierra es el más apropiado para desarrollar el programa de construcción progresiva.

El pavimento que hemos descrito es apropiado para un tráfico de 800 a 1.000 vehículos por día. Su conservación es fácil y barata en comparación con los pavimentos anteriores. Esta superficie sería muy apropiada para muchas de nuestras poblaciones que cuentan con tráfico muy reducido y pocos fondos disponibles.

Sus condiciones higiénicas, su color agradable a la vista, lo silencioso y suave del tráfico son otros factores que favorecen dicho pavimento.

Este sistema de tratamiento se ha usado en la carretera de la quiebra con resultados satisfactorios, sin embargo podría mejorarse separando ó destilando gran parte de la materia volátil que contiene el petróleo ~~gru~~ o Fuel Oil de Barranca.

Los datos estadísticos que proporciona ésta carretera quizás no sirven como de base de comparación por las condiciones especiales en que se halla y porque su trazado también modifica estos datos.

En el informe del superintendente general del Ferrocarril de Antioquia a la asamblea de L.927 figuran con el título de:

en fajas de una anchura igual a la de la boquilla de la jarra. El capitán indicará la longitud de recorrido para cada jarra con el fin de asegurar una distribución uniforme, será también conveniente que lleve un registro del número de jarros aplicados y lo compare con el teórico que necesitan zonas de 10 metros longitudinales de carretera. Deberá observar si el material desprende muchos gases lo que indica un exceso de temperatura en la calefacción del material.

Existen calentadores de 50- 100 - 150 galones de capacidad, W. G. Harger aconseja los de 100 galones de capacidad y la siguiente organización y equipo:

- 3 calentadores de 100 galones.
- 1 aplanadora de 10 ton.
- 4 jarras de distribución.
- 1 capitán.
- 2 distribuidores.
- 3 vigilantes de los calentadores.
- 6 ayudantes para abrir los barriles ó envases, distribuir la roca menuda, mover los calentadores.

Los obreros cuando la aplicación se efectúa a altas temperaturas deben ir provistos de vestidos guantes y calzado apropiado.

El proceso de construcción es como sigue;

La fundación y capa inferior del pavimento ha sido colocada y convenientemente cilindrada como vimos en el macadam hidráulico, luego se distribuye el asfalto a razón de 1,2 a 1,7 litros de asfalto por metro cuadrado; inmediatamente después se cubre el asfalto con material de roca triturada de 2 a 3 cm. el espesor de la capa es de 2,5 a 3 cm. o sea 1 metro cúbico de material se distribuye sobre 40 metros² de carretera. Extendida la piedra se pasa la aplanadora. La segunda aplicación se hace a razón de 1,8 a 2,4 litros de asfalto cubriendo el material con una capa de ceraduras de piedra de 1 a 2 cm, la aplanadora se pasa en seguida tratando de perfeccionar le bombeo y compactar el material.

Otro procedimiento de construcción es el siguiente: Se distribuye la capa inferior y se recubre con asfalto, luego se cilindra sin recubrir el asfalto con otra capa; en ésta forma se deben aceitar o humedecer los rodillos de la aplanadora para evitar que el material se pegue y forme una superficie muy desigual, terminada ésta operación se llena con arena menuda las desigualdades que dejó la aplanadora y se coloca la capa superior y otra capa de asfalto, el conjunto se cilindra; por último se recubre la superficie con arena menuda y se vuelve a cilindrarse. En éste procedimiento la penetración es mayor pero el material no se distribuye tan uniformemente como en el caso anterior.

Los procedimientos anteriores pueden variarse haciendo una mezcla previa de 1 metro cúbico de piedra con 1.700 a 2.400 litros de asfalto, dicha mezcla se distribuye sobre la capa inferior y el todo se recubre con la capa superior, después se pasa la aplanadora hasta compactar la superficie.

Sostenimiento del carreteable.....\$ 20.121-81
Por kilómetro aproximadamente.....\$ 1.800-00

En cuanto al costo de construcción no he podido obtener datos muy claros por tanto es mejor no enunciarlos.

METODO DE PENETRACION. En el macadam de penetración el material se coloca en capas alternadas de piedra quebrada y betún cuidadosamente cilindradas, con el fin de obtener una mezcla y union más uniforme y una penetración mayor. El asfalto es en éste sistema más recomendado que el alquitrán, el petróleo crudo no sirve para éste tratamiento.

Suponemos que tenemos una fundación apropiada y calculada según vimos en el capítulo de espesor de los pavimentos. La fundación tiene en éste caso 12 a 15 cm menos del espesor total del pavimento, porque según vimos en los pavimentos de grava y macadam sobre las fundaciones se colocan dos capas de material clasificado cuidadosamente de 6 a 7,5 cm. de espesor. También suponemos que el pavimento ha tenido un tratamiento preliminar como vimos en el método superficial.

En éste sistema la distribución a mano y a presión es más recomendada que a presión por gravedad porque en éste método se requiere mucha uniformidad en la distribución.

A continuación indicamos las condiciones que debe tener un buen distribuidor de presión según lo especificado por la U. S. Highway Comhsion:

"La presión de distribución no debe ser menor de 20 ni mayor de 75 libras por pulgada cuadrada. El distribuidor debe ir provisto de un termómetro y manómetro en lugar visibel. Las válvulas de cierre de salida del material deben obrar instantaneamente, para evitar la formación de charcos en las paradas. La anchura de la zona de distribución debe ser por lo menos de 6 pies. La presión de las llantas no debe pasar de 250 libras por pulgada lineal!"

Los distribuidores de presión consisten en un tanque montado sobre un carretón o camión con o sin hogar para la calefacción del material, cuando van sobre carretón sin hogar se acostumbra remolcarlos con una cilindadora de vapor y conectar la caldera de aquella y éste con un tubo de 1 a 2 pulgadas de diámetro con uniones flexibles; el distribuidor va provisto de un organismo de distribución que varía según el fabricante. Este organismo de distribución es en los carretones, por lo regular, una manguera con boquilla especial.

Cuando la distribución se efectúa a mano se usan jarras con un borde de derrame de 6 a 8 pulgadas de anchura, con una capacidad de unos 15 litros, para mayores detalles véanse las ilustraciones adjuntas.

Los obreros reciben el material por una canilla del tanque y lo distribuyen en zonas perpendiculares al eje del pavimento

Nos queda por describir el tratamiento de las carreteras de arena y arcilla que por su semejanza con los de macadam hemos dejado para éste lugar.

Cuando en la región abunde la arena es más económico quizás construir un pavimento de arena y asfalto que un macadam.

El procedimiento es el siguiente: se consolida convenientemente el terreno o fundación (ésta no debe ser menor de 10 cm.) y se mezcla la arena caliente a 170° C. con asfalto en una proporción de 5 a 10 % y se aplica sobre la superficie. El asfalto debe calentarse a una temperatura de 163° C. por lo menos. La arena que se emplea mientras más se aproxime a las siguientes especificaciones será mejor:

Material que pasa	Material retenido	Porcentaje	Porcentaje
Tamiz # 200	0 a 5	
.. 100	# 200	6 a 25	15 a 40
.. 80	100	6 a 25	
.. 50	80	5 a 40	30 a 60
.. 40	50	5 a 30	
.. 30	40	8 a 25	
.. 20	30	5 a 15	18 a 50
.. 10	20	5 a 15	
.. 1010.	95 a 100	
Criba de ¼ "	100	

El espesor de la capa será de unos 3 a 5 cm., en la cilindrada no debe usarse aplanadora de tres rodillos, la de dos rodillos y con un peso de 6 a 7 toneladas es la más recomendada, para retener la arena en los bordes del pavimento se procede como vimos en los macadam con tabloncillos colocados de canto.

El método que hemos explicado nos es el conocido como Sheet Asphalt, es muy semejante pero en el nuestro no se exige material clasificado tan cuidadosamente como en el Sheet Asphalt.

Los macadam por penetración son recomendables para un tráfico hasta 2.000 vehículos por día, aunque algunos construidos en condiciones muy buenas resisten tráfico hasta de 6.000 vehículos no se debe pasar de 2.000 porque la reparación se hace muy costosa.

El macadam por penetración se ha construido entre nosotros en la calle de Pichincha cerca a San Ignacio, dicho trayecto fué construido como vía de ensayo en una extensión de 80 a 90 metros. Como vemos los datos obtenidos del valor de la construcción no tienen utilidad por lo limitado del trayecto construido.

Resumen de los pavimentos estudiados.

No podemos establecer presupuestos probables para ninguno de los pavimentos enunciados, salvo el simple pavimento de tierra que no cuesta sino en proporción a la explanación y obras.

Un pavimento ideal debe ser durable, agradable, sin polvo, seguro, económico, de sostenimiento mínimo, resistencia de tracción mínima, utilizable por toda clase de vehículos. Según esto un método probable de comparación sería asumir un valor estándar para cada una de estas propiedades y tabularlas en la forma siguiente:

Pavimento ideal con coeficiente 10 para cada una de las cualidades		A	B	C	D	E	F
Costo inicial	10	7	9	9	9	10	10
Conservación	10	8	6	6	5	1	1
Amortización	10	7	10	6	7	3	7
Tracción	10	9	3	2	6	2	6
Tráfico	10	9	5	3	5	2	5
Comodidad	10	8	6	4	2	3	4
Polvo	10	7	4	3	3	1	3

Los números anteriores son completamente arbitrarios solo se dan como ejemplo.

Otro método de comparación sería el de la siguiente tabla:

Clasificación	Superficie probable		
	A	B	C
Vida probable del pavimento en años.	4	8	12
Costo de construcción/ km.	\$ 8. 000	15. 000	30.000
Anualidades y depreciación	2.364	2.528	3.797
Sostenimiento / km.	1.000	750	200
Costo total al cabo de 12 años por km.	40.368	39.336	47.964
Valor de la superficie al cabo de 12 años.	7.500	12.000
Valor neto por km.	40.368	32.836	35.964

Para el caso hipotético enunciado el pavimento B sería el indicado.

- La vida de un pavimento puede expresarse de dos maneras:
- Por el número de años en que puede ser sostenido sin pasar su valor de sostenimiento de un límite dado por metro cuadrado.
 - Por el número de toneladas anuales que puede resistir un metro transversal de carretera en cierto número de años. En lugar de toneladas puede expresarse por vehículos.

La resistencia a la tracción se calcula según el coeficiente de fricción y la teoría del plano inclinado.

La comodidad puede apreciarse por medio del coeficiente de desigualdad registrado en el aparato Vialog.

El costo de construcción, sostenimiento, tráfico no puede obtenerse sino por comparaciones estadísticas.

Para terminar enunciaremos la utilidad de los distintos pavimentos estudiados.

a) Los caminos de tierra cuando están bien mantenidos son adaptables a un tráfico de menos de 300 vehículos diarios, su costo de construcción es el más bajo de todos los pavimentos pero su conservación por tonelada kilómetro es la más alta.

b) Los caminos de arena y arcilla son semejantes a los de tierra con un costo inicial mayor y conservación menor. En estos tipos de pavimento debe prohibirse el tráfico pesado.

c) Los pavimentos de grava son utilizables para un tráfico de 400 a 500 vehículos diarios, si están bien contruidos pueden resistir tráfico pesado con un costo de construcción mayor que los anteriores pero con costo de sostenimiento menor.

d) Los pavimentos de macadam hidráulico pueden resistir un tráfico de 500 a 800 vehículos diarios. Su costo de construcción aumenta y el de sostenimiento disminuye en comparación con los anteriores.

e) Los tratamientos superficiales del macadam hidráulico aumentan su capacidad hasta 1.000 vehículos diarios.

f) El macadam bituminoso puede soportar un tráfico de 1.500 vehículos por día.

Con esto terminamos éste trabajo sin entrar al estudio de los pavimentos superiores de concreto, madera, ladrillo, asfalto, piedra labrada; consideramos que en el desarrollo actual del país en ninguna de nuestras carreteras es justificable hacer inversiones económicas en un cierto número de años, pero que se absorberían todos los fondos disponibles en un reducido número de kilómetros. Es preciso crear primero el tráfico que exija tales pavimentos.

FIN

CAPITULO X

DATOS ESTADISTICOS DE CONSTRUCCION

Para comparar el valor económico de un pavimento se deben considerar los seis factores siguientes:

- 1 - Costo de construcción por metro cuadrado o por kilómetro
- 2 - Intereses del capital invertido
- 3 - Costo de sostenimiento por metro cuadrado o por kilómetro
- 4 - Vida probable del pavimento
- 5 - Depreciación
- 6 - Valor de la tonelada - kilómetro para cada pavimento.

Entre nosotros el único dato que podemos estudiar es el primero o sea el costo de construcción pues de los otros aún no hay estadísticas que valgan la pena. El costo de construcción está afectado por las condiciones locales, jornales valor de los materiales empleados y fletes de los mismos.

En seguida haremos un ligero bosquejo de los pavimentos construidos entre nosotros y enumeraremos los datos estadísticos más recientes.

CARRETERA AL MAR/. Los primeros once kilómetros fueron construidos con grava o cascajo de la Quebrada Iguaná, se colocaba una capa de 35 cm. de espesor y se pasaba varias veces la aplanadora. El valor por kilómetro en éste trayecto fué de \$ 4.196-05 o sea para una banca de 5 metros consolidados \$ 0,84 por metro cuadrado.

Entre las abscisas 11.000 y 21.300 fué consolidada la carretera con cañiche extraído y colocado en la forma siguiente: la primera capa es de piedra gruesa con un espesor de 15 cm., luego una capa de balasto machado de 5 cm. y por último una capa de cascajo menudo de 5 cm., total 25 cm. Cada una de las capas se cilindraba cuidadosamente y se usó el sistema de caja para colocarlas. Este pavimento es de superior calidad al de grava, su valor por kilómetro fué de \$ 5.022-86 o sea el metro cuadrado a \$ 1,00 aproximadamente.

De Boquerón en adelante la carretera emplea ya un macadam hidráulico construido con las especificaciones siguientes: una capa de base y otra capa de superficie como se describe en seguida.

a) La capa de base consistirá de piedra gruesa y guache construido de materiales semejantes y por los mismos métodos descritos bajo el título "Capa de Base de Piedra Quebrada". Será colocada sobre la banca ya preparada hasta obtener el espesor y anchura deseados, una vez solidificada, según se demuestre en los planos y secciones transversales.

b) La capa de superficie consistirá de una capa gastable de superficie compuesta de piedra picada y de guache, la cual será colocada sobre la capa de base por un espesor y anchura deseados, una vez solidificada, según se demuestre en los planos y secciones transversales.

c) Todos los materiales y métodos de preparación y construcción se ceñirán a los requisitos de estas especificaciones. (Véase circular de campo # 9, **NORMAS DE CONSTRUCCION**, Carretera al Mar).

Según datos obtenidos el valor de éste macadam puede variar entre \$ 1,25 a 1,50 por metro cuadrado.

Puede objetarse que dicha carretera aún no tiene el tráfico que tal pavimento requiere, pero, sino lo tiene actualmente, lo tendrá en un futuro tan cercano a la época de inauguración que es mejor construirlo definitivamente. Hay que recordar que el fin primordial que indujo a construir la carretera fue la utilidad en caso de sequía del Río Magdalena, en estos casos la carretera soportará un tráfico de 100,000 toneladas anuales para no ser demasiado optimistas, y si en estos casos la carretera se inutiliza nada habremos hecho. Otra razón más para aducir es el carácter probable de nacional de dicha carretera cuando estemos comunicados con Bogotá.

DIRECCION GENERAL DE CAMINOS/. En la construcción de las otras carreteras departamentales se viene construyendo una clase de macadam pero no de las especificaciones de la Carretera al Mar. La Ordenanza sobre caminos de 1.926 sólo especifica una capa de 25cm. de espesor utilizando los materiales a mano de la región, por tanto los sistemas empleados son muy diversos según los recursos disponibles por los ingenieros constructores, en Andes por ejemplo, la capa es consolidada por el tráfico. A continuación transcribimos parte de un informe presentado por el Sr. Ingeniero Alfredo Molina respecto a ésta carretera.

Acompañamos un cuadro del informe del Sr. Director a la Honorable Asamblea de 1.928 en el que se indica que para esta carretera se han utilizado los materiales de la zona de Bogotá, pero que por el momento es el único de que se puede disponer."

CARRETERA DE LA QUIBRA

"El sistema seguido para su aplicación es el siguiente:

Una vez terminada por completo la reparación del piso, de modo que quede bien cilindrada, se abre al servicio durante unos seis u ocho días para que adquiera mayor solidez y también para ver los desperfectos con que pudo haber quedado y arreglarlos antes de aplicar el aceite; durante estos días conviene mantener el piso húmedo. Transcurrido éste tiempo se barre bien, de modo que el balasto quede completamente libre de polvo y si es posible una vez barrido, debe empaparse bien de agua para que arrastre la película de polvo que no hubiere salido con la escoba. Esta operación se hace de un modo más económico y mejor con un chorro de agua a presión porque se ahorran los jornales de la barrida y el piso queda mucho más limpio. Terminado éste se aguarda que el piso se seque completamente y se procede a aplicar el aceite con regaderas de mano o con un tanque automotor; al tiempo que se va regando se pone un peón para que con una escoba empareje la capa de aceite. En esta primera aplicación se riega un galón por metro cuadrado y se deja durante tres o cuatro horas quieta para que el aceite penetre un poco; en seguida se procede a cubrirlo con arena poniendo una nueva capa de aceite (galón por metro cuadrado) si la primera está ya seca se le pasa el rodillo varias veces. Debe tenerse cuidado para que la arena quede bien repartida y cubra completamente el aceite para evitar se pierda en las ruedas del rodillo. En éste estado queda ya listo el piso para darle al servicio."

"Como el aceite es demasiado liviano aquí se aplica a la temperatura ordinaria" (22 C)."

"La petrolización de la carretera ha dado resultados que no dejan que desear; el piso se ha conservado bastante bueno, el polvo se suprime por completo ;

y por consiguiente la perdida de balasto una de las causas que más a influido en el alto costo de sostenimiento, a principios del mes de junio se empezó este trabajo y a pesar de las grandes demoras en el des pacho de aceite se logró petrolizar una longitud de 9.600 metros con una superficie de 48.100 metros cuadrados y un gasto total de \$ 2.474-10.

DETALLE DE LA APLICACION DE ACEITE COMBUSTIBLE EN LA CARRETERA DE LA QUIEBRA.
Superficie cubierta 48.100 metros cuadrados.

	Cant. total.	V/ \$	Cant./ metro	V/ metro
Jornales.....	702-4	\$17.66	0.0014	0.0108
Aceto. (galones)...	21.925-2	1.306.21	0.4556	0.0272
Arena. Mts. cúbicos.	362-0	373.75	0.0075	0.0077
Varios.....	-----	\$6.07	-----	0.0011
Gastos grales.....	-----	220.41	-----	0.0046
Total.....	-----	2.474.10	-----	0.0514

TRANSPORTES EN LA QUIEBRA / Del mismo informe obtenemos el siguiente dato: En los camiones del Ferrocarril se movilizaron 8.117 toneladas a razón de \$ 2.03 c.u. En los carros de mulas se movilizaron 467.7 toneladas a razón de \$ 3.95 c.u. , cosa prácticamente casi el doble por el último sistema.

