

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA



DISEÑO DE PAVIMENTOS DE ADOQUIN

T
625.7
9527 d
C.6

RODOLFO ERNESTO GIRON WETJEN

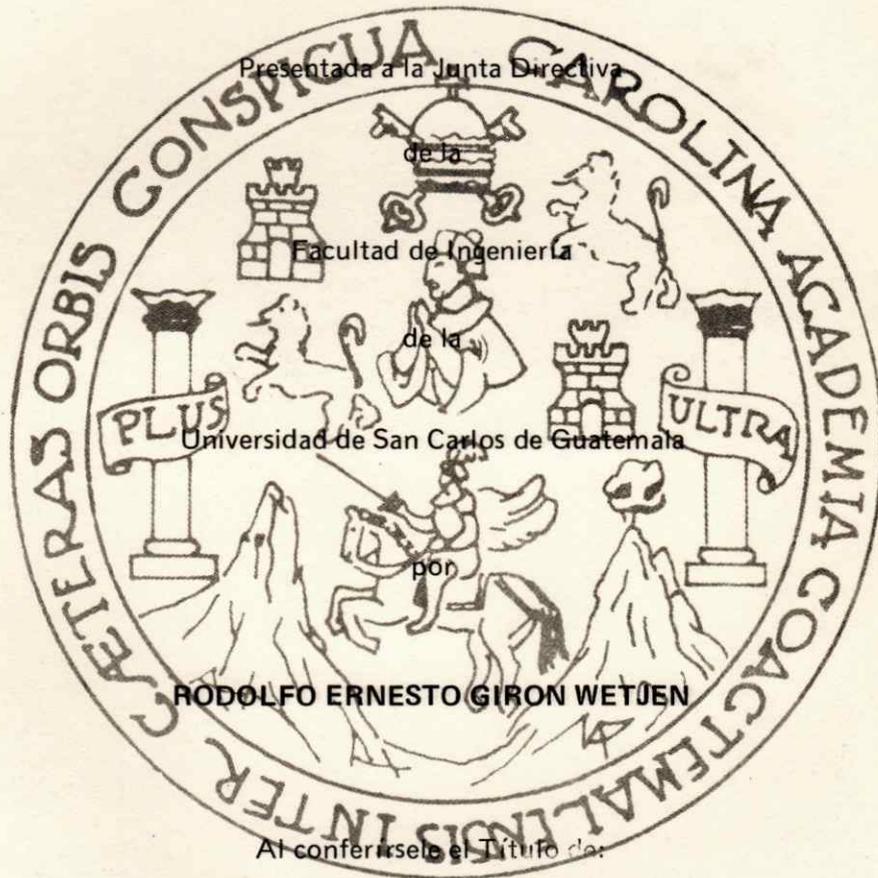
Guatemala, noviembre de 1976

DL 08T (385) d
MFN: 968

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA

DISEÑO DE PAVIMENTOS DE ADOQUIN

TESIS



INGENIERO CIVIL

Guatemala, noviembre de 1976

**JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Decano:	Ing. Raúl Molina
Vocal Primero:	Ing. Julio Campos
Vocal Segundo:	Ing. Roberto Barrios
Vocal Tercero:	Ing. Leonel Aguilar
Vocal Cuarto:	Br. Jorge Guzmán
Vocal Quinto:	Br. Alejandro Berganza
Secretario:	Ing. Carlos Cabrera García

**TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO**

Decano:	Ing. Hugo Quan Má
Examinador:	Ing. Juan López
Examinador:	Dr. Carlos Muñoz
Examinador:	Ing. Luis Pineda
Secretario:	Ing. José Luis Terrón

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR:

Cumpliendo con los preceptos que la ley de la Universidad de San Carlos establece, presento a vuestra consideración mi trabajo de tesis titulado:

“DISEÑO DE PAVIMENTOS DE ADOQUIN”

Tema que me fue asignado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería

DEDICO ESTE ACTO:

A mis padres:

Doctor Manuel Antonio Girón M.

Elsa Wetjen de Girón

DEDICO ESTA TESIS:

A mi patria Guatemala

A la Universidad de San Carlos

A la Facultad de Ingeniería

A mis catedráticos, compañeros y amigos

AGRADECIMIENTO

Al Ingeniero Guillermo Sopross Mazariegos, asesor de esta Tesis.

Al Ingeniero Roberto Lou.

CONTENIDO

CAPITULO 1. INTRODUCCION

- 1.1 Definición de pavimento.
- 1.2 Tipos de pavimentos
- 1.3 Antecedentes históricos de los pavimentos de adoquín
- 1.4 Uso del pavimento de adoquín en Centro América
- 1.5 Fotograbados de algunos usos de los pavimentos de adoquín

CAPITULO 2. ELEMENTOS QUE COMPONEN UN PAVIMENTO DE ADOQUIN

- 2.1 Sub-rasante
- 2.2 Sub-base y base
- 2.3 Lecho o cama de asiento
- 2.4 Adoquinado

CAPITULO 3. DISEÑO DE ESPESORES

- 3.1 Adaptación del Método de Mills para el diseño de espesores en pavimentos de adoquín
- 3.2 Ejemplos de diseño de espesores empleando el Método de Mills
- 3.3 Otros métodos de diseño

CAPITULO 4. PROCESO DE CONSTRUCCION

- 4.1 Tratamiento de la sub-rasante
- 4.2 Trabajo de las capas de sub-base y base
- 4.3 Trabajo del lecho de asiento
- 4.4 Colocación del adoquín

CAPITULO 5. ESPECIFICACIONES

- 5.1 Diseño geométrico del pavimento
- 5.2 Normas de calidad y métodos de ensayo para la fabricación del adoquín

CAPITULO 6. COSTOS Y RENDIMIENTOS

- 6.1 Costos de fabricación
- 6.2 Costos de colocación
- 6.3 Costos de mantenimiento y reparación
- 6.4 Comparación con los costos de otros tipos de pavimento

CAPITULO 7. CONCLUSIONES

CAPITULO 8. RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

ACTIVIDADES DE CAMPO

CAPITULO 1. INTRODUCCION

CAPITULO 2. ELEMENTOS QUE COMPONEN UN PAVIMENTO DE ADOQUIN

- 2.1 Sub-base
- 2.2 Sub-pase y base
- 2.3 Ladrillo o cama de asiento
- 2.4 Adoquinado

CAPITULO 3. DISEÑO DE ESPESORES

- 3.1 Adaptación del Método de Mills para el diseño de espesores en pavimentos de adoquina
- 3.2 Efectos de diseño de espesores empleando el Método de Mills
- 3.3 Otros métodos de diseño

CAPITULO 4. PROCESO DE CONSTRUCCION

- 4.1 Tratamiento de la sub-base
- 4.2 Trabajo de las capas de sub-pase y base
- 4.3 Trabajo del techo de asiento
- 4.4 Colocación del adoquin

CAPITULO 5. ESPECIFICACIONES

- 5.1 Diseño geométrico del pavimento
- 5.2 Normas de calidad y métodos de ensayo para la fabricación del adoquin

CAPITULO 6. COSTOS Y RENDIMIENTOS

- 6.1 Costos de fabricación
- 6.2 Costos de colocación
- 6.3 Costos de mantenimiento y reparación
- 6.4 Comparación con los costos de otros tipos de pavimento

CAPITULO 1

INTRODUCCION

El objeto de este trabajo de tesis es reunir los conocimientos que se tienen en nuestro medio de los pavimentos de adoquín, ampliándolos y complementándolos con conceptos adicionales, proponiendo también un método racional para el diseño de espesores y especificaciones para el uso de este tipo de pavimentos, que presentan una alternativa conveniente para las obras de pavimentación en países como el nuestro, en que el constante crecimiento del tráfico automotriz hace sentir cada vez más la necesidad de mayor número de arterias pavimentadas tanto en la capital como en las poblaciones del interior del país, y donde muchas veces no es factible realizar las obras de pavimentación porque no se cuenta con el equipo y la capacidad técnica para producir otros tipos de pavimento.

Esta tesis constituye además una guía detallada para la construcción de las distintas partes de un pavimento de adoquín y para la selección de los materiales a usar.

1.1 Definición de Pavimento

Pavimento es una estructura cuya función fundamental es distribuir suficientemente las cargas concentradas de las ruedas de los vehículos, de manera que el suelo subyacente pueda soportarlas sin falla o deformación excesiva. Además el pavimento debe ofrecer una superficie lisa, no resbaladiza, que resista la intemperie y finalmente debe proteger al suelo de la pérdida de sus propiedades, por efecto del sol, las lluvias y el frío.

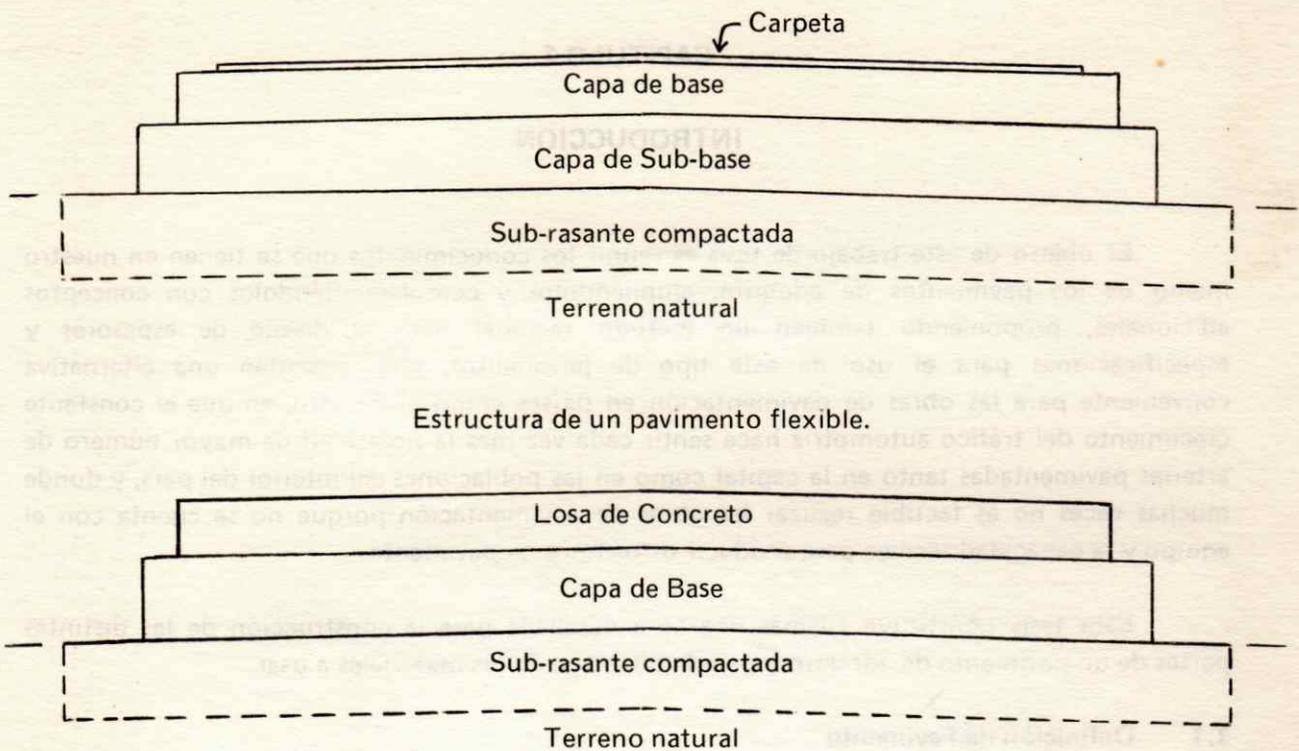
1.2 Tipos de Pavimento

Tradicionalmente se han definido dos tipos de pavimento, atendiendo a la forma como distribuyen las cargas sobre el suelo subyacente o subrasante; estos son:

- a) Pavimentos rígidos;
- b) Pavimentos flexibles.

Los pavimentos de losas de concreto son pavimentos rígidos, mientras que los pavimentos de asfalto son pavimentos flexibles.

El pavimento rígido, debido a su consistencia y alto módulo de elasticidad, utiliza la acción de viga para distribuir la carga en un área de suelo relativamente grande. En este tipo de pavimento la mayor parte de la capacidad estructural es proporcionada por la losa de concreto. En el pavimento flexible, la carpeta produce una mínima distribución de cargas, distribuyéndose éstas por el contacto de partícula a partícula en todo el espesor del pavimento.



Estructura de un pavimento flexible.

Estructura de un pavimento rígido.

Tomando en cuenta estas consideraciones, se puede decir que los pavimentos de adoquín son semiflexibles, ya que aunque cada adoquín es un bloque de concreto rígido, es a la vez una unidad independiente de los que lo rodean. Al recibir un adoquín una carga concentrada, ésta se distribuye en el espesor del bloque y es transmitida sobre el área de la base cubierta por él; ya en la capa de base la carga se distribuye por contacto de partícula a partícula como en un pavimento flexible.

Se puede considerar los pavimentos de adoquín como pavimentos del tipo flexible, por la forma como trabajan las capas inferiores a la superficie de rodaduras (base, sub-base y sub-rasante) o adoptar una nueva clasificación para el pavimento de adoquín llamándolo "semiflexible".

1.3 Antecedentes históricos de los pavimentos de adoquín

Cuando el hombre empezó a transportar cargas pesadas por veredas o rústicos caminos sintió que la superficies de éstos, con poca firmeza y uniformidad, le hacían la tarea muy difícil y a veces imposible, por lo cual empezó a idear la forma de mejorarlos; llegó a descubrir que colocando piedras de forma adecuada sobre el terreno flojo lograría obtener una superficie firme y uniforme, naciendo entonces los "Empedrados".

Según Heródoto el primer camino pavimentado con piedras lo construyó el rey egipcio Cheops, hacia el año 3,000 A.J. para el transporte de bloques de piedra empleados en la erección

de la Gran Pirámide. La construcción del camino duró 10 años, tiempo casi igual al que tardó la construcción de la Pirámide. Este camino construido con piedra pulimentada con bajorrelieves de animales tallados, medía 1000 metros de largo con un ancho de 20 metros.

El geógrafo griego Strabo menciona la existencia de un camino pavimentado con ladrillos colocados sobre mortero desde Babilonia hasta Nínive. Las calles de Babilonia fueron pavimentadas 2000 años antes de Cristo.

El sistema de carretera más avanzado del mundo antiguo fue el de los romanos, que las necesitaban para mantener unido el Imperio. Ellos ya comprendieron la importancia de construir una capa gruesa de material que no fuera afectado por la lluvia y que les proporcionara una superficie más o menos pareja para trasladarse de una ciudad a otra con cierta facilidad, comodidad y rapidez. Esta red de carreteras construida entre los años 400 A.C. y 400 D.C. llegó a tener una longitud total de unos 80,000 kilómetros. La mejor de ellas la vía Appia, con una extensión de 585 kilómetros (de Roma a Brindisi), fue construida excavando un foso en el terreno natural hasta encontrar terreno sólido que se compactaba y luego se colocaban 4 capas de material llamadas así:

1. Statumen, capa de guijarros o piedras sueltas cementadas con cal con un espesor entre 25 y 60 cms.
2. Rudus o ruderatio, de piedras más pequeñas machacadas y mezcladas con cal, de un espesor de unos 20 cms.
3. Nucleus, capa de arena gruesa o grava fina mezclada con cal y de unos 30 cms. de espesor.
4. Pavimentum, capa de piedras poligonales con la superficie labrada toscamente y de un espesor de 15 cms.

El espesor total era de un metro a un metro y medio y el ancho de la calzada mayor de 10 metros. En Estados Unidos se ha estimado que para construir una carretera así en la actualidad se tendría un costo de medio millón de dólares por kilómetro.

También las ciudades romanas estaban perfectamente adoquinadas como se ha podido ver en las ruinas de las ciudades de Pompeya y Herculano.

Con la caída del Imperio Romano cesó la construcción de caminos y de pavimentos, hasta el siglo XIII en que se colocaron en París los primeros pavimentos, pero los métodos de construcción y de mantenimiento no eran adecuados; en el siglo XVIII surgieron dos hombres que pueden ser llamados los padres de la construcción de carreteras modernas: Pierre Tresaguet de Francia y John Metcalf de Inglaterra, quienes aplicaron principios que aún son aceptados en la construcción de carreteras.

En el siglo XIX se ensayó el uso de varios tipos de bloques o adoquines; en Bloomington, Illinois se inició en 1870 el uso de ladrillos colocados sobre una capa de cemento y grava o de

arena apisonada; casi todas las ciudades de Holanda fueron pavimentadas en esta forma. La primera carretera moderna con pavimento de ladrillo fue construída en 1895 en Cuyahoga Country, Ohio. En Nueva York, Boston y Filadelfia se construyeron pavimentos de bloques de madera alrededor de 1840; posteriormente se construyeron pavimentos de bloques de cedro en Chicago y otras ciudades, pero estos pavimentos se deterioraban rápidamente debido a la pudrición de la madera, lo cual derivó en el uso de bloques tratados con creosota. A partir de 1890 se usaron bloques de asfalto para pavimentar. Se probó también el uso de bloques de hule y de hierro colado en algunos proyectos experimentales de pavimentación.

Durante este tiempo también se usaron los adoquinados con bloques de piedra labrada; para ello se utilizaron rocas duras de origen ígneo, eruptivas o de fusión (como granito, sienita, diorita, diabasa y basalto), que deben cumplir ciertas condiciones, como dejarse partir fácilmente en planos, tener composición mineralógica homogénea y resistir a los agentes atmosféricos. Se usaron en calles con tráfico muy pesado y eran construidos por lo general sobre bases de concreto de baja resistencia, por lo que su aplicación no dio resultados prácticos y hubo de buscarse nuevas soluciones.

En 1885 se empezó a usar en Europa el adoquinado pequeño (conocido como Durax en Inglaterra y los Estados Unidos, y como Kleinflaster en Alemania). En los Estados Unidos se utilizó por primera vez en 1913 en los patios de la armada en Brooklyn. Estos eran bloques de granito cortados a mano o a máquina, con forma cúbica lo cual permitía seleccionar la mejor de las seis caras para la superficie de rodadura. El adoquinado pequeño generalmente se colocaba en forma de segmento o arcos de círculo para evitar que las juntas quedaran paralelas a la dirección del tráfico.

Estos pavimentos fueron apropiados para un tráfico bastante lento, que se movía sobre ruedas de hierro y que ejercía pequeñas fuerzas horizontales sobre la superficie de rodadura, pero el gran desarrollo que tuvo el vehículo de motor con llantas de hule, obligó a utilizar otros tipos de pavimento con una superficie más uniforme y que soportara el efecto torsionante de las llantas debido a las fuerzas de tracción y de frenado. La fabricación de adoquines de concreto solucionó el problema de la uniformidad de la superficie, pero aún cuando eran colocados en sentido diagonal al eje de la carretera, su forma cúbica o rectangular hacía posible que las fuerzas de las llantas los cambiaran de posición y los desnivelaran, aún cuando se llenaran las juntas con argamasa, asfalto o concreto.

Por fin se inició en Holanda el desarrollo de un pavimento de adoquín cuyas unidades tenían formas geométricas regulares que calzaban entre sí, reduciéndose la posibilidad de movimiento de las unidades. Esto le hizo tomar un nuevo auge y tenemos que, por ejemplo, en la zona de Baviera, al sur de Alemania Occidental, en 1962 se construyeron 14,300 metros cuadrados de caminos vecinales con adoquines de concreto suministrados por cuatro fábricas, y en 1964 ya fueron ocho las fábricas que suministraron adoquines para cubrir un área de 214,635 metros cuadrados para el mismo tipo de caminos, lo cual significa un aumento de un 470o/o anual. En España y en Francia también es frecuente el uso de pavimentos de adoquín. En Argentina se han venido usando desde hace más de 10 años, y en México se empezó el adoquinado de las principales calles del centro de la ciudad hace tres años.

Recientemente se ha hecho una nueva innovación en la forma de los adoquines, siendo éstos los "Adoquines o Bloques Articulados", los cuales mediante ingeniosas disposiciones de su forma permiten que los bloques queden traslapados o "trabados", lo cual hace que las cargas verticales que inciden sobre uno de ellos se transfieran a todos los adyacentes.

1.4 Uso del pavimento de adoquín en Centroamérica

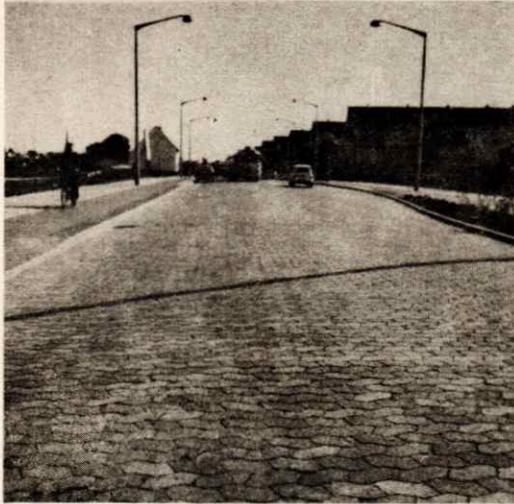
También en el área centroamericana se ha empezado a difundir el uso del adoquín de concreto, sustituyendo al adoquín de piedra tan usual en nuestras ciudades coloniales.

En Managua, Nicaragua se encuentra la fábrica de adoquines "Canal" que empezó a operar en 1965 y que a la fecha ha producido varios millones de metros cuadrados de adoquín. La fábrica cuenta con una adoquinera móvil y tres estacionarias y tiene una producción de alrededor de 3700 unidades por hora.

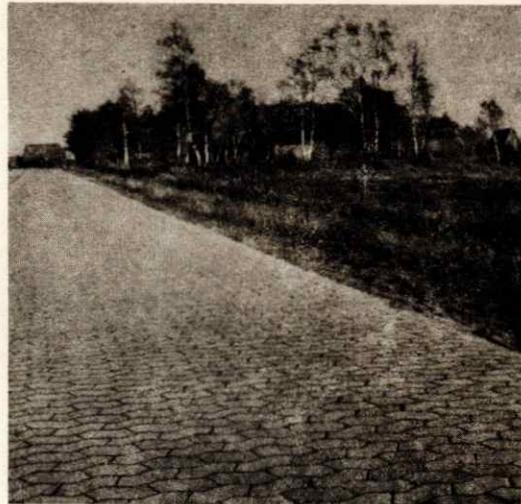
En Costa Rica hay también una fábrica de adoquines de concreto en permanente producción.

En Guatemala existen actualmente dos firmas dedicadas a la fabricación de adoquines de concreto; son Cementos Novella, S.A. y Prefabricados CIFA. Además se ha producido y colocado adoquín fundido a mano en muchas poblaciones del interior del país, con la asesoría del Instituto de Fomento Municipal (INFOM). Sin embargo, en Guatemala aún se encuentra poco difundido el uso de adoquines de concreto y no se puede decir que haya una producción en gran escala ni que se cuente con la tecnificación suficiente.

1.5 Fotografados de algunos usos de los pavimentos de adoquín



Calles



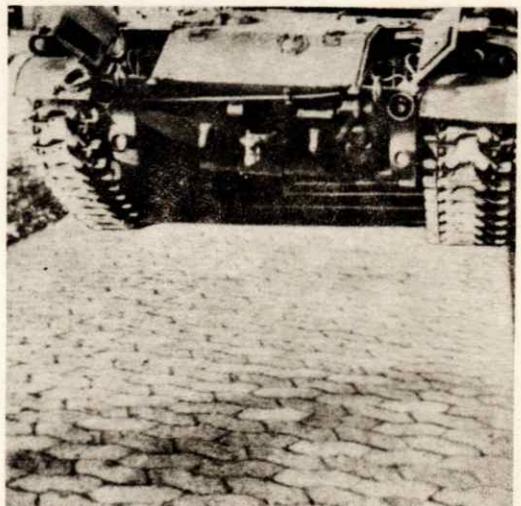
Carreteras



Bodegas



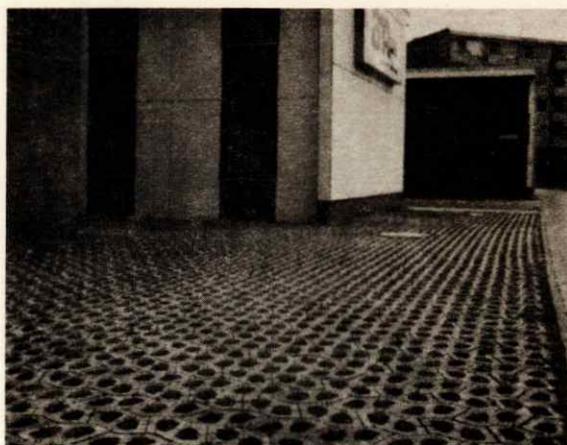
Muelles



Tráfico pesado sobre orugas



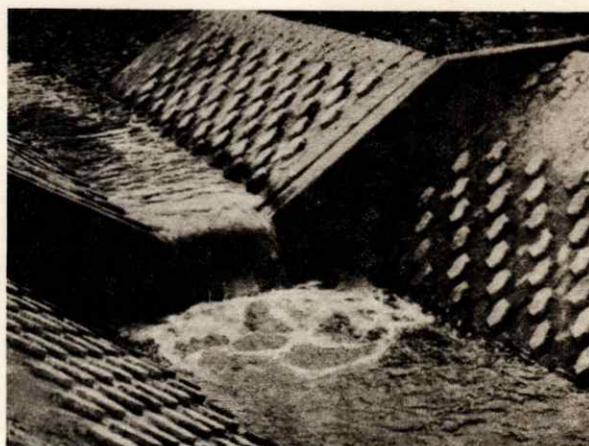
Areas de estacionamiento para
aviones



Areas de jardines



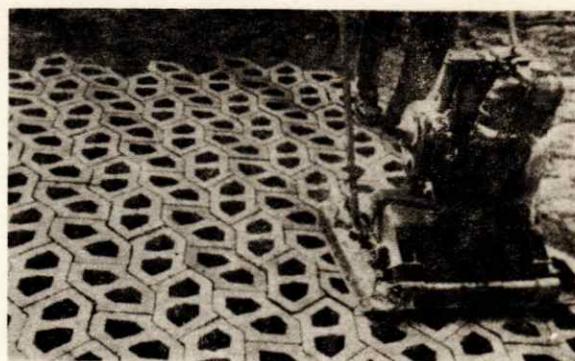
Canales



Caidas de agua



Colocación del adoquín



Compactación del adoquín

CAPITULO 2

ELEMENTOS QUE COMPONEN LA ESTRUCTURA DE UN PAVIMENTO DE ADOQUIN

2.1 Subrasante

Es la superficie que resulta una vez terminado el movimiento de tierras, pudiendo estar en corte o en relleno, y que una vez compactada tiene las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos de diseño. En general deben cumplir con requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y retracción por efectos de la humedad; debe ser lo suficiente rígida para evitar una deformación excesiva por efecto de las cargas accidentales y tener desniveles necesarios para desalojar el agua de lluvia fuera del área del pavimento.

El diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de la rueda a la capacidad de la subrasante. Aunque esto se puede hacer por reglas empíricas basadas en experiencias anteriores, la ingeniería económico-práctica requiere una evaluación de las propiedades más significativas de la subrasante y que el diseño del pavimento se ajuste a ella, evitando la posibilidad de producir un pavimento más caro de lo necesario o uno que no sea suficientemente resistente.

Por tanto, el espesor del pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, y se puede decir que:

- a) Si la subrasante es de "muy mala calidad" (con un alto contenido de materia orgánica o material suelto sin cohesión), será necesario sustituirla por un material de mejor calidad o estabilizarla (con cemento, cal, materiales bituminosos, etc.) en un espesor que dependerá de las cargas de diseño y de las propiedades de los materiales a utilizar en las otras capas.
- b) Si la sub-rasante es de "mala calidad" (formada por suelo fino limoso o arcilloso), será necesario colocar una capa de sub-base granular de material selecto o de material estabilizado antes de la colocación de la capa de base.
- c) Si la subrasante es de "buena calidad". (formada por un suelo bien graduado, que no ofrezca peligro de saturación), con un valor soporte excelente y buen drenaje, podrá omitirse la capa de sub-base.
- d) Si la subrasante fuera "excelente" (con un valor soporte muy elevado y sin posibilidad de saturación), se puede omitir también la capa de base, colocando la carpeta sobre el terreno natural después de haber sido conformado y compactado.

Esta última situación no se da casi nunca; por lo general resulta necesario el uso de las dos capas: sub-base y base.

Los materiales que forman la sub-rasante deberán cumplir con ciertos requisitos para producir un pavimento de buena calidad; dichos requisitos dependen de las propiedades de los

materiales que se determinan por ensayos debidamente normalizados por la American Society for Testing Materials (ASTM) y por la American Association of State Highway Officials (AASHO).

Estos requisitos deben cumplirse en una profundidad de al menos 30 cm. para calles y carreteras y de al menos 50 cm. para aeropistas y son:

PROPIEDAD		REQUISITO:
Tamaño máximo de partícula		7.5 cm (3")
Límite líquido	Carreteras (*)	Mayor del 50o/o
	Aeropistas	Menos del 50o/o
CBR		5o/o mínimo
Expansión		5o/o máximo
Compactación		95o/o mínimo

(*) Con plasticidad media a baja.

Los suelos que no cumplan estas condiciones deberán ser sustituidos por un material adecuado o estabilizados.

Evaluación de las propiedades de los materiales de subrasante.

Existe una gran variedad de métodos y sistemas para evaluar las propiedades de los suelos, aplicándose estos según el método de diseño de espesores que se proyecta usar. Entre ellos destaca el "Método de Mills" ampliamente usado para el diseño de pavimentos flexibles, y que en este trabajo ha sido adaptado al diseño de pavimentos de adoquín. Este método emplea el "valor soporte CBR" y el "Índice de Grupo" como propiedades de los suelos para el diseño, por lo cual se incluye una descripción de las mismas en este trabajo.

2.1.1 Valor Soporte CBR

El CBR o Valor Soporte de California (California Bearing Ratio) ha sido uno de los métodos de evaluación de sub-rasantes más extensamente empleados en el diseño de pavimentos flexibles. Fue desarrollado por la División de Carreteras de California alrededor de 1930 y en 1951 fue adoptado por la ASTM con la designación D1883, Bearing Ratio of Laboratory-Compacted Soils.

La mayor parte de fallas en los pavimentos flexibles se debe a desplazamientos, o sea a fallas de corte, de los materiales de las diferentes capas. El CBR es una medida de la resistencia al corte del suelo en condiciones controladas de densidad y humedad.

Este método comprende tres ensayos:

- a. Determinación de la densidad máxima y la humedad óptima.

- b. Determinación de las propiedades expansivas de los materiales.
- c. Determinación del Valor Soporte de California (CBR).
- a. **Determinación de la Densidad Máxima y Humedad Optima**

Estas propiedades se determinan por medio de los ensayos de Proctor. Existen dos tipos de ensayo Proctor:

a.1 Proctor Normal (ASTM D 698; AASHO T 99):

Se utiliza un molde cilíndrico de 4" (10 cm) de diámetro y una altura de 4.58" (11.64 cm) con lo cual se tiene un volumen de $1/30$ de pie³; se le coloca en la parte superior un collar del mismo diámetro para darle una altura adicional.

El molde se llena en tres capas iguales del material a ensayar, compactando cada una con 25 golpes de un martinete de 5.5 libras de peso, un diámetro de 2" y una altura de caída de 12". La energía de compactación proporcionada por este martinete es de 12,400 libras-pie/pie³, que es comparable a la que se obtiene con equipos de compactación ligeros.

a.2 Proctor modificado (ASTM D 1557; AASHO T 180)

Se utiliza un molde cilíndrico con las mismas dimensiones que el anterior y con el respectivo collar en la parte superior, pero en este caso, el molde se llena en 5 capas, compactando cada capa con 25 golpes de un martinete de 10 libras de peso, con una altura de caída de 18 pulgadas, el cual proporciona una energía de 56,200 libras-pie/pie³, comparable a la que se obtiene con equipos de compactación más pesados en condiciones favorables de trabajo.

Al tener lleno el molde, se quita el collar y se enrrasa el cilindro. Para calcular la densidad pesamos el molde con su contenido, obteniendo el peso bruto húmedo (PBH) al cual se le resta la tara del molde para obtener el peso neto húmedo (PNH). Dividiendo el PNH entre el volumen de la muestra ($1/30$ pie³) se obtiene el peso unitario húmedo (PUH). Secando la muestra al horno se obtiene el peso neto seco (PNS) y de aquí el contenido de humedad ($W = \frac{PNH - PNS}{PNS}$), luego se puede obtener el peso unitario seco (PUS) por la relación:

PNS

$$PUS = \frac{PUH}{1 + W}$$

El proceso se repite con diferentes contenidos de humedad, trazando luego una curva que relacione el contenido de humedad (W) con el peso unitario o densidad seca (PUS); el valor más alto de la curva nos dará la DENSIDAD MAXIMA y el contenido de humedad correspondiente, la HUMEDAD OPTIMA.

b. Determinación de las propiedades expansivas de los materiales

El equipo que se utiliza para el ensayo es:

- Una prensa hidráulica con una capacidad mínima de 60,000 lb equipada con cabezal o base móvil que avance a razón de 0.05"/min. para forzar al pistón de penetración dentro del espécimen. Deberá estar equipada con indicadores de carga legibles cada 10 lbs. o menos.
- Un molde cilíndrico con diámetro interno de 6" (15.24 cm) y altura de 7" (17.78 cm), provisto de collar de extensión de 2" de altura y una plancha de base perforada de 3/8" de espesor; las perforaciones de la plancha no deben exceder un diámetro de 1/16".
- Un disco espaciador metálico de 5"15/16 de diámetro y 2.4" de altura.
- Tamices No. 4 y de 3/4
- Un penetrómetro o pistón de 1.95" de diámetro (3 pulgadas cuadradas de sección) y al menos 4" de longitud.
- Un micrómetro de reloj graduado en 0.001".
- Un disco perforado con una barra ajustable apropiada para colocar un micrómetro de reloj con trípode.
- Sobrepesas anulares, una entera y varias divididas de 5 libras de peso, con 5" 5/8 de diámetro externo y 2" 1/8 de diámetro interno.
- Un mazo de compactación de 10 lbs. de peso y 18" de caída.
- Una balanza con sensibilidad de 1 g. y capacidad de 20 kg.
- Una bandeja de mezcla, regla metálica, tanque de inmersión, papel filtro, cronómetros, espátulas, etc.

Preparación de la muestra:

Se seca la muestra al aire y luego se pulveriza el material, cuidando de no romper las partículas individuales. Se toma una porción de la muestra y se pasa por el tamiz de 3/4"; se descarta el material retenido y se reemplaza con igual peso de material que pasa el tamiz de 3/4" y es retenido en el tamiz No. 4, tomado del sobrante de la muestra. De esta muestra se toma unos 500 gramos y se determina el contenido de humedad actual. Se agrega la cantidad de agua necesaria para llegar a la humedad óptima, la cual se puede calcular por la siguiente fórmula:

$$\text{Vol. de agua por agregar (c.c.)} = \frac{\text{Peso del mat. (gr)} \times (\text{hum. óptima} - \text{hum. actual})}{100 + \text{humedad actual}}$$

La humedad del material deberá quedar dentro de más o menos 0.5o/o de la humedad óptima.

Ensayo de expansión:

Se pesa el molde y se fija junto con el collar de extensión a la plancha de base; se inserta el disco espaciador colocando sobre él un disco de papel filtro. Se llena el molde en 5 capas compactando cada capa con 55 golpes del mazo, removiendo luego el collar de extensión y se empareja cuidadosamente el suelo compactado con una regla metálica, llenando con material fino cualquier agujero que quede en la superficie. Se retira la plancha de base y el disco espaciador, se coloca un disco de papel filtro sobre la plancha de base, se invierte el molde con el suelo compactado y se fija a la plancha de base con el suelo compactado en contacto con el papel de filtro.

Se coloca el disco perforado sobre el suelo compactado; para producir una sobrecarga igual al peso de la base y del pavimento se colocan pesas sobre el disco perforado, tomando en cuenta que en ningún caso el peso debe ser menor de 10 libras. Luego se sumerge el molde en agua, permitiendo el libre acceso de esta al fondo y a la superficie del espécimen. Se toma la medida para hinchamiento con el micrómetro de trípode y se deja saturar la muestra durante 96 horas, tomando lecturas del hinchamiento cada 24 horas; el hinchamiento se calcula como porcentaje de la altura inicial de la muestra, así:

$$\text{Hinchamiento} = \frac{\text{Lectura inicial} - \text{Lectura Final}}{\text{Altura Inicial de la Muestra}} \times 100$$

Los suelos que tengan expansiones totales menores del 3o/o se recomiendan como buenos para ser usados como sub-base en carreteras, los que tengan arriba de este porcentaje no son recomendables. Los suelos arcillosos y orgánicos llegan a tener expansiones máximas del 20o/o y los materiales para base del 1o/o.

c. Determinación del valor soporte de California (CBR)

Después de terminar el ensayo de hinchamiento se saca el molde del agua y se deja escurrir durante 15 minutos en posición vertical. Al pasar el tiempo indicado se remueve el disco perforado, las pesas y el papel filtro.

Se colocan nuevamente las pesas sobre la muestra, produciendo una sobrecarga igual a la que se tuvo durante la inmersión. Se centra el molde sobre la base de la prensa de ensayo y se sienta el pistón de penetración sobre la superficie, con una carga inicial de 10 lbs.

Se aplica la carga sobre el pistón produciendo una penetración de 0.05 pulgadas por minuto. Se toman las lecturas de carga correspondientes a 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 pulgadas de penetración.

Con estos resultados se dibuja una curva usando como abscisas la penetración del pistón y como ordenadas la carga. La calidad del material se obtiene por comparación de la curva del

material ensayado con la curva TIPICA que corresponde al mismo ensayo efectuado en una muestra de piedra triturada.

Los valores típicos para la piedra triturada son:

CARGA STANDARD	PENETRACION (")
1,000 lb/pulg. ²	0.1
1,500 lb/pulg. ²	0.2
1,900 lb/pulg. ²	0.3
2,300 lb/pulg. ²	0.4
2,600 lb/pulg. ²	0.5

El valor soporte CBR de un suelo es el que resulte mayor al aplicar la siguiente fórmula a los valores de carga correspondientes a penetraciones de 0.1" y 0.2", así:

$$\text{CBR} = \frac{\text{CARGA A UNA PENETRACION DADA} \times 100}{\text{CARGA STANDARD A LA MISMA PENETRACION}}$$

Por ejemplo si en un ensayo se obtuvo para una penetración de 0.1" una carga de 240 lb/pulg.² y para una penetración de 0.2" una carga de 450 lb/pulg.² tendremos:

$$\text{CBR a } 0.1'' = \frac{240}{1000} \times 100 = 24\text{o/o}$$

$$\text{CBR a } 0.2'' = \frac{450}{1500} \times 100 = 30\text{o/o}$$

O sea que el valor CBR de este suelo es 30.

En general se puede hacer la siguiente clasificación atendiendo al valor soporte CBR.

100o/o	—	80o/o	Son excelentes materiales para bases
80o/o	—	50o/o	Son buenos materiales para bases
50o/o	—	30o/o	Son buenos materiales para sub-base
30o/o	—	20o/o	Son muy buenos materiales para sub-rasante
20o/o	—	10o/o	Son buenos materiales para sub-rasante
10o/o	—	5o/o	Son regulares materiales para sub-rasante y son los más usuales en nuestro medio
5o/o	—	0o/o	Son malos materiales para sub-rasante.

2.1.2 Índice de Grupo

El método del índice de grupo también ha sido utilizado muy ampliamente para el diseño de pavimentos. El índice de grupo es un número obtenido en base a una fórmula que toma en cuenta las siguientes propiedades de los suelos:

- a) Proporción de finos
- b) Límites de Atterberg
- a) **Proporción de finos:**

La proporción de finos se obtiene del ensayo granulométrico normalizado por la ASTM, que consiste en separar los distintos gruesos de granos de la muestra de suelo, utilizando una serie de tamices cuyas aberturas van de 19.05 mm (3/4") hasta 0.074 mm. (tamiz No. 200)

Para efectuar el ensayo se debe obtener el peso neto de la muestra seca pulverizada (M), procediendo luego a tamizarla; en seguida se obtiene el peso retenido en cada tamiz, elaborando un cuadro como sigue:

TAMIZ	DIAM. (mm)	PESO RETENIDO PARCIAL				o/o PASA ACUMULATIVO
		P.B.S	TARA	PNS	o/o DE M.	
3/4"	19.05	A'	T	A	a	a1
No. 4	4.76	B'	T	B	b	B1
No. 10	2.00	C'	T	C	c	c1
No. 40	0.42	D'	T	D	d	d1
No. 200	0.074	E'	T	E	e	e1
Fondo	-----	F'	T	F	f	f1
Σ PNS = M					100 o/o	

El o/o de M es el porcentaje en peso del retenido en cada tamiz respecto a la muestra total, por ejemplo:

$$a = \frac{A}{M} \times 100$$

Si la Σ PNS, no es igual a M, se corrige el error en la fracción de mayor peso, siendo admisible un error máximo del 1o/o.

El o/o pasa acumulativo es el o/o de la muestra menor que un tamiz determinado y se calcula así:

$$\begin{aligned} a1 &= 100 - a \\ b1 &= a1 - b \\ c1 &= b1 - c \\ &\text{etc.} \end{aligned}$$

Para el cálculo del Índice de Grupo sólo se utiliza el o/o pasa acumulativo No. 200.

b) Límites de Atterberg:

En 1911 el científico sueco Atterberg definió ciertos límites arbitrarios en el contenido de humedad de los suelos finos, para dividir los estados de consistencia de estos suelos.

Para obtener el Índice de Grupo sólo nos interesa el límite líquido (LL) y el Índice de Plasticidad (IP) que es igual al límite líquido menos el límite plástico (LP).

Límite Líquido (LL) es el máximo contenido de humedad para el cual el suelo es plástico (AASHO T 89).

Para efectuar el ensayo se utiliza el material que pasa un tamiz No. 40, mezclándolo con agua hasta formar una pasta suave.

Se coloca en el platillo del aparato de Casagrande hasta llenarlo aproximadamente 1/3 de su capacidad, formando una masa lisa. Se divide esta pasta en dos partes por medio del ranurador especial. Se hace girar la manivela del aparato a razón de dos golpes por segundo, contando el número de golpes (N) necesarios para que el fondo del surco se cierre en una longitud de 1/2" aproximadamente. El número de golpes debe ser de 15 a 35. Luego se toma la muestra y se le determina el contenido de humedad (W). El límite líquido se obtiene aplicando la fórmula:

$$LL = \frac{(N) 0.121}{25} \times W$$

Límite Plástico es el mínimo contenido de humedad para el cual el suelo es plástico (AASHO T 90).

Para efectuar el ensayo se utiliza una porción de la misma muestra preparada para el ensayo del límite líquido.

Se deja secar hasta que alcance una consistencia que no se adhiera a la palma de la mano; se toma una porción y se hace rodar con la palma de la mano sobre una superficie lisa no absorbente, formando un cilindro de aproximadamente 1/8"; al llegar a este tamaño se vuelve a hacer una esfera el material y se repite el procedimiento reduciendo el contenido de humedad por el manipuleo, hasta que el cilindro se raje o empiece a desmoronarse. En este momento se le determina el contenido de humedad y éste es el valor del Límite Plástico.

El índice de plasticidad (IP) se calcula por la fórmula:

$$IP = LL - LP$$

Cálculo del índice de grupo:

El Índice de Grupo es un valor que indica la calidad del suelo dependiendo de su granulometría y de los valores obtenidos para el límite líquido y el índice de plasticidad.

Debe ser un número entero y positivo comprendido entre los valores de cero y 20 (si resulta un número fraccionario se redondea al entero más cercano); si resultara un valor negativo se adopta el cero y si es mayor de 20, se toma como 20.

Para su cálculo se emplea la fórmula:

$$IG = 0.2 a + 0.005 ac + 0.01 bd$$

donde:

a	=	(o/o pasa No. 200) - 35	(entre 0 y 40)
b	=	(o/o pasa No. 200) - 15	(entre 0 y 40)
c	=	LL - 40	(Entre 0 y 20)
d	=	IP - 10	(entre 0 y 20)

El valor resultante del Índice de Grupo es función de la calidad del suelo.

Para el cálculo del espesor de pavimentos por medio del Índice de Grupo y considerando los tipos de tráfico, se han desarrollado curvas empíricas.

2.2 Capas de Sub-Base y Base

El propósito fundamental de estas capas es el de proporcionar un medio de distribución para las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de un pavimento, pero también es importante el aislamiento de la subrasante de la humedad superficial para evitar que tenga asentamientos o deformaciones, especialmente cuando ésta es arcillosa. En ello radica la importancia de darle a un pavimento los espesores adecuados usando los materiales más indicados.

2.2.1 Capa de Sub-base:

Es la capa de material que se coloca entre la sub-rasante y la capa de base y puede construirse con una gran variedad de suelos, ya sea en su estado natural o mejorado (estabilizados) por un tratamiento adecuado.

Las principales funciones de la sub-base son:

- Transmitir y distribuir las cargas provenientes de la base.
- Servir de material de transición entre el suelo de sub-rasante y la base, así como de elemento aislador entre ellas.
- Romper la capilaridad de la terracería y drenar el agua proveniente de la base.

De aquí, que un material de sub-base debe satisfacer las siguientes condiciones:

- a. Ser susceptibles de compactación, es decir, que la compresión o la vibración conduzcan fácilmente a una disposición estable de las partículas correspondiente a una cantidad de vacíos reducida y a una gran densidad seca. Los suelos de granulometría continua siempre serán apropiados; hay suelos de granulometría discontinua que compactan bien, pero no se deberá usar suelos de granulometría uniforme.
- b. Ser poco sensibles al agua, para lo cual es preciso que la proporción de finos arcillosos sea pequeña; son ideales los suelos cuyo Índice de Plasticidad sea nulo o inferior a 5.
- c. Conservar en las condiciones higrométricas más desfavorables, una consistencia suficiente. Para determinar esta consistencia se debe obtener el IG y el valor soporte CBR.
- d. Poder "vivir en buena vecindad", esto es, adaptarse a las características del terreno de sub-rasante sobre el cual será colocado. Debido a esto pueden presentarse dificultades en diversas circunstancias, especialmente:

Si el material de base es sensible al agua y el suelo de subrasante es o muy impermeable o expuesto a fuertes succiones capilares, será necesario colocar una capa de sub-base anticapilar de drenaje, que corte las succiones capilares y evacue el agua que proviene ya sea de estas succiones o de filtraciones de arriba hacia abajo.

Si el material de subrasante contiene elementos muy finos que en el curso de la compactación y cuando la pista está ya en servicio, pueden penetrar en el material de sub-base y alterar su granulometría, su estabilidad, su consistencia y hacerlo sensible al agua, es preciso colocar una sub-base anticontaminante con una granulometría intermedia que le permita resistir la contaminación sin ser impermeable.

En zonas muy frías y cuando la sub-rasante es sensible a las heladas deberá construirse una sub-base antihielo.

Materiales para sub-base:

Consistirán en materiales de tipo granular con las siguientes propiedades mínimas:

Valor soporte CBR del 30o/o sobre muestra saturada y con el valor de compactación que se especifique (nunca menor del 90o/o; generalmente se usa el 95o/o).

Índice de plasticidad no mayor de 9.

Límite líquido no mayor de 40.

Los materiales de sub-base deben ser de fácil compactación para alcanzar la densidad máxima determinada. Si contienen gravas o rocas, éstas no deben ser mayores de 2/3 del espesor de la sub-base. Además, deben ser materiales libres de materia orgánica, materia vegetal, basuras o terrones de arcilla.

2.2.2 Capa de Base:

En un pavimento flexible, es la capa de base el principal elemento de distribución de las cargas y esfuerzos ejercidos sobre la capa de rodadura, por lo cual el suelo o material compactable a usar debe ser de muy buena calidad. La elección de este material debe ser objeto de una atención especial, debiendo satisfacer condiciones más precisas y severas.

Las principales funciones de la capa de base son:

- a) Transmitir y distribuir las cargas provenientes de la capa de rodadura.
- b) Servir de material de transición entre la sub-base y la capa de rodadura.
- c) Ser resistentes a los cambios de temperatura, humedad y desintegración por abrasión producidos por el tránsito.
- d) Tener mayor capacidad soporte que el material de sub-base.

Los materiales para la capa de base deben cumplir con los siguientes requisitos:

- a) Se admite en general que los materiales deben tener un tamaño inferior a 1"1/2 (4 cm); de lo contrario, se está expuesto a una segregación en la puesta en obra y a desprendimientos en la superficie antes de colocar la capa de rodadura.
- b) La curva granulométrica debe estar comprendida entre las curvas tipo, excepto en el caso en que una granulometría discontinua sea favorable a una buena compactación, pero debe considerarse que si el material tiene demasiados finos es muy sensible al agua, y si tiene pocos finos compacta mal.
- c) El material que forma la capa de base debe tener buena resistencia al punzonamiento, por lo que para pavimentos de alta calidad se exige que tenga un valor soporte CBR mayor del 80o/o.

Tipos de Bases:

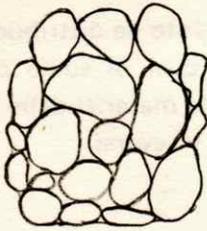
Existe una gran variedad de suelos que pueden utilizarse como base.

Entre los más usuales en nuestro medio tenemos:

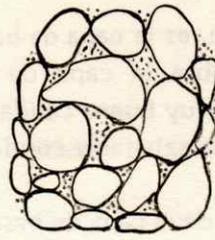
Bases de suelo y agregado:

Los materiales utilizados en este tipo de bases pueden encontrarse en estado natural o provenir de la mezcla de gravas con suelos. Su estabilidad dependerá de la graduación de las partículas, su forma, densidad relativa, fricción interna y cohesión.

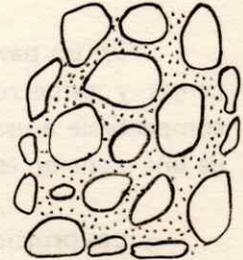
Todas estas propiedades dependerán de la proporción de finos respecto al agregado, pudiendo definirse tres casos típicos:



a) Agregado sin finos



b) Agregado con los finos necesario para tener la densidad máxima.



c) Agregado con gran proporción de finos.

Contacto de partícula a partícula.

Contacto de partícula a partícula con la resistencia a la deformación incrementada.

Sin contacto de partícula a partícula; el agregado flota en el suelo.

Densidad variable
Permeable
Insensible a las heladas.

Densidad alta
Baja permeabilidad
Sensible a las heladas

Densidad baja
Baja permeabilidad
Sensible a las heladas.

Alta estabilidad si está confinado, baja si no se confina.

Estabilidad alta confinado o sin confinar.

Baja estabilidad

No es afectado por condiciones de humedad severas.

Es poco afectado por condiciones de humedad severas

Grandemente afectado por condiciones de humedad severas.

Difícil de conformar y compactar

Poca dificultad para conformarlo y compactarlo.

Fácil de conformar y compactar.

Puesto que resultaría antieconómico y muchas veces casi imposible obtener el material con una graduación ideal para obtener la máxima estabilidad, la AASHO ha fijado las graduaciones que nos pueden dar una buena estabilidad; éstas son indicadas en la especificación AASHO M-147 así:

Tamiz No.	o/o EN PESO DE MATERIAL QUE PASA EN TAMICES DE MALLA CUADRADA					
	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D	Tipo E	Tipo F
2"	100	100				
1"		75-95	100	100	100	100
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100		
No. 4	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	70-100
No. 10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100
No. 40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70
No. 200	2-8	5-20	5-15	10-25	6-20	8-25

Además los materiales deben ser tales que:

El agregado grueso debe tener un porcentaje de desgaste en el ensayo de "Los Angeles" menor de 50.

El porcentaje que pase la malla No. 200 no debe ser mayor que 2/3 partes del porcentaje que pasa la malla No. 40.

El límite líquido no debe ser mayor de 25.

El índice de plasticidad no debe ser mayor de 6.

Bases de Arena-Arcilla:

Estas bases son mezclas que debidamente proporcionadas tienen considerable resistencia a la desintegración cuando han sido compactadas con la humedad óptima a su máxima densidad y se pueden utilizar para carreteras de segundo orden, pero deben ser protegidas o imprimadas inmediatamente después de construidas, pues al perder humedad más allá de límites razonables, se desintegran rápidamente y pierden de manera sensible su valor soporte. Si son debidamente protegidas, dan resultados excelentes y su construcción es económica.

Las graduaciones aceptables son:

TAMIZ No.	o/o EN PESO DE MATERIAL QUE PASA EN TAMICES DE MALLA CUADRADA		
	TIPO A	TIPO B	TIPO C
10	100	100	100
40	40-80	40-80	40-80
80	25-65	35-48	20-40
Limo	7-20	8-15	9-18
Arcilla	3-20	9-20	12-22

Además deben tener las siguientes características:

Las arenas deben ser duras, angulosas y preferiblemente silicicas.

Las arcillas deben ser de calidad uniforme y estar libres de terrones, materiales vegetales y sustancias deletereas.

La fracción que pasa por el tamiz No. 200 será menor del 50o/o de la fracción que pasa el tamiz No. 40.

El límite líquido no debe ser mayor de 25.

El índice de plasticidad debe ser igual o menor de 9.

Bases estabilizadas con agentes aglutinantes:

En los últimos años se han estado usando en Guatemala bases estabilizadas con agentes aglutinantes en las carreteras de primer orden. La principal ventaja de estas bases es que permiten el uso de muchos agregados y suelos de baja calidad, a la vez que hacen posible una reducción en el espesor total del pavimento. Además su construcción es fácil y presentan una compactación uniforme y rápida.

Los principales tipos son:

Bases con estabilización bituminosa

Bases estabilizadas con cal

Bases de suelo cemento

En este trabajo sólo describirémos detalladamente las bases de suelo-cemento por ser hasta ahora las más aplicables en nuestro medio.

Bases de suelo-cemento:

Están formadas por mezclas de determinados suelos con cemento portland. Cuando han sido compactadas a su humedad óptima y densidad máxima, son altamente resistentes a la desintegración. La adición de cemento a suelos altamente plásticos, los transforma en buenos materiales para bases y los vuelve muy poco sensibles al agua.

La graduación del suelo a usar debe ser:

TAMIZ No.	o/o EN PESO DE MATERIAL QUE PASA EN MATICES DE MALLA CUADRADA
3"	100
No. 4	50-100
No. 40	15-100
No. 200	0-50

Además, es recomendable que tengan:

Límite líquido menor de 40.

Índice de plasticidad menor de 9.

No deben tener más del 2% de materia orgánica.

Para los pavimentos de adoquín resulta muy indicada la construcción de bases de suelo-cemento que aseguran un mínimo de deformación y gran resistencia al punzonamiento, además de ser poco sensibles a la humedad.

La proporción de cemento a utilizar dependerá del tipo de suelo, los valores aproximados son:

CLASIFICACION DEL SUELO SEGUN AASHO	o/o APROXIMADO DE CEMENTO REQUERIDO	
	(POR VOL.)	(POR PESO)
A-1-a	5-7	3-5
A-1-b	7-9	5-8
A-2	7-10	5-9
A-3	8-12	5-10
A-4	8-12	7-12
A-5	8-12	8-14
A-6	10-14	9-15
A-7	10-14	9-15
Suelos orgánicos	No son utilizables.	

Se puede prescindir de la construcción de las capas de base y sub-base cuando el terreno de subrasante sea de muy alta calidad, siempre que el tráfico previsto sobre el pavimento sea liviano y de poca intensidad, lo que no ocurre en nuestro medio por la generalidad de suelos arcillosos. Esto da la posibilidad de construir un pavimento sumamente económico, en el cual será muy fácil efectuar cualquier reparación debida a fallas de la subrasante únicamente removiendo los adoquines del área afectada y colocándolos posteriormente en su mismo lugar.

Además puede construirse en esta forma un adoquinado temporal, que podrá ser removido sin pérdida de los materiales de la capa de rodadura, cuando el volumen de tráfico exija la construcción de una cimentación de mayor resistencia, utilizándose luego el mismo adoquinado.

2.3 Lecho o cama de asiento:

Es una capa de arena gruesa que se coloca sobre la capa de base, inmediatamente antes de colocar el adoquinado.

Las funciones de esta capa son:

Proporcionar un acomodamiento para los adoquines sobre la capa de base, cubriendo perfectamente las pequeñas irregularidades que ésta pudiera tener.

Ofrecer una sustentación y un apoyo uniformes en toda la superficie de cada adoquín.

Servir también para drenar el agua que pudiera infiltrarse en las juntas de los adoquines, evitando así que penetre en la base dañándola.

El espesor de la capa de arena una vez compactada, debe ser de 2 a 3 cm.

Para la construcción de este lecho deberán usarse arenas naturales, de río o de mina, con las siguientes características:

Tamaño máximo de grano de 5 mm.

No debe contener materia orgánica.

Puede usarse arenas bien graduadas, pero sin finos arcillosos (material que pasa la malla No. 200).

2.4 Capa de Rodadura de Adoquines de Concreto.

El propósito de construir una capa de rodadura o carpeta sobre la estructura del pavimento es proveer una superficie que cumpla las siguientes funciones:

- a) Ofrecer una superficie de rodadura lisa y uniforme.
- b) Resistir con un desgaste mínimo los esfuerzos producidos por las llantas de los vehículos.
- c) Proteger a las capas inferiores de los efectos del sol, las lluvias y el frío.

La capa de rodadura construida con adoquines de concreto cumple satisfactoriamente con estos requisitos. Además reúne las características positivas de los pavimentos de concreto con las ventajas de los pavimentos flexibles agregando las ventajas derivadas de la prefabricación, facilidad de colocación y remoción, etc.

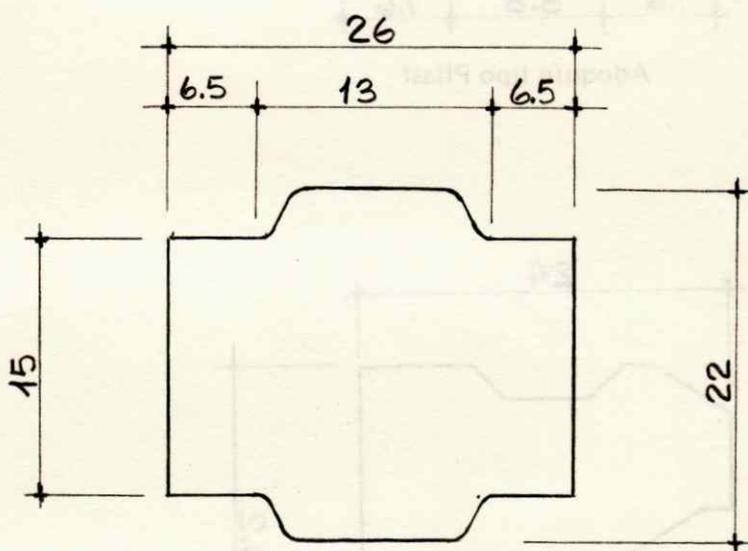
La capa de rodadura construida con adoquines de concreto consta de los siguientes elementos:

- 2.4.1 Bloques prefabricados
- 2.4.2 Elementos de confinamiento
- 2.4.3 Relleno de juntas

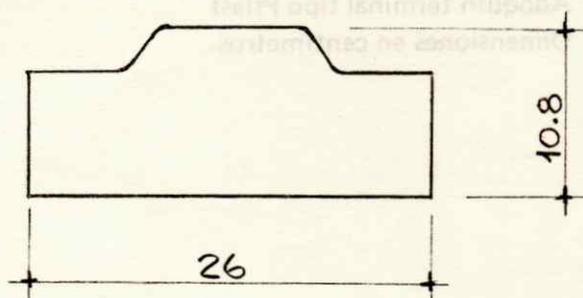
2.4.1 Bloques Prefabricados:

Los adoquines que se utilizan actualmente son bloques de concreto que se fabrican por medio de moldes; se puede hacer llenando los moldes manualmente, con pequeñas máquinas vibroprensadoras semimanuales o fabricados con grandes máquinas automáticas que producen adoquines vibro-prensados de gran calidad y con gran rendimiento.

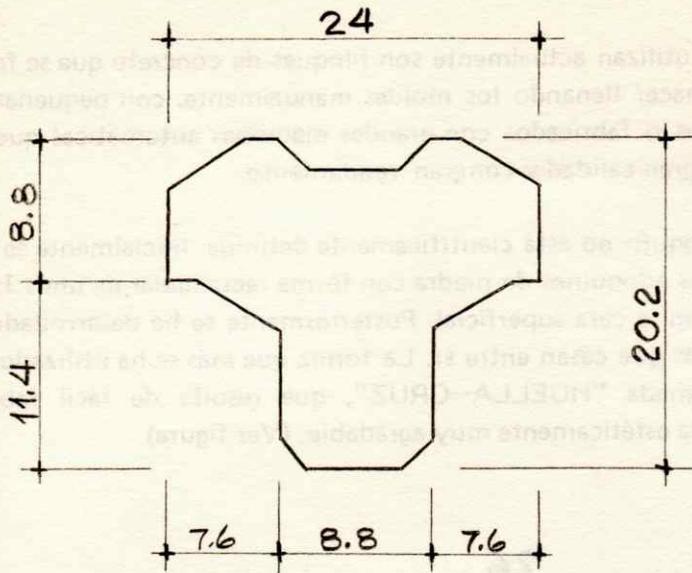
La forma ideal del adoquín no está científicamente definida. Inicialmente se fabricaron en forma similar a los antiguos adoquines de piedra con forma rectangular de unos 15 x 10 cm. o cuadrados, de 10 x 10 cm en la cara superficial. Posteriormente se ha desarrollado una gran variedad de formas geométricas que casan entre sí. La forma que más se ha utilizado en Centro América y México es la llamada "HUELLA-CRUZ", que resulta de fácil fabricación y manipulación y tiene una figura estéticamente muy agradable. (Ver figura)



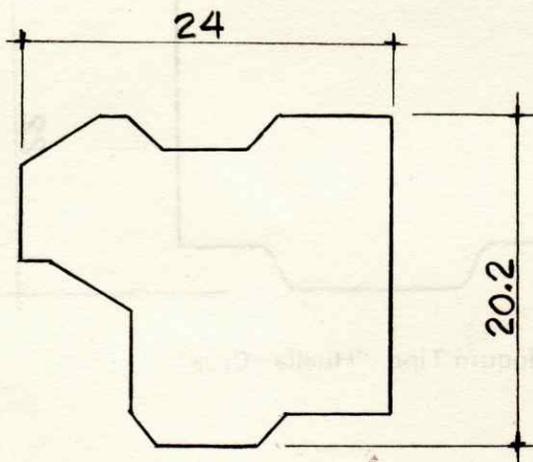
Adoquín Tipo "Huella-Cruz"



Medio adoquín tipo "Huella-Cruz" utilizado para orillas. En Centro América y México se utiliza generalmente en espesor de 10 cm.

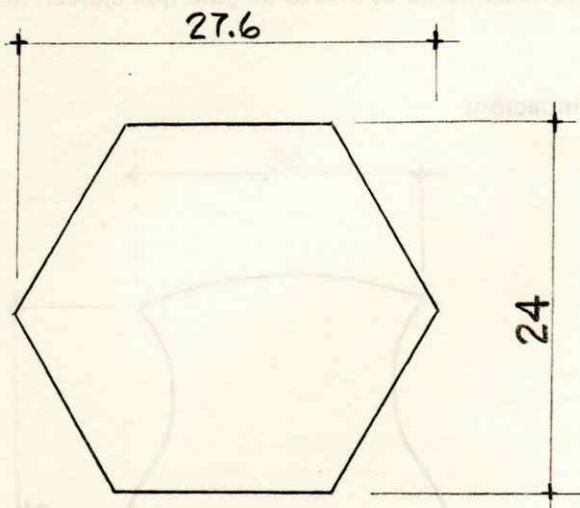


Adoquín tipo Pflast

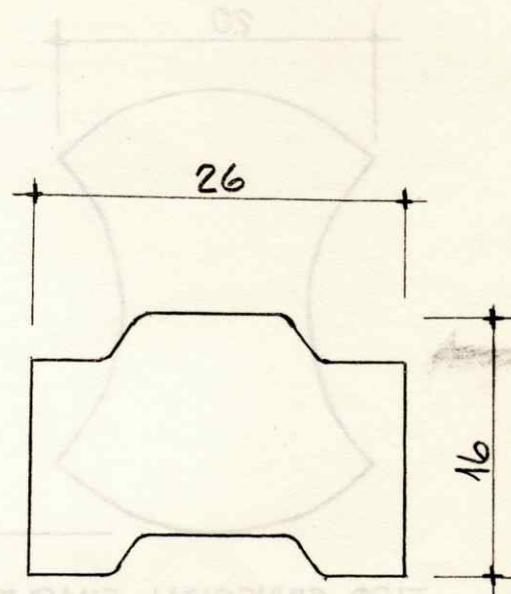


Adoquín terminal tipo Pflast
Dimensiones en centímetros.

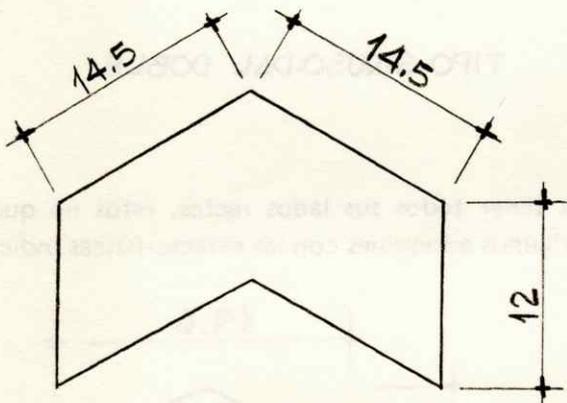
Otras formas usuales son las que se muestran a continuación:



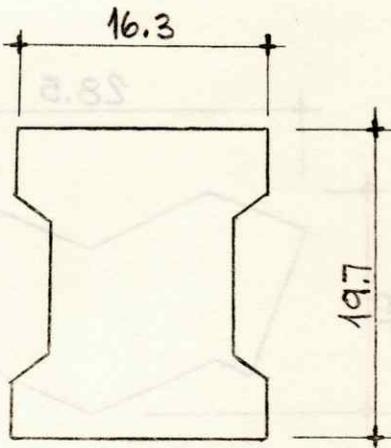
TIPO HEXAGONAL



TIPO MUESCADO SIMPLE



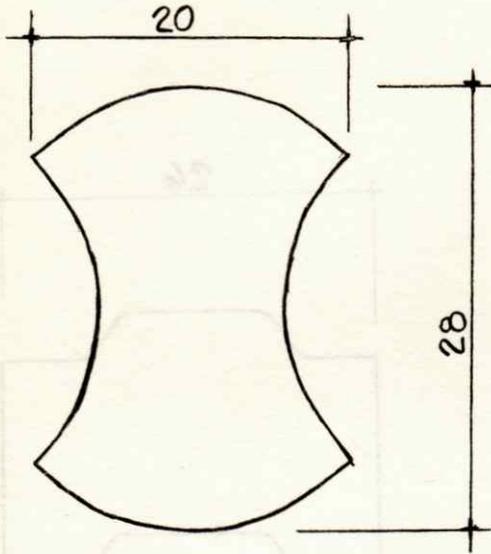
TIPO ANGULAR



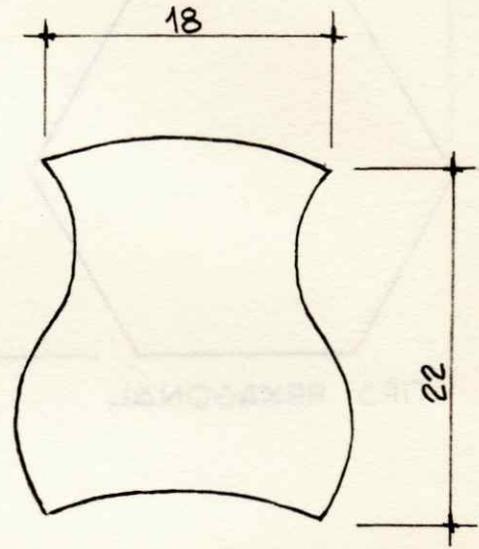
TIPO MUESCADO DOBLE

Las figuras anteriores a pesar de tener bordes sinuosos o quebrados, tienen lados rectos paralelos al eje de la pista. Algunos fabricantes han recomendado adoquines con figuras sinusoidales en todos sus lados, lo cual evita totalmente el efecto de guía que ejercen las juntas sobre las ruedas de los vehículos.

Algunas de estas formas se muestran a continuación:

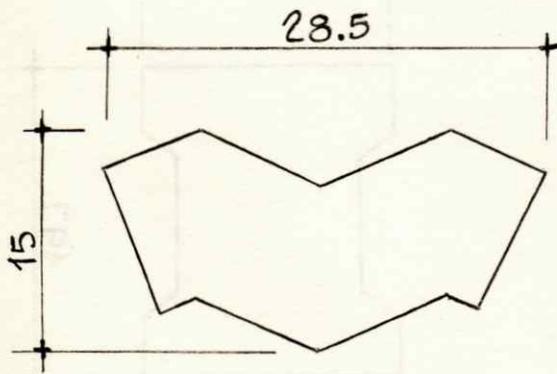


TIPO SINUSOIDAL SIMPLE

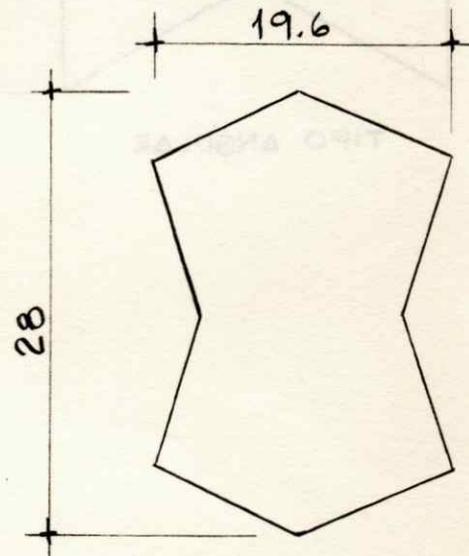


TIPO SINUSOIDAL DOBLE

Hay también figuras que, a pesar de tener todos sus lados rectos, éstos no quedan paralelos ni perpendiculares al eje de la pista. Algunos adoquines con las características indicadas se muestran a continuación:

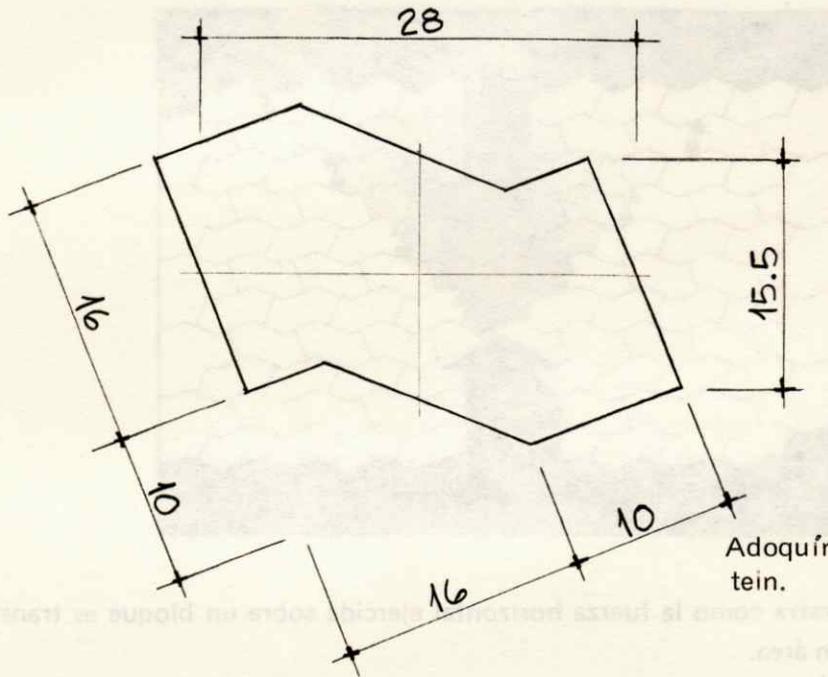


EJEMPLO A

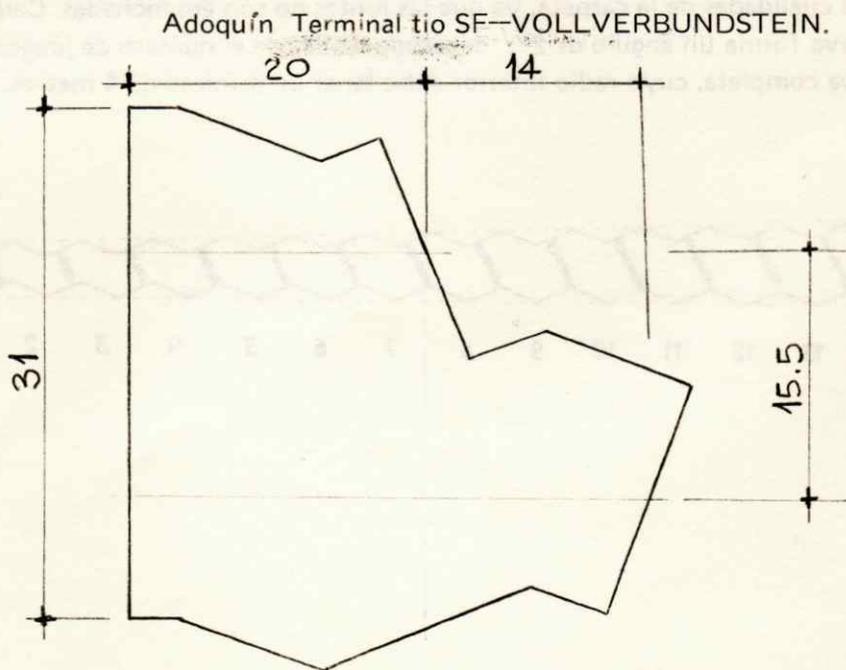


EJEMPLO B

Un adoquín con este tipo de figura es muy utilizado en el norte de Europa especialmente en Alemania Occidental, donde está patentado bajo el nombre - "SF-VOLLVERBUNDSTEIN" (adoquín de completa unión SF).

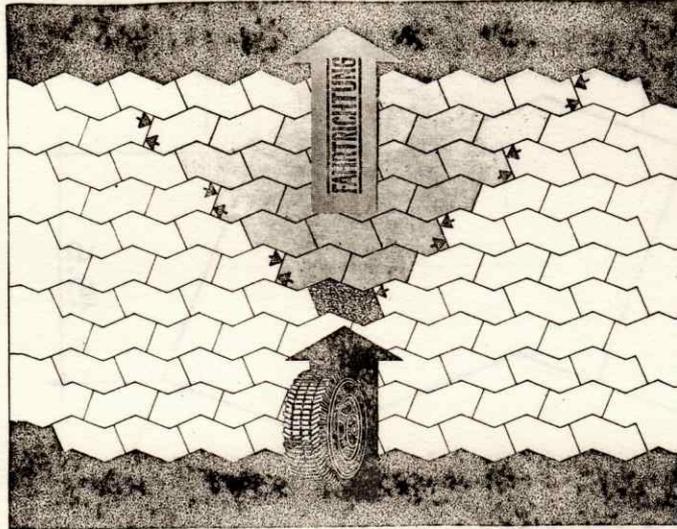


Adoquín Tipo SF-Vollverbundstein.



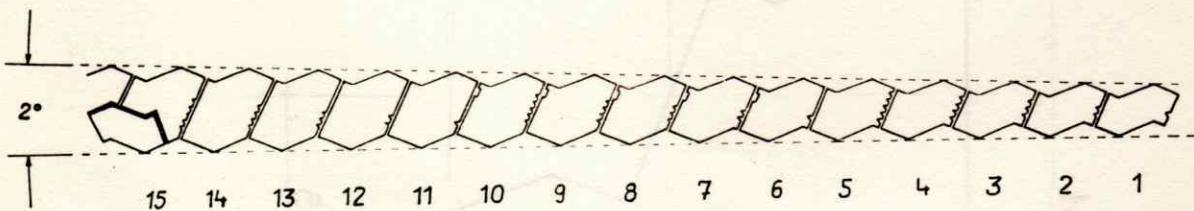
Adoquín Terminal tipo SF-VOLLVERBUNDSTEIN.

Este tipo de adoquín tiene todos sus lados oblicuos al sentido longitudinal y transversal de la pista y por su forma de S queda perfectamente acunado con los adoquines que lo rodean, por lo que sería necesario mover todo el pavimento para hacer girar o desplazar en cualquier sentido una sola pieza. Debido a esta característica, las fuerzas de torsión, de tracción o frenado y las cargas verticales y vibraciones ejercidas por el tráfico son transmitidas horizontalmente en el contacto de bloque a bloque en una gran área de la pista, aliviando considerablemente el efecto sobre la base.



La figura muestra como la fuerza horizontal ejercida sobre un bloque es transmitida y distribuida en una gran área.

Se fabrican además juegos de adoquines para curvas, lo cual hace que aún en curva se conserven todas las cualidades de la carpeta, ya que las juntas no son ensanchadas. Cada juego de adoquines para curva forma un ángulo de 2° , debiendo utilizarse el número de juegos necesario para formar la curva completa, cuyo radio interior debe tener un mínimo de 4 metros.



Adoquinado con bloques articulados.

Existen también los "bloques articulados" que son adoquines con resaltes en sus caras laterales lo cual hace que la carga vertical que incide sobre uno de ellos se transmita a los que lo rodean, reduciendo considerablemente los esfuerzos sobre la base.

Este tipo de pavimento ha sido muy usado en Argentina donde se utiliza el adoquín tipo "Blokret" de forma hexagonal; en Europa se ha utilizado también un adoquín de este tipo llamado "Trief" de forma sinusoidal.

2.4.2 Elementos de Confinamiento

En cualquier adoquinado es indispensable confinar la arena del lecho y restringir la tendencia de los bloques a desplazarse lateralmente, lo cual se puede lograr por varios medios:

- a) Bordillo fundido en el lugar
- b) Bordillo prefabricado
- c) Adoquines laterales especiales

Para acoplar las juntas sinuosas o quebradas del adoquinado a la cara lateral recta del bordillo se usan "medios adoquines" o "adoquines laterales" fabricados para el efecto; si no se cuenta con ellos, se llena el espacio con concreto de mezcla igual a la del adoquín.

2.4.3 Relleno de Juntas

Las juntas que quedan entre adoquines deben ser perfectamente llenadas con un material que impida el menor movimiento de los bloques entre sí en el sentido lateral; sin embargo, no debe ser un mortero ya que éste le quita su flexibilidad al pavimento y dificulta la remoción de parte del adoquinado cuando se hace necesario.

Las juntas deben tener una separación de 6 a 10 milímetros, llenándolas con una arena fina de río o de mina con las siguientes características:

Tamaño máximo de grano de 3 a 5 mm.

No debe contener materia orgánica.

Para ayudar a sellar las juntas contra la infiltración de agua superficial es conveniente usar una mezcla de arena fina con arcilla en proporciones entre 5:1 a 10:1 en volumen. En este caso debe mezclarse perfectamente los materiales en seco, humedeciéndola antes de colocarla. Con esta mezcla se logra un relleno de juntas que aunque es flexible es menos erosionable que la arena sola y una vez seca, se vuelve impermeable al agua que escurre sobre el pavimento.

CAPITULO 3

DISEÑO DE ESPESORES

Actualmente no se cuenta con ningún método racional específico para el diseño de espesores de pavimentos de adoquín, siendo común el uso de espesores adaptados de diseños de otros tipos de pavimentos.

La obtención de fórmulas racionales que liguen el comportamiento del adoquín con la calidad de la subrasante es dificultosa por el mecanismo estructural un tanto complicado de éste, pero llegando a la conclusión de que se trata de un pavimento de tipo flexible, puede adaptarse a su diseño un método similar a los utilizados en el diseño de pavimentos asfálticos.

Haciendo esta consideración el Instituto del Cemento Portland Argentino ha adaptado el método de diseño de pavimentos flexibles del CBR para pavimentos con bloques articulados tipo "Blokret" (ya mencionado anteriormente).

Como uno de los objetivos del presente trabajo es encontrar un método adecuado a nuestro medio para el diseño de pavimentos de adoquín, se ha efectuado un estudio de varios métodos de diseño de pavimentos flexibles, habiéndose encontrado que el Método de Mills es el que mejor se adapta a las condiciones prevalecientes en Guatemala.

3.1 Adaptación del método de Mills al diseño de espesores para pavimentos de adoquín.

El método de Mills se empezó a usar en Guatemala en 1956 por la Dirección General de Caminos, y desde entonces se ha utilizado en la mayor parte de proyectos de pavimentos flexibles que han sido construidos en la República.

Este método toma como factor principal el CBR auxiliado por el Índice de Grupo, un factor adicional que toma en cuenta el drenaje de la superficie y considera además la intensidad y peso del tráfico.

Tiene también la ventaja de haber sido creado por Mills como consultor en un proyecto de diseño y construcción de carreteras en el Brazil, bajo condiciones climáticas semejantes a las de Guatemala.

3.1.1 Tránsito

La estimación del tránsito que usará el pavimento debe considerar los conteos actuales y las actividades del área a que servirá la pista a construir, así como posibles usos futuros; sin embargo, Mills estima más importante el peso máximo de los vehículos que su número; un solo vehículo excesivamente pesado puede causar más daño a un pavimento que mil vehículos ligeros. Sin embargo, el número de aplicaciones de carga tiene un efecto y por ello la clasificación del tráfico considera tanto el número como el peso de los vehículos. Ver Tabla No. 1.

TABLA No. 1

CLASIFICACION DEL TRAFICO

TIPO DE TRAFICO	TRAFICO TOTAL DURANTE 24 HORAS			CARGA DE DISEÑO (lbs/ruedad)
	TOTAL DE VEHICULOS	CAMIONES Y AUTOBUSES	CAMIONES PESADOS *	
PESADO	3,000 mínimo	700 mínimo	150 Mín.	14,000
MEDIANO	1,000 — 3,000	250 — 700	50 — 150	12,000
LIVIANO	1,000 máximo	250 máximo	50 máximo	10,000

(*) 18,000 a 24,000 libras por eje.

3.1.2 Capa de rodadura o superficie.

La capa de rodadura está constituida por los adoquines en sí. El espesor de adoquín a usar se elegirá atendiendo al tránsito para el cual se proyecte la pista. Los espesores recomendados están en la tabla No. 2.

TABLA No. 2

ESPEORES MINIMOS RECOMENDADOS
PARA CAPA DE RODADURA DE ADOQUIN

CLASIFICACION DEL TRAFICO	ESPEOR DE ADOQUIN	RECOMENDABLE APLICARLO PARA:
PESADO	12 cm.	Autopistas de tráfico intenso. Calles de tráfico de autobuses y camiones. Aeropuertos. Patios para maquinaria pesada. Patios para vehículos militares o sobre orugas. Patios industriales y para vehículos pesados.
MEDIANO	10 cm.	Autopistas con tráfico moderado. Calles con tráfico de vehículos usuales y vehículos de carga livianos. Caminos vecinales con tráfico pesado pero escaso.

LIVIANO	8 cm	Parqueos para vehículos livianos. Estaciones de servicio y gasolineras. Calles secundarias de colonias y lotificaciones. Calles en pequeñas poblaciones. Accesos a residencias. Garages particulares. Parqueos y áreas de circulación de vehículos en centros comerciales.
OTROS	5 cm.	Aceras para peatones. Calles para bicicletas o motocicletas. Veredas en parques, zoológicos, etc.

NOTA: En Guatemala por facilidad de fabricación sólo se produce adoquín de 10 cm.

3.1.3 Lecho o cama de asiento:

El lecho de arena sobre el cual se colocan los adoquines no es objeto de diseño, ya que no tiene una función estructural; su espesor se fija de acuerdo a lo indicado en 2.3.

3.1.4 Capa de base:

Generalmente la capa de base, al igual que la capa de superficie, se conservan con un espesor uniforme a lo largo de todo el proyecto, variando solamente el espesor de la sub-base de acuerdo con la calidad del suelo de subrasante. La tabla No. 3 da los espesores de base en función del tráfico previsto, y establece ciertos valores límites en las propiedades de los materiales a usar.

Podrá reducirse el espesor de la base en un 25o/o cuando el material de la subrasante tiene un valor de soporte CBR mayor de 40 y un Índice de Grupo de 0.

TABLA No. 3

ESPESORES MINIMOS RECOMENDADOS PARA CAPA DE BASE

CLASIFICACION DE TRAFICO	GRANULOMETRIA PARA MATERIALES AASHO M-147*	ESPESOR MINIMO (cm)	CBR DE 55 GOLPES MINIMO (o/o) AASHO T-193	LIMITE LIQUIDO MAXIMO	INDICE DE PLASTICIDAD MAXIMO
PESADO	Cols. A o B	20	90	25	6
MEDIANO	Cols. A, B, C o D	18	75	25	7
LIVIANO	Cols. A, B, C, D, E o F	15	60	27	8

(*) Ver cuadro de página 19.

3.1.5 Capa de sub-base:

El espesor de sub-base es determinado tomando en cuenta el espesor indicado por el método del CBR así como el indicado por el método del Índice de Grupo, ya que la experiencia ha demostrado que un método señala propiedades malas de un suelo que no indica el otro. La fórmula empleada es la siguiente:

$$T_{sb} = \left[\frac{(2T_c + T_g)}{3} - (S + B + L) \right] \times F_d$$

Donde:

- T_{sb} = Espesor de sub-base
- T_c = Espesor total del pavimento indicado por el método del CBR (ver gráfico No. 1), espesor que depende del CBR de la sub-rasante.
- T_g = Espesor total de pavimento indicado por el método del Índice de Grupo (Ver gráfico No. 2), espesor que depende del Índice de Grupo de la sub-rasante.
- S = Espesor de capa de superficie (determinado según la tabla No. 2).
- B = Espesor de capa de base (determinado según la tabla No. 3).
- L = Espesor de capa de asiento o lecho.
- F_d = Factor de incremento de espesor por mal drenaje (determinado según la tabla No. 4).

Debe cumplirse además que:

$$\frac{2 T_c + T_g}{3} \geq T_c$$

En caso de ser menor se utilizará el valor de T_c .

La fórmula de Mills obtiene un promedio de los espesores según los dos métodos, por medio de la expresión $\frac{2 T_c + T_g}{3}$, pero le da más peso al T_c debido a que éste es obtenido con la

3

muestra compactada en forma óptima, y sujeta a las peores condiciones de humedad que se podrán dar en la realidad.

En algunos ensayos de sub-rasante se obtienen valores de CBR menores que 2. En este caso se deberán hacer nuevas determinaciones del CBR, para confirmarlo, ya que este valor corresponde a suelos muy malos. Si se obtiene nuevamente un valor tan bajo, deberán tomarse precauciones especiales para el diseño y construcción, como:

Construir un drenaje adecuado.

Darle al tramo pendientes suficientes.

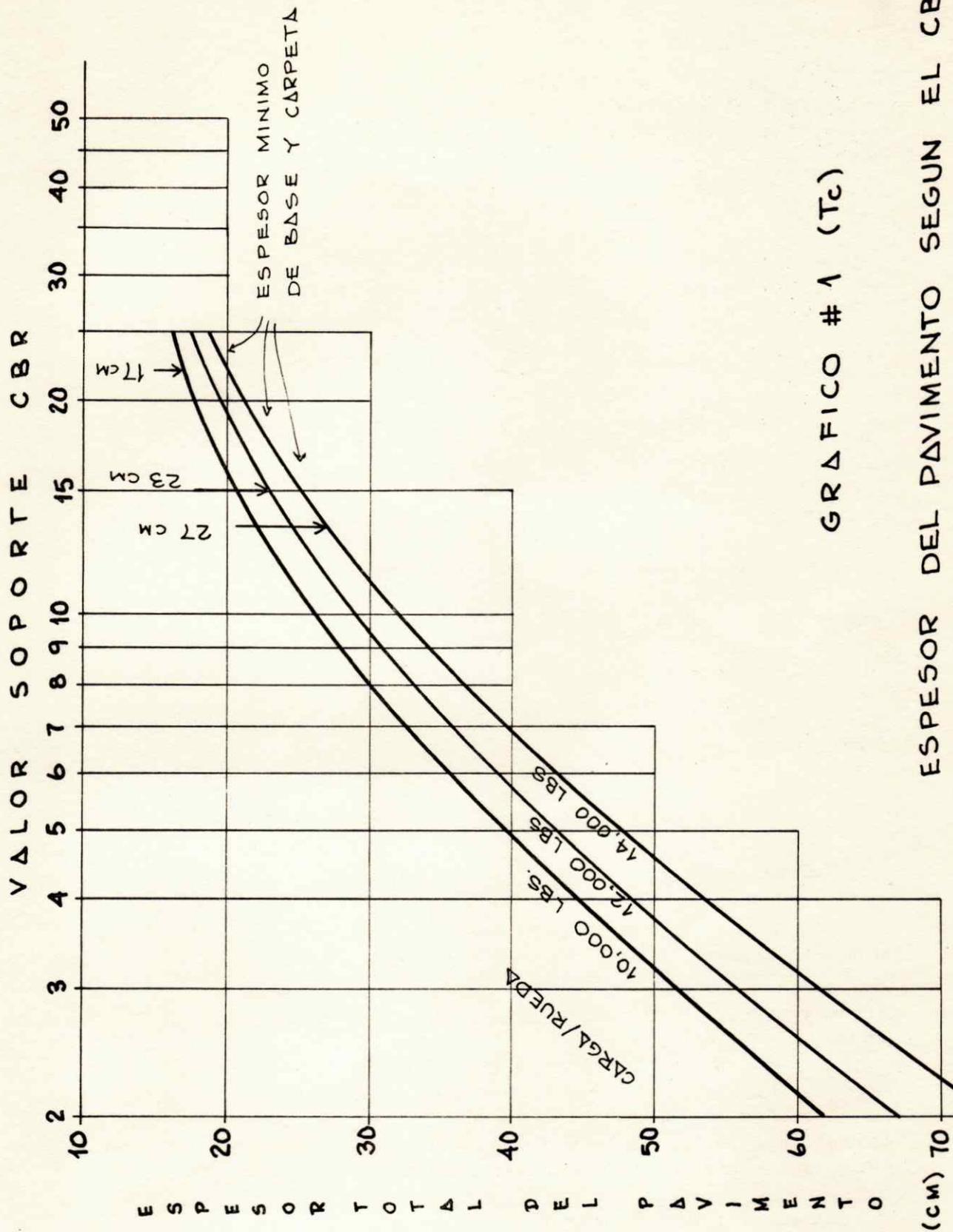
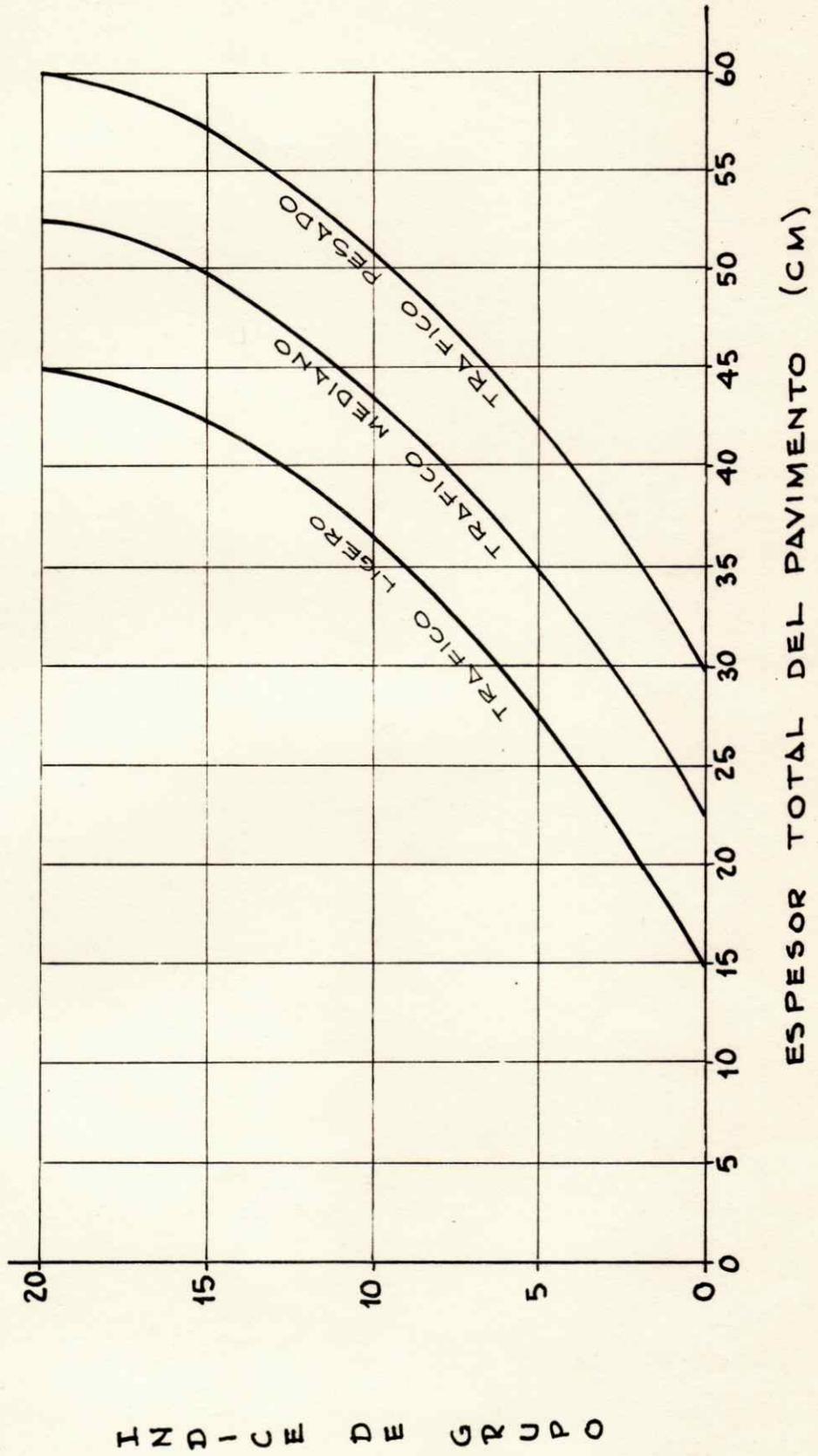


GRAFICO # 1 (T_c)

ESPESOR DEL PAVIMENTO SEGUN EL CBR

GRAFICO # 2 (T_g)



ESPESOR DEL PAVIMENTO SEGUN EL INDICE DE GRUPO

Recubrir a manera de aislamiento el suelo malo con material de buena graduación y que contenga alguna arcilla, en espesores de acuerdo a la tabla siguiente:

CBR DE LA SUBRASANTE	ESPEJOR MINIMO DE MATERIAL DE RECUBRIMIENTO
1.5	24" (61 cm)
1.0	30" (76 cm)
0.5	38" (97 cm)

3.1.6 Espesor adicional por mal drenaje:

El margen de espesor adicional para mal drenaje fue ideado para obtener un diseño balanceado a lo largo de todo el proyecto. Tiene el propósito de dar pavimentos de capacidad de carga uniforme empleando espesores extra de sub-base donde el drenaje natural es malo.

Cuando la pendiente longitudinal de la pista es fuerte, el agua fluye rápidamente, pero al disminuir la pendiente aumenta el peligro de estancamiento de agua. El problema se agudiza en pendientes planas especialmente en secciones de corte en trinchera donde es mayor la posibilidad de sobre-saturación de la sub-rasante.

El espesor adicional de sub-base aumenta la profundidad de distribución de cargas en estas áreas críticas y disminuye la intensidad de las presiones transmitidas a la sub-rasante.

El factor no se aplica cuando la sub-rasante está compuesta de material de alta estabilidad y buenas propiedad de permeabilidad, o sea cuando el suelo de la sub-rasante tiene un CBR igual o mayor que 20 y un Indice de Grupo igual o menor que 3.

En la tabla No. 4 se da el factor para espesor adicional por mal drenaje.

TABLA No. 4

ESPEJORES MINIMOS RECOMENDADOS PARA SUB-BASE Y FACTOR DE INCREMENTO DEBIDO A MAL DRENAJE

SECCION TRANSVERSAL	PENDIENTE LONGITUDINAL (o/o)	ESPEJOR MINIMO (cm.)	FACTOR DE INCREMENTO
CORTE	0	20	1.25
RELLENO	0	15	1.20
CORTE	1	10	1.15
RELLENO	1	5	1.10
CORTE	2	0	1.05
RELLENO	2	0	1.00

Para pendientes longitudinales intermedias se deberá interpolar.

Para pendientes mayores del 20/o no se requiere ningún incremento.

3.1.7 Sustitución de materiales:

El objeto de construir los pavimentos en varias capas de materiales de distintas calidades es lograr una estructura que resista las cargas previstas, pero que a su vez tenga el menor costo posible. Haciendo esta consideración, el método de diseño fija los espesores mínimos de las diferentes capas, pero pueden tenerse casos en que los bancos para material de sub-base se encuentren muy distantes y se hace necesario un acarreo muy largo que sube enormemente su costo, encontrándose, en cambio buen material para base disponible a una corta distancia; puede suceder también que se tengan bancos cercanos para ambos materiales, y que el costo de excavación y transporte del material para base sea menor o igual que el de sub-base. En estas circunstancias es obvio que resulta conveniente sustituir la capa de sub-base por material de base; puesto que este es un material de mejor calidad será necesario un espesor menor al obtenido en el cálculo.

Para hacer la reducción de los espesores, el Instituto de Asfalto recomienda una relación de 1.35 a 1, es decir que el espesor de sub-base se puede reducir en un 35o/o al usar material de base granular.

3.1.8 Otras consideraciones:

El Método de Mills ofrece un procedimiento sencillo para que los Ingenieros de campo puedan aplicar los resultados de las pruebas hechas en laboratorios de campo a sus diseños, pero se deberán efectuar las pruebas y el análisis de resultados con mucho cuidado para evitar resultados erróneos.

En todos los pavimentos, pero especialmente en los de adoquín, es primordial la construcción de buenos drenajes, ya que cualquier acumulación de humedad que penetre a la estructura originará fallas en ella.

Las pendientes longitudinales y transversales deberán ajustarse a las mínimas especificadas, para facilitar un escurrimiento rápido del agua.

El llenado de las juntas es el aspecto más importante en la colocación del adoquín y debe hacerse con los materiales y métodos indicados en las especificaciones para evitar que el agua penetre en ellas o que las deslave. Debe ponerse atención especial a las juntas en los bordillos, cunetas y en el acoplamiento de éstas a los tragantes.

3.2 Ejemplos de diseño de espesores empleando el Método de Mills.

3.2.1 Ejemplo No. 1

En el año 1974 se efectuó la ampliación del Silo Central del Instituto de Comercialización Agrícola (INDECA), incluyendo la pavimentación de las calles internas y áreas de maniobra para la carga y descarga de granos.

Para efectuar el diseño del pavimento se consultó al Ingeniero Roberto Lou del Centro de Investigaciones de Ingeniería, quien efectuó el diseño como se resume a continuación:

a) Características del terreno:

El área por pavimentar se encuentra en lo que antiguamente fuera una explotación de arena para construcción, habiendo condiciones de inestabilidad potencial en el terreno debidas a la existencia de una intrincada red de zanjas y galerías subterráneas que alcanzan profundidades en algunos casos de más de tres metros, y que se encuentran rellenas con suelos misceláneos en estado suelto; la estabilización de las áreas afectadas implicaría un movimiento de tierras considerable, por lo cual se recomienda el empleo de un pavimento flexible a base de adoquines de concreto, el cual será capaz de amoldarse a pequeños asentamientos en la sub-base sin deterioro de la capa de recubrimiento y será fácil de reparar en caso de asentamientos excesivos.

b) Determinación del valor soporte de la subrasante.

Las características del suelo de subrasante fueron determinadas por examen directo en el campo y por análisis de laboratorio. Las pruebas realizadas fueron:

Identificación con base en examen visual y manual.

Límites de Atterberg, según AASHO T-89 y T-90.

Compactación, según AASHO T-180.

Valor Soporte de California (CBR) según AASHO T-193.

Los resultados de las pruebas de acuerdo al informe 352-S del Laboratorio de Suelos del Centro de Investigaciones de Ingeniería fueron:

MUESTRA	MATERIAL	LL	IP	DENSIDAD MAXIMA	HUMEDAD OPTIMA	CBR 0.1"	CBR 0.2"	CLASIFIC' AASHO M-145	IG'
AS-1	arcilla café	60	27	92	29	5	4	A-7-5	19
AS-2	arcilla café	55	28	101	21	3	3	A-7-6	19
AS-3	arcilla café	61	30	92	26	4	3	A-7-5	20

Estos resultados indican que la sub-rasante está constituida por suelos arcillosos de alta plasticidad, cuyas propiedades críticas son:

Valor Soporte CBR	3
Indice de Grupo	20

c) Diseño de espesores:

Análisis del tráfico:

El tráfico en el área a pavimentar será de camiones pesados (con un mínimo de 18,000 lb/eje).

La intensidad del tráfico será de más de 150 camiones por día.

De la tabla No. 1 se obtiene:

Tráfico: Pesado
Carga de diseño: 14,000 lbs/rueda

Capa de rodadura:

El espesor de adoquín a usar como capa de rodadura será según la tabla No. 2 así:

Tráfico pesado espesor = 12 cm.

Capa de Asiento:

Espesor aproximado: 3 cm.

Material: Arena de río sin excesiva cantidad de finos.

Capa de Base:

De la Tabla No. 3 se obtiene:

Espesor: 20 cm.

Material: Suelo granular, preferentemente con grava, bien graduado y que compacte fácilmente.

Valor soporte CBR mínimo: 90o/o

Límite líquido máximo: 25

Índice de plasticidad máximo: 6

Capa de Sub-base:

Espesor: Aplicando la fórmula:

$$T_{sb} = \left[\frac{2T_c + T_g - (S+B+L)}{3} \right] \times F_d$$

Donde tendremos:

Tc	=	62 cm. (de gráfico No.1)
Tg	=	60 cm. (de gráfico No.2)
S	=	12 cm.
B	=	20 cm.
Fd	=	1.00 (de tabla No.4) porque la pendiente de la sección es mayor del 20/o.

$$T_{sb} = \left[\frac{(2 \times 62 + 60)}{3} - (12 + 20 + 3) \right] \times 1.00$$

Pero debe cumplirse: $\frac{(2T_c + T_g)}{3} \geq T_c$

$$\frac{(2 \times 62 + 60)}{3} = 61.33 < 62 \therefore \text{adoptar } 62$$

Tsb	=	62—35
Tsb	=	27 cm.

Material: Debe ser un suelo granular bien graduado que compacte fácilmente.
 Valor Soporte CBR mínimo: 30
 Límite líquido máximo: 40
 Índice de plasticidad máximo: 9

El diseño del pavimento quedará así:

Capa de sub-base	27 cm.
Capa de base	20 cm.
Capa de asiento	3 cm.
Adoquinado	12 cm.
Espesor total	62 cm.

Posteriormente se estableció que el material de base se encontraba disponible al mismo costo que el de sub-base, por lo cual resultaba más conveniente utilizar sólo material de base haciendo la reducción necesaria.

Se tiene entonces:

$$\begin{aligned} \text{Espesor sustituido} &= \frac{T_{sb}}{1.35} = \frac{27}{1.35} \\ \text{Espesor sustituido} &= 20 \text{ cm.} \end{aligned}$$

El diseño definitivo será entonces:

Capa de base	=	40 cm. (aplicada en 2 capas)
Capa de asiento	=	3 cm.
Adoquinado	=	<u>12 cm.</u>
Espesor total	=	55 cm.

3.2.2 Ejemplo No.2

En nuestro medio se presentan con frecuencia casos como el que se describe a continuación.

a) Características del terreno:

El área por pavimentar es una calle donde ya han sido colocadas las tuberías de agua potable y de drenajes, y se han construido los tragantes y bordillos, pero se estima que será necesario hacer la canalización telefónica después de unos cinco años. Esta circunstancia hace recomendable el uso de un pavimento de adoquines de concreto, en el que se podrá efectuar el zanjeado cuando sea necesario, quedando después la superficie del pavimento sin ninguna alteración.

b) Determinación del Valor Soporte de la Subrasante:

Los resultados de los ensayos de suelos efectuados en el terreno son:

MUESTRA	MATERIAL	LL	IP	CBR 0.1"	CBR 0.2"	CLASIFIC: AASHO	IG
1	Arena limosa	18	9	18	16	A-2-4	3
2	Arena limosa	17	8	16	17	A-2-4	3
3	Arena arcillosa	35	25	17	15	A-2-6	4
4	Arena arcillosa	35	23	16	15	A-2-6	4

Los resultados nos indican que la subrasante está constituida por arena con pocos finos arcillosos, siendo las propiedades críticas para el diseño:

Valor soporte CBR	15
Indice de grupo	4

c) Diseño de espesores:

Análisis del tráfico:

Por la ubicación de la calle a pavimentar se puede prever un tráfico no mayor de 800 vehículos al día con un máximo de 25 camiones pesados; de la tabla No.1, se tiene:

Tipo de tráfico	—	liviano
Carga de diseño	—	10,000 lbs./rueda

Capa de rodadura:

De la tabla No.2, el espesor recomendable es:

$$\text{Tráfico liviano} = 8 \text{ cm.}$$

Capa de asiento:

Espesor aproximado = 3 cm.

Material = arena de río sin exceso de finos.

Capa de base: espesor mínimo = 15 cm.

Material: Suelo granular bien graduado:
 Valor soporte CBR mínimo = 60
 Límite líquido máximo = 27
 Índice de plasticidad máximo = 8

Capa de sub-base:

Espesor: Aplicando la fórmula se tiene:

$$T_{sb} = \left[\frac{2 T_c + T_g}{3} - (S + B + L) \right] \times F_d$$

Donde:

T_c = 20 cm. (de gráfico No.1) espesor mínimo

T_g = 25 cm. (de gráfico No.2)

S = 8 cm.

B = 15 cm.

F_d = 1.00 (de tabla No.4)

$$T_{sb} = \left[\frac{(2 \times 20 + 25)}{3} - (8 + 15 + 3) \right] \times 1.00$$

Donde debe cumplirse: $\frac{2 T_c + T_g}{3} \geq T_c$

$$\frac{2 \times 20 + 25}{3} = 21.67 \approx 22 > 20$$

Entonces:

$$T_{sb} = 22 - 26 = -4$$

$$\therefore T_{sb} = 0$$

O sea que no será necesario construir capa de sub-base, quedando el pavimento así:

Capa de base	=	15 cm.
Capa de asiento	=	3 cm.
Adoquinado	=	8 cm.
Espesor total	=	<u>26 cm.</u>

3.3 Otros métodos de diseño:

El único método de diseño de espesores para pavimentos de adoquín que he encontrado en la bibliografía disponible es el que propone el Instituto del Cemento Portland Argentino (mencionado en la página 31) en la publicación "Pavimento con Bloques Articulados de Hormigón, Método Aproximado de Diseño(*)". El autor expone el dimensionamiento del pavimento empleando un método de diseño para pavimentos flexibles y además expone la conveniencia de utilizar bases de suelo-cemento; a continuación se resume lo expuesto en la publicación.

Prueba de carga:

Se estudió el comportamiento de pavimentos de adoquín articulado tipo Blokret construidos anteriormente, determinando las deformaciones en sub-bases constituidas por suelo natural y por suelo-cemento.

Espesores de los pavimentos ensayados:

1) Pavimento consistente en:

- Capa de sub-base de suelo-cemento de 10 cm. de espesor.
- Capa de arena silícea común de 4 cm. de espesor (lecho).
- Capa de rodadura de adoquines Blokret de 10 cm. de espesor.

El suelo de la subrasante es un material arcilloso tipo A6 que una vez compactado alcanzó densidades en dos muestras de 96.45 y 97.70 libras/pie³. Para una densidad del 95o/o del Proctor Standard se obtuvo un valor soporte CBR del 5o/o.

El suelo-cemento se obtuvo mezclando el suelo de la subrasante con arena (70o/o y 30o/o en peso respectivamente) y agregándole posteriormente un 10o/o de cemento en volumen. Las densidades en dos muestras del suelo-cemento compactado fueron 101.13 y 101.45 libras/pie³. Para efectuar el ensayo se aplicó la carga sobre una placa metálica rígida, circular de 30 cm. de diámetro, apoyada sobre uno de los bloques hexagonales tipo Blokret; por las dimensiones del bloque, la circunferencia de la placa resultaba tangente a los lados de aquel.

Se midieron las deformaciones (hundimientos) en el bloque cargado y en todos los adyacentes por medio de flexímetros.

(*) Publicación del Instituto del Cemento Portland Argentino, por el Ing. Juan F. García Balado, Director Técnico del mismo, del año 1964.

La figura 4 muestra el gráfico carga-deformación para el bloque cargado, para los tres bloques adyacentes a los que se transfiere directamente la carga y para los otros tres bloques a los que la carga llega indirectamente por intermedio de los tres anteriores.

2) Pavimento consistente en:

Capa de arena (lecho) de 4 cm. de espesor sobre la subrasante.

Capa de rodadura de adoquines Blokret de 10 cm. de espesor.

Las características de la subrasante son las mismas que en el caso anterior, es decir que se trata del mismo pavimento al cual se le ha suprimido la capa de suelo-cemento.

Las cargas y deformaciones medidas en forma similar dieron los resultados representados en la figura 5.

En la figura 6 se han dibujado las curvas de carga y deformación correspondientes al bloque directamente cargado para los dos casos.

Las conclusiones obtenidas de los tres gráficos son:

Puede observarse que, medido por las deformaciones, se produce una transferencia de cargas del bloque cargado hacia los adyacentes. Se evidencia que la relación de deformación entre los bloques laterales y el central para una misma carga es mayor en el caso de la sub-base de suelo-cemento derivado del hecho de que es mayor la zona de distribución de la carga.

Es indudable el papel que desempeña, a los efectos de la distribución de las cargas, la sub-base de suelo-cemento, interpuesta entre la subrasante y los bloques. La capacidad de carga del pavimento mejora considerablemente, lo cual se manifiesta claramente en el gráfico comparativo carga-deformación.

Cálculo de los espesores.

Para establecer un criterio de cálculo de espesores, según el método Argentino, se han establecido las siguientes suposiciones:

1. La relación de espesores de bases construidas con material estabilizado con otro tipo de suelo o de bases granulares con espesores de bases de suelo-cemento se deduce del método de Hveem, según la fórmula siguiente:

$$\frac{\text{Espesor granular}}{\text{Espesor suelo-cemento}} = 5 \sqrt{\frac{C}{100}} = K_1$$

Donde "C" es el valor de la cohesión del suelo-cemento, determinado mediante el cohesiómetro. El factor "C" puede tener valores comprendidos entre 750 y 1500 según la calidad del suelo-cemento, consecuentemente, "K₁" variará entre 1.5 y 1.72. En el caso de este ensayo el valor de K₁ fue de 1.5.

2. De una manera similar se ha establecido que existe una relación "K₂" entre los espesores del suelo granular y de la capa de bloques. Este valor se determinó usando los resultados de los ensayos realizados, obteniendo que el valor de K₂ es 2.5. Significa este resultado que la capa de bloques de 10 cm. de espesor equivale en capacidad de carga a un espesor de 25 cm. de estabilizado granular. Este valor de K₂ es susceptible de ser modificado por nuevos ensayos o para otros tipos de bloques.

3. Se ha considerado que un método ampliamente utilizado, relativamente sencillo y del cual se posee amplia experiencia es el de California (CBR). La ecuación que representa las curvas de este método es el siguiente:

$$e = \frac{100 + 150 \sqrt{P}}{I + 5}$$

En la cual:

P = carga por rueda en toneladas métricas
I = valor soporte CBR

Esta ecuación proporciona el espesor total sobre una subrasante cuyo CBR sea el determinado por el ensayo.

Ejemplo:

Supongamos determinar el diseño de un pavimento urbano, para el cual la carga de rueda predominante se estime en 4000 Kg. y que la subrasante de mala calidad sea de un valor I=3o/o. Se supone que K₂ = 2.5 y que la capa de sub-base es suelo-cemento de K₁ = 1.5.

El espesor total tratándose de un material granular sería:

$$e = \frac{100 + 150 \sqrt{4}}{3 + 5} = 50 \text{ cm}$$

El pavimento estará constituido por:

Bloques (espesor virtual) = 10 x 2.5 =	25 cm.
Capa de arena	4 cm.
	<hr/> 29 cm.

El espesor de la capa de suelo-cemento será = $\frac{50 - 29}{1.5} = 14 \text{ cm.}$

El pavimento según esto, estaría constituido por:

Bloques	=	10 cms.
Capa de arena	=	4 cm.
Suelo-cemento	=	<u>14 cm.</u>
Espesor total	=	28 cm.

GRAFICO CARGA DEFORMACION

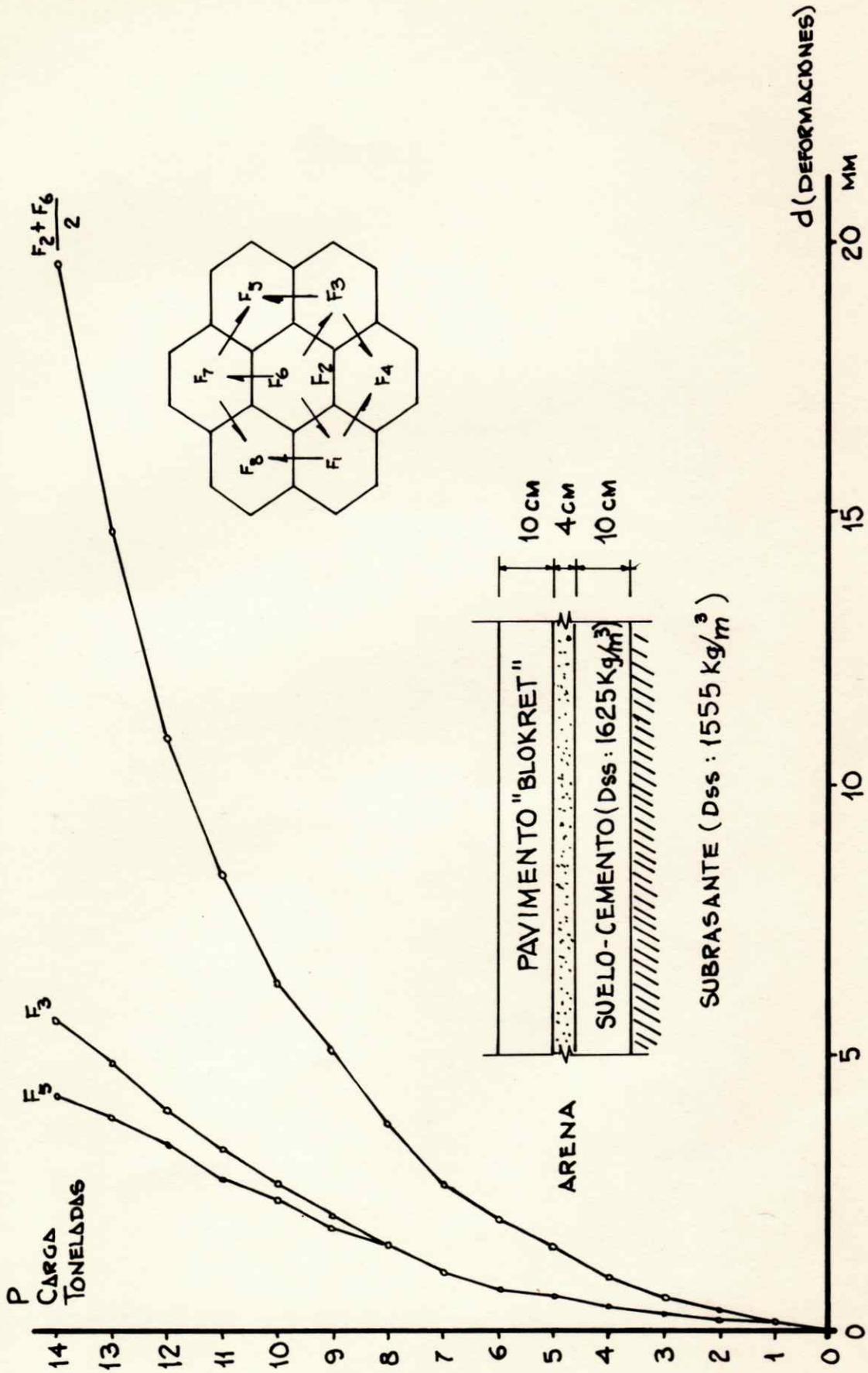


FIGURA 4

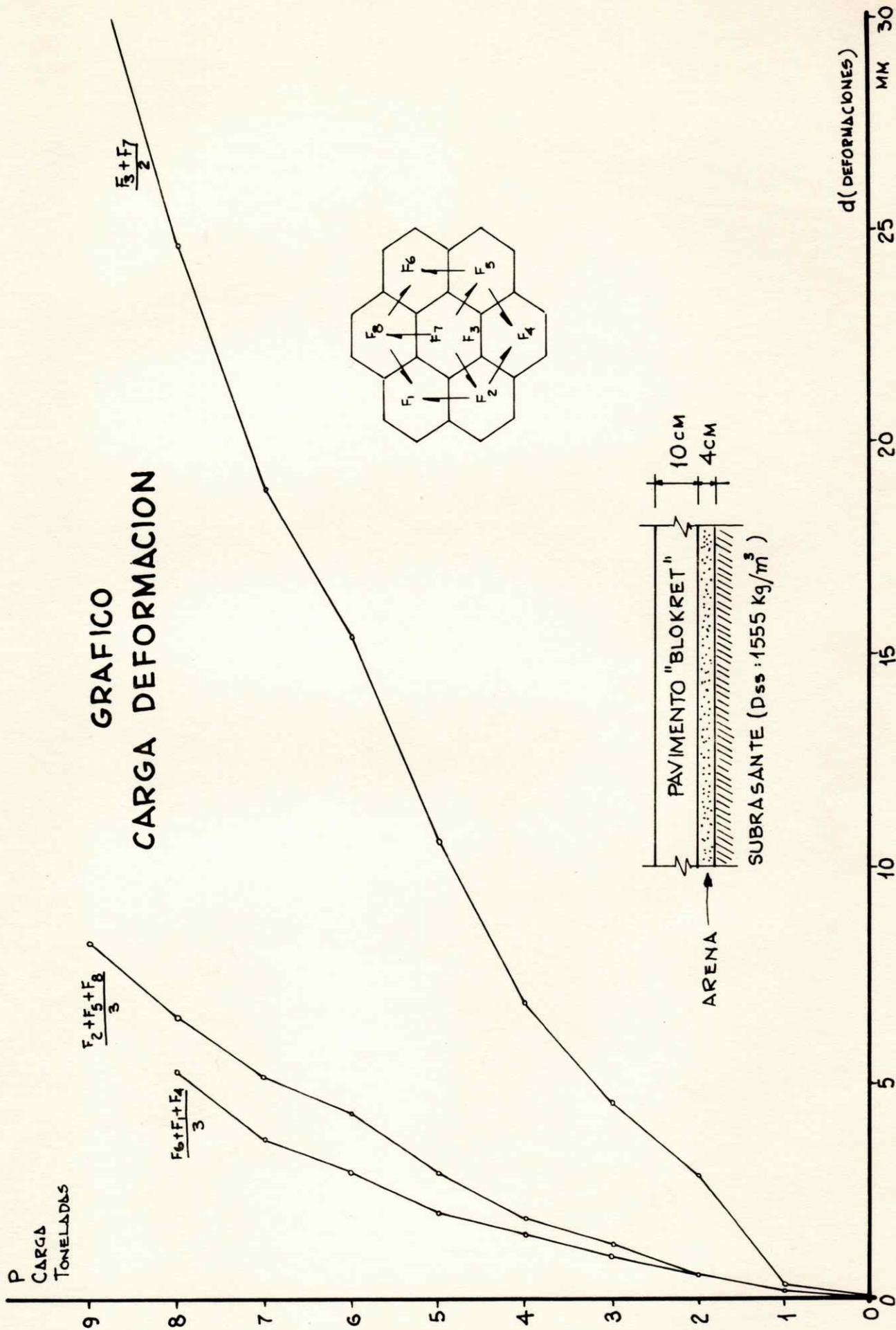


FIGURA 5

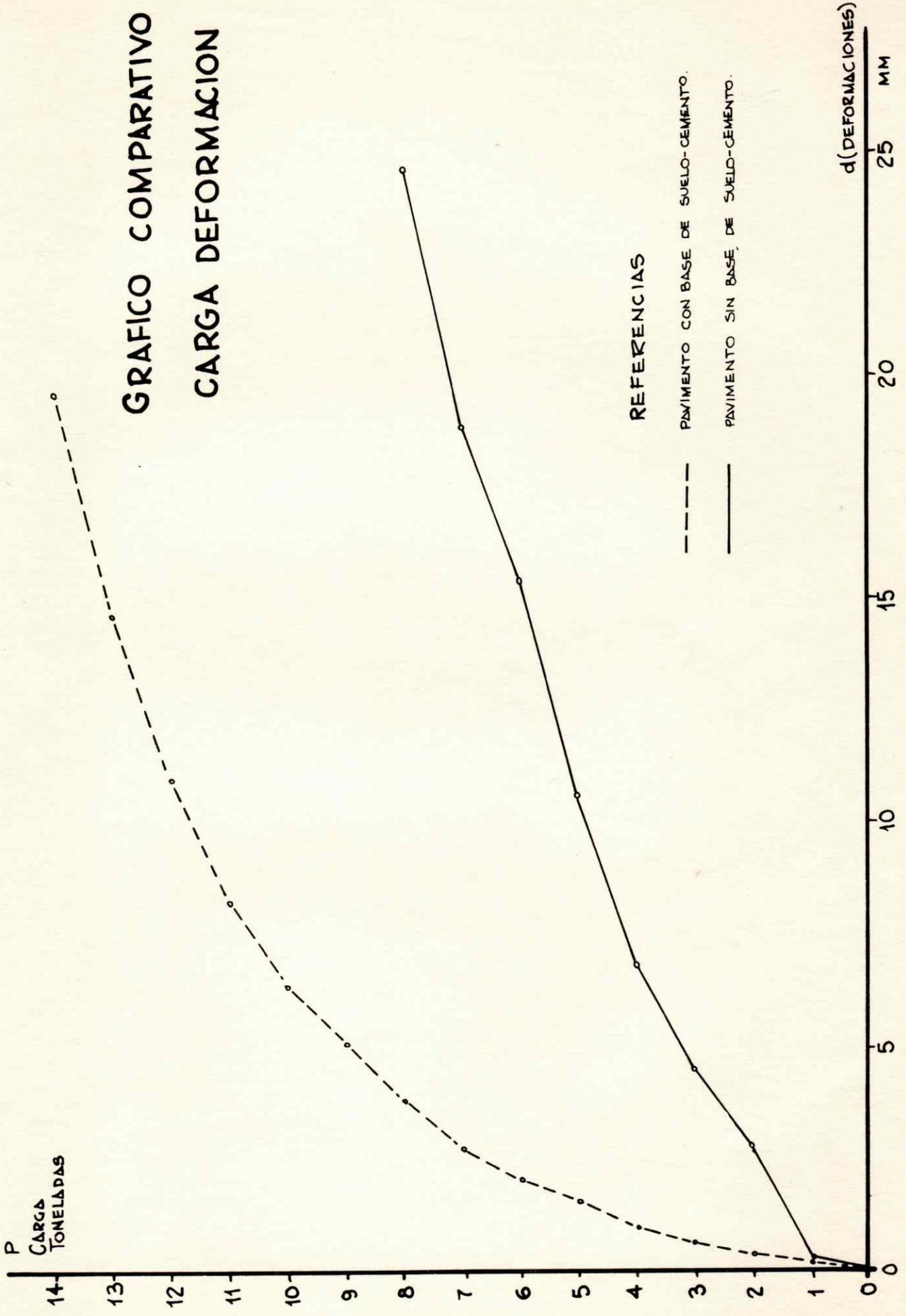


FIGURA 6

CAPITULO 4

PROCESO DE CONSTRUCCION

4.1 Tratamiento de la sub-rasante

Esta primera etapa en la construcción del pavimento comprende la preparación y acondicionamiento del terreno natural después de haber efectuado el movimiento de tierras para ajustarlo a los alineamientos, perfiles y secciones indicadas en los planos, así como para lograr los requisitos de compactación indicados.

Una vez efectuado el trazo topográfico y la nivelación, se procederá a realizar el trabajo en las siguientes etapas:

4.1.1 Remoción de materiales inadecuados de la sub-rasante:

Se debe remover la tierra vegetal, raíces, basura, materiales arenosos, bolsas de lodo, etc., que no permiten una compactación adecuada, substituyéndolos por material de la misma calidad de la sub-rasante o por un material de préstamo.

El equipo usado en la remoción de material puede ser tractores con cuchilla y escarificador y mototraíllas, o retroexcavadoras o cargadores frontales y camiones, ayudados por motoniveladoras.

4.1.2 Carga y transporte de material sobrante:

El material excedente sobre el nivel definitivo de la sub-rasante se recoge y se transporta a los botaderos pre-establecidos.

El equipo a usar puede ser:

- a) Cargadores frontales y camiones de volteo y motoniveladoras.
- b) Mototraíllas autocargables o traíllas con tractor empujador y motoniveladoras.

4.1.3 Conformación y afinamiento:

Para lograr conformar y afinar la superficie con exactitud a los niveles indicados en los planos se utilizan motoniveladoras, que además sirven para mezclar y homogenizar el material en el espesor requerido de sub-rasante.

4.1.4 Adición de agua:

Cuando sea necesario, se deberá incorporar agua al material de la sub-rasante, para que éste llegue a su contenido de humedad óptima de compactación. Esta operación se efectúa con

camiones tanque o con manguera en áreas pequeñas. Después de humedecida, la sub-rasante debe ser homogenizada y conformada por medio de motoniveladoras o de preferencia con rastras.

4.1.4 Compactación:

El material de sub-rasante conformado y con la humedad adecuada debe ser compactado inmediatamente; debido al tipo de suelo que se encuentra generalmente en la sub-rasante, se usa de preferencia rodillos de pata de cabra o rodillos vibratorios de pata de cabra para la compactación inicial, combinándolo posteriormente con compactadoras de llanta de hule o rodo vibratorio liso. La compactación debe hacerse de las orillas hacia el centro, traslapando cada pasada la mitad del ancho del rodillo o compactadora sobre la pasada anterior.

La compactación en partes cercanas a pozos de visita, cajas de registro, bordillos y lugares no accesibles al equipo pesado de compactación, deberá efectuarse con compactadoras neumáticas, planchas vibratorias o con compactadores manuales o mazos.

4.1.6 Verificación del grado de compactación:

Si se efectúan ensayos de compactación, éstos deberán hacerse a cada 50 metros como máximo, siguiendo el alineamiento de las calles en la siguiente forma: borde derecho, centro, borde izquierdo, centro, y así sucesivamente.

Este procedimiento es similar en las distintas capas del pavimento.

En caso de no contar con equipo de laboratorio para chequeo de densidades deberá comprobarse la calidad de la compactación por medio de la prueba de deflexión que consiste en el paso lento de una máquina o camión pesados midiendo a ojo el hundimiento del suelo al paso de las ruedas; un asentamiento de más de 1/2" indica mala compactación por lo que deberá removerse la capa y repetir el proceso.

4.1.7 Protección de la sub-rasante:

La sub-rasante terminada deberá ser cubierta por una capa de material de sub-base para evitar que sea erosionada o que pierda sus cualidades.

4.2 Trabajo de las capas de sub-base y base:

El procedimiento de construcción de las capas de sub-base y base es muy similar para ambas, siendo la diferencia principal la calidad del material de cada capa, lo cual se trató en el capítulo 2.

El procedimiento de trabajo es como sigue:

4.2.1 Obtención del material:

Debe contarse con bancos de préstamo de materiales seleccionados que cumplan con las especificaciones dadas para material de sub-base y de base.

El banco se debe limpiar de vegetación, tierra vegetal, terrones de arcilla, etc., para evitar que posteriormente se contamine el material seleccionado. El material se corta del banco con tractores de oruga, cargadores de oruga, retroexcavadoras, o máquinas similares.

4.2.2 Carga, transporte y colocación del material:

El material es cargado por cualquier tipo de cargador y por lo general se transporta en camiones de volteo.

El material transportado se deposita sobre la sub-rasante formando un camellón longitudinal al eje de la calle o de la media calle, teniendo el volumen por unidad de longitud necesario para obtener el espesor compactado en todo el ancho de la vía, o en media vía, según las exigencias del tránsito en uso de la carretera o calle. También se puede descargar el material en un equipo especial de esparcido tipo cajón.

4.2.3 Tendido, conformación y afinamiento:

Estas operaciones se realizan por medio de motoniveladoras que deben esparcir el material sin segregación de tamaños en un espesor uniforme de modo que después de compactado tenga el espesor preestablecido, o por medio del cajón esparcidor remolcado por un tractor de oruga; este cajón deja el espesor necesario de sub-base o base mas la altura correspondiente al porcentaje de reducción de volumen por compactación.

4.2.4 Adición de agua:

Si es necesario, deberá incorporarse agua al material para que alcance su humedad óptima de compactación. El contenido de humedad debe ser uniforme en todo el ancho y espesor de la capa suelta a compactar; esto se puede lograr por medio de rastras o corriendo el material en camellones por medio de motoniveladoras dentro del ancho de la pista que se trabaja. Cuando el material ya tiene una humedad de compactación homogénea, se procede a conformarlo. En el caso de cajones esparcidores el material de base es humedecido en el banco de carga.

4.2.5 Compactación:

Inmediatamente después de humedecer, homogenizar y conformar los materiales de sub-base o base, deberá compactarse la capa, preferentemente con rodos vibratorios lisos si se trata de bases granulares o con aplanadoras de rodillos lisos, combinándolos con aplanadoras de llanta de hule.

La compactación se hace de las orillas al centro, paralelamente a la línea central de la pista, de modo que se traslape uniformemente cada pasada anterior por la mitad del ancho de la máquina, continuando hasta obtener la compactación deseada. Usualmente se hace la compactación en capas no mayores de 15 cms., aunque algunas veces se usan capas de hasta 20 centímetros.

Debe ejecutarse la compactación y el afinamiento alternativamente, para obtener una superficie lisa y uniformemente compactada. La compactación final deberá hacerse con compactadoras de llantas de hule o con cualquier otro tipo de compactadora que no provoque laminaciones ni disgregación del material en la superficie.

Si la superficie de la capa se seca durante la compactación, debe agregársele la cantidad de agua necesaria para mantener en lo posible el contenido de humedad de compactación.

La compactación en lugares cercanos a pozos de visita, cajas de registro, bordillos o en lugares inaccesibles al equipo pesado de compactación, se hará con compactadores neumáticos, planchas vibratorias o como alternativa a mano, asegurándose de obtener la compactación requerida.

4.3 Trabajo del lecho de asiento del adoquín:

La capa de arena que constituye el lecho de asiento puede trabajarse en dos formas distintas, que se detallan a continuación.

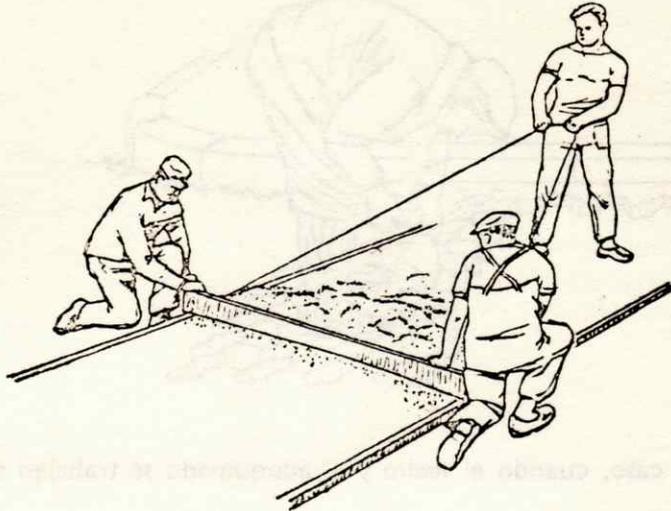
Colocación del lecho y del adoquinado en dos operaciones separadas.

Colocación del lecho y del adoquinado en una sola operación.

4.3.1 Colocación del lecho y del adoquinado en dos operaciones separadas:

Este método consiste en tender, nivelar y dar una ligera compactación a la capa de arena, quedando la superficie del lecho conformada a una cota ligeramente arriba de los niveles definitivos por lo que se tiene que evitar transitar por encima del lecho hasta que sea colocado el adoquinado. Teniendo el lecho conformado de esta manera, se procede a colocar el adoquín sin necesidad de ningún instrumento ni herramienta.

El lecho se puede conformar por medio de motoniveladoras y equipo liviano de compactación o a mano, colocando dos reglas guías a los lados de la pista, sobre la base terminada; el espacio entre las reglas se llena con la arena del lecho, que se rasa después haciendo correr otra regla sobre las guías, como se muestra en la figura.



Conformación manual del lecho de asiento.

4.3.2 Colocación del lecho y del adoquinado en una sola operación:

En este caso, el operario acomoda y nivela la arena del lecho para cada adoquín que va a colocar, efectuando una sola operación, pero el hecho de tener que nivelar cada adoquín por separado la hace más lenta que el otro método.

4.4 Colocación de adoquines:

Esta operación puede dividirse en dos etapas:

La colocación de los adoquines.

El llenado de las juntas.

4.4.1 La colocación de los adoquines:

La forma de colocar los adoquines dependerá de cómo se haya trabajado el lecho de asiento, como se indicó anteriormente.

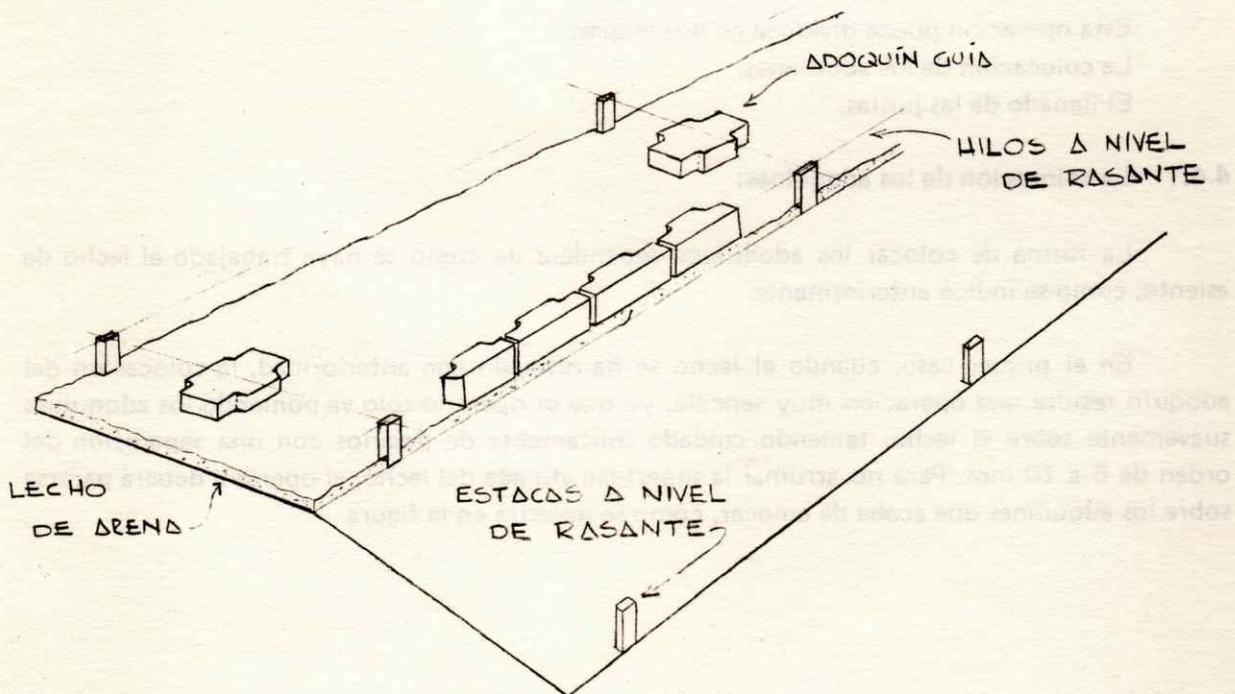
En el primer caso, cuando el lecho se ha nivelado con anterioridad, la colocación del adoquín resulta una operación muy sencilla, ya que el operario sólo va poniendo los adoquines suavemente sobre el lecho, teniendo cuidado únicamente de dejarlos con una separación del orden de 6 a 10 mm. Para no arruinar la superficie afinada del lecho, el operario deberá pararse sobre los adoquines que acaba de colocar, como se muestra en la figura.



En el segundo caso, cuando el lecho y el adoquinado se trabajan simultáneamente, se procederá así:

Al terminar la construcción de la capa de base, se colocan trompos o estacas con el nivel de la rasante final al centro y a los lados de la calle, al menos a cada 10 metros.

Luego se riega la arena del lecho en una capa de 5 a 10 cms. de espesor; simultáneamente los adquineros colocan hilos de estaca a estaca; por medio del hilo se logran poner filas de adoquines guías, colocando luego los adoquines entre las guías usando también hilo o simplemente con una regla. Ver figuras.



Para la colocación de los adoquines el operario necesita únicamente una cuchara de albañil para acomodar la arena del lecho y un martillo con cabeza de hule para nivelar el adoquín dándole golpes leves.



4.4.2 Llenado de las juntas:

Al colocar los adoquines, los operarios deben dejar una separación entre bloques de unos 6 a 10 mm. que luego es llenada con la mezcla de arena fina y arcilla; esta operación se puede hacer depositando la mezcla sobre el adoquinado y barriéndola hasta llenar las juntas; el acomodo de las partículas de la mezcla se facilita con la adición de agua. Una vez llenas las juntas, se debe pasar una compactadora de rodo liso estática o liviana que, además de nivelar perfectamente los adoquines, hace bajar la mezcla, debiéndose llenar las juntas después de cada pasada, hasta tener el adoquinado perfectamente estable y firme.

Es importante que antes de efectuar la compactación, se haya confinado perfectamente el área adoquinado (por medio de bordillos o de adoquines laterales), impidiéndose así cualquier desplazamiento lateral de los bloques y del lecho.

También deben hacerse todos los remates necesarios para el acople en pozos de visita, tragantes, cajas, etc.

CAPITULO 5

ESPECIFICACIONES

5.1 Diseño Geométrico del pavimento:

Un pavimento se define geoméricamente por el trazo de su eje en planta, y por los perfiles longitudinal y transversal. Estas características se fijan de forma que puedan satisfacer ciertas condiciones impuestas por la naturaleza y la importancia del tráfico previsto.

Esencialmente estas condiciones corresponden a dos casos distintos:

Cuando la circulación es poco intensa, los vehículos circulan sin estorbarse entre ellos. Los problemas a resolver son los correspondientes a los vehículos aislados; el vehículo rápido debe poder circular a gran velocidad, el vehículo largo inscribirse en las curvas, el vehículo pesado subir las cuestas.

Cuando la circulación es intensa, los movimientos de los vehículos dependen unos de otros. Los problemas son los relativos a la intensidad de una corriente densa de vehículos; las características de la calzada deben ser determinadas de manera que la intensidad máxima prevista pueda circular en condiciones aceptables.

Los problemas de circulación del vehículo aislado condicionan especialmente el trazado en planta y el perfil longitudinal; los correspondientes a la intensidad, el perfil transversal y esencialmente el ancho de la calzada.

El ritmo de vida actual ha hecho fundamental la condición de permitir a los vehículos rápidos circular a mayor velocidad. Es esencial que en un tramo la velocidad que pueda alcanzarse sin peligro sea en toda su longitud la misma (salvo puntos excepcionales, donde sea inevitable una reducción de velocidad en los que se pone los avisos necesarios). La pista se construye para esta velocidad máxima llamada "velocidad de base", la cual se elige en función de la importancia de los puntos a enlazar y de la topografía de la región.

La noción de homogeneidad se aplica también a otras características, tales como la facilidad de circulación de los vehículos grandes o pesados (curvas o pendientes), la intensidad, etc.

Sin embargo, aquí trataremos solamente las características geométricas que pueden afectar estructuralmente al pavimento de adoquín. En los pavimentos adoquinados es de suma importancia el desagüe rápido de las aguas de lluvia, ya que la superficie de ellos no es del todo impermeable. Para lograr evacuar las aguas en forma satisfactoria y rápida los pavimentos se construyen con pendientes longitudinales y transversales mayores que las mínimas aceptables para pavimentos de concreto corriente.

5.1.1 Pendientes transversales

La pendiente transversal que también se llama "bombeo", debido a que originalmente se construía en forma de bóveda aumentando la pendiente del centro a los extremos, favorece el resbalamiento del agua con un espesor de lámina sensiblemente uniforme; esta forma produce también una mejor distribución de esfuerzos; sin embargo, para los vehículos modernos, especialmente para los de rueda doble, esta forma resulta inconveniente ya que la carga sobre las ruedas es desigual. Debido a esto se construyen actualmente las calles y carreteras con vertientes planas, lo que además facilita el perfilado por medio de motoniveladoras en la sub-rasante, sub-base y base.

Lo más usual es construir dos vertientes simétricas planas, las cuales se unen en el centro.

En las autopistas de dos calzadas se usa generalmente una sola pendiente transversal en cada pista, siendo entonces necesaria la cuneta sólo a un lado de la pista.

5.1.2 Pendientes longitudinales:

El perfil longitudinal de una carretera debe ser una línea continua; los cambios bruscos de pendientes son peligrosos y no son confortables para los vehículos que circulan a gran velocidad.

Deberá diseñarse el perfil longitudinal considerando el comportamiento de los vehículos en las pendientes, el confort en la conducción y la evacuación de las aguas del pavimento.

El estancamiento de aguas es muy perjudicial para la conservación de la calzada por lo cual es necesario evitar pendientes pequeñas para que las aguas logren escurrirse por la orilla de la calzada hasta los tragantes o desagües.

La pendiente longitudinal mínima para pavimentos de adoquín es del 2o/o. La pendiente transversal depende de la pendiente longitudinal y deberá ser así:

Pendiente longitudinal	Pendiente transversal mínima
2 al 4o/o	3o/o
Mayor de 4o/o	2o/o

En cuanto a pendiente máxima no hay ninguna limitación, salvo la que se origina por la capacidad para escalar de los vehículos que usarán la pista.

Cuando el área a pavimentar sea una plaza, parqueos, patios, bodegas, etc., debe tenerse especial cuidado en proveer un drenaje adecuado por medio de pendientes en uno o en dos sentidos si el terreno lo permite. Para el drenaje de áreas muy amplias es ideal el uso de rejillas intermedias con lo cual se evita cualquier riesgo de estancamiento de aguas.

5.1.3 Colocación del adoquín en curvas:

Para salvar el problema de las curvas hay varias alternativas en los pavimentos adoquinados.

5.1.3.1 Cuando son curvas de gran radio es factible la colocación radial de los adoquines, agrandando las juntas en la parte exterior del arco y reduciéndolas en la parte interior; debe sin embargo, darse un espesor mínimo de junta de 3 mm. y un máximo de 12 mm.

El radio mínimo en que se pueda efectuar esta operación dependerá del ancho de la pista.

5.1.3.2 Otra alternativa es el uso de juegos de adoquines para curvas (descritos en el capítulo 2), pero la producción de estos sólo resulta rentable en grandes escalas, ya que cada juego consta de 15 bloques de distintos tamaños.

5.1.3.3 También es posible no alterar el sentido de colocación de los adoquines a lo largo de la curva, lo cual resulta práctico en curvas a 90° , ya que al salir de la curva quedarán los adoquines nuevamente paralelos a la dirección de la pista, pero con su lado corto en el sentido longitudinal de la pista. En curvas a otro ángulo no es conveniente hacerlo así, ya que quedarán los adoquines oblicuos a la pista lo cual dificulta la colocación, en cuyo caso existe la posibilidad de colocar los adoquines en cuñas; se deben hacer los cortes necesarios en los adoquines para acoplar una cuña a otra, llenando con concreto de mezcla igual a la del adoquín, los espacios que queden entre dos cuñas.

5.2 Normas de calidad y métodos de ensayo para la fabricación del adoquín:

Debido a la creciente importancia que tomó en muchos países, pronto fue necesario crear normas para el control de calidad del adoquín.

Así por ejemplo, en Alemania Occidental se publicaron en 1958 las normas provisionales, que fueron sujetas posteriormente a varias revisiones y en septiembre de 1964 se publicó la hoja de "Normas para los adoquines de concreto DIN 18501" vigentes actualmente en Alemania Occidental. En Guatemala, aún cuando no se ha iniciado la producción en grandes plantas del adoquín, el Instituto de Fomento Municipal (INFOM), ha creado las normas para su fabricación, que se lleva a cabo en varios municipios en forma manual, bajo la supervisión de dicho Instituto.

Existen también en México especificaciones para el adoquín, elaboradas por el Departamento del Distrito Federal de la Dirección General de Obras Públicas, publicado bajo el título de: "Normas Técnicas para la Construcción del Adocreto".

En base a las normas mencionadas anteriormente, he elaborado las especificaciones que podrían regir en Guatemala para la producción de adoquín vibro-prensado; éstas son:

NORMAS PROPUESTAS PARA LA FABRICACION DE ADOQUIN EN GUATEMALA.

5.2.1 Dimensiones y forma:

Las caras superior e inferior del adoquín deben ser planas, la cara expuesta puede tener aristas vivas o biseladas. Ambas superficies deben ser rugosas o ásperas. Los bloques deben estar totalmente libres de grietas.

Su forma en planta debe ser tal que permita engrape entre un adoquín y otro al colocar alternados los adoquines de dos filas adyacentes.

Las dimensiones y forma de los adoquines podrán ser cualquiera de las enunciadas en el capítulo 2 (2.4 Adoquinado), o cualquier otra que sea apropiada y que se apruebe por la supervisión.

5.2.2 Area de fabricación de los adoquines:

El área de fabricación de los adoquines deberá ser suficientemente amplia, de acuerdo al volumen de producción y de almacenamiento previsto para la planta.

El lugar de fundición y fraguado inicial no deberá estar expuesto al sol directo y el lugar de mezclado protegido de la caída de basuras, hojas, etc.

5.2.3 Materiales y fabricación:

Los adoquines se deben fabricar de concreto de mezclas secas, en relaciones de 1:4 a 1:5 (cemento a agregados).

Los adoquines se fabrican por lo general de una sola capa. Si se fabrican en dos capas superpuestas, el concreto de la capa inferior y el de la capa superior deben quedar unidos de manera inseparable. Es usual usar dos capas cuando se fabrican adoquines coloreados colocando una primera capa de concreto sin colorante y luego una capa de aproximadamente 2 cms. de concreto con colorante, lo cual aunque hace más lenta la fundición, resulta más económico que colorear todo el bloque. La factibilidad de fundir en esta forma depende de la forma en que se alimenta la prensa.

El concreto de la superficie de rodadura puede ser claro, oscuro o de color, si se desea mejorar el coeficiente de fricción debe usarse una granulometría conveniente para los agregados.

Los materiales para el concreto deberán ser los siguientes:

a) Cemento:

Debe proceder de bolsas selladas en buen estado, que no se hayan humedecido. Dichas bolsas deben ser almacenadas en lugares ventilados y secos, no deberán guardarse durante más de un mes.

b) Agregado grueso:

Estará constituido por grava de río perfectamente lavada o pedrín de piedra triturada. El fabricante podrá usar el tamaño de agregado que él crea conveniente para obtener la

resistencia al desgaste y compresión especificada. El más recomendable es el agregado que pase un tamiz de 13 mm (1/2") y quede retenido en un tamiz de 9 mm (3/8").

c) Agregado fino:

Deberá ser arena de río de origen basáltico o cuarzo perfectamente lavada y libre de arcilla, tierra vegetal, sales y basuras. No debe contener partículas mayores de 6 mm y no debe pasar el tamiz No.30 más de 1/4 parte de la muestra. No debe utilizarse arena de mar o estero a menos que la supervisión apruebe el método de lavado.

d) Agua:

El agua a utilizar debe estar libre de aceites, grasas, residuos de materia orgánica, sales y sulfatos. En general debe utilizarse agua potable para la mezcla. Nunca debe utilizarse agua de mar o estancada.

La fabricación del adoquín debe llevarse a cabo inmediatamente después de haber hecho la mezcla. Después de fundido el adoquín deberá apilarse bajo techo en pilas no mayores de diez adoquines, al menos durante los primeros siete días. Se debe curar el adoquín humedeciendo constantemente los apilamientos durante todo el período de fraguado del concreto, durante el cual, si no se tiene bajo techo deberá cubrirse con bolsas de cemento o sacos de brin manteniéndolos húmedos.

Se puede usar aditivos para acelerar el endurecimiento del concreto; en este caso se reducirá el período de curado. Si se usa concreto normal, no deberá colocarse el adoquín antes de transcurrir 28 días de la fundición.

5.2.4 Características de calidad:

a) Resistencia a la compresión:

Los valores promedio de la resistencia a la compresión deben ser como mínimo los siguientes:

Espesor del adoquín: (centímetros)	Resistencia a la compresión mínima	
	(Kg./cm. ²)	(lb./pulg. ²)
5 u 8	245	3500
10 ó 12	350	5000

Los valores individuales no deben ser más bajos del 15o/o de los valores mínimos de la tabla.

b) Desgaste por abrasión:

En la prueba de desgaste, los adoquines no deben presentar una pérdida de volumen mayor de 15 cms.³/50 cms.².

El valor medio de pérdida de espesor en ningún caso debe ser mayor de 3 mm.

c) Dimensiones:

La tolerancia para las dimensiones será de un máximo de 3 mm en más o en menos.

5.2.5 Ensayos:

a) Toma de muestras y número de las mismas.

Para la prueba de compresión deberá tomarse un adoquín de muestra por cada 3,000 unidades; si la entrega es menor de 15,000 unidades, deberá tomarse al menos 5 muestras para la prueba de compresión y 3 para la prueba de desgaste. Las muestras deben ser representativas del lote de donde se toman. La toma de las muestras se podrá hacer en el momento de la fundición, en el lote almacenado en planta o en el lote entregado, según convenga al fabricante y al comprador.

b) Resistencia a la compresión:

La prueba se efectuará de preferencia en adoquines completos, colocados entre placas de presión idénticas. Las probetas deben ensayarse de tal forma que la presión sea perpendicular a la superficie de desgaste del adoquín.

Las caras de presión deben ser paralelas y se deben esmerilar o nivelar con una superficie de mortero de cemento.

La probeta se mantiene en condiciones de curado normal húmedo pero debe colocarse al aire por lo menos 12 horas antes del ensayo.

c) Desgaste por abrasión:

Las probetas deben secarse antes de la prueba hasta alcanzar peso constante y deben pre-esmerilarse.

CAPITULO 6

COSTOS Y RENDIMIENTO

6.1 Costos de fabricación

La fabricación del adoquín presenta dos grandes alternativas: la fabricación manual y la fabricación por medio de máquinas adoquineras.

La fabricación con las modernas máquinas vibro-prensoras da un adoquín no sólo de mucho mayor calidad, sino que mucho más económico para la producción en gran escala.

Sin embargo, la fabricación manual resulta conveniente cuando se necesita solamente unos miles de metros cuadrados de adoquín, y que no haya ninguna fábrica lo suficientemente cerca del lugar a pavimentar, ya que el costo del transporte haría antieconómico el adoquín hecho en planta.

Analizaremos, pues, el costo de los dos tipos de adoquín y el rendimiento en la fabricación de cada uno.

6.1.1 Costo de fabricación manual:

Para la fabricación manual se puede trabajar con grupos de un albañil y cuatro peones; un grupo así en un turno de ocho horas puede alcanzar una producción diaria de 400 adoquines o sea 20 metros cuadrados con el siguiente costo:

1 albañil por trato, a Q.0.02/adoquín x 400 adoquines/día = Q 8.00/día

4 peones por día, a Q.2.00/día cada uno = Q 8.00/día

Q16.00/día

Más incremento de prestaciones laborales = 50o/o

Q 8.00/día

Costo diario Q. 24.00

Costo por metro cuadrado: $\frac{Q.24.00/día}{20 m^2/día} = Q.1.20/m^2$

Este costo considera que el concreto se mezcla a mano, pero si hay posibilidad de usar una mezcladora de eje horizontal, se podría obtener un costo aún menor (alrededor de Q.1.00/m²).

6.1.2 Costo de fabricación con máquina:

Existe gran variedad de máquinas adoquineras; las mayores en tamaño son las adoquineras móviles (ponedoras) con capacidad de producir alrededor de 500 adoquines por hora.

Hay también adoquineras estacionarias alimentadas por una mezcladora de eje vertical, cuyos costos inicial y de operación resultarían cómodos en nuestro medio.

Una adoquineria estacionaria que fabrica cuatro adoquines por tanda y tiene una capacidad de producción de 600 adoquines por hora tendría una producción diaria de 4,800 adoquines o sea 240 metros cuadrados; la mezcladora de eje vertical puede instalarse directamente arriba de la adoquineria, descargando en una tolva que alimenta los moldes de la adoquineria.

Este equipo necesitaría del siguiente personal:

1	operador de la mezcladora	Q.3.50/día	Q. 3.50/día
2	ayudantes para la mezcladora	Q.2.00/día	Q. 4.00/día
1	operador de la adoquineria	Q.4.00/día	Q. 4.00/día
3	ayudantes para la adoquineria	Q.2.00/día	<u>Q. 6.00/día</u>
			Q.17.50/día
	Más incremento por prestaciones laborales 50o/o		<u>Q. 8.75/día</u>
	Costo diario		Q.26.25

$$\text{Costo por metro cuadrado: } \frac{Q.26.25/\text{día}}{240 \text{ m}^2/\text{día}} = Q.0.11/\text{m}^2$$

Si consideramos además el costo inicial y los costos de operación y mantenimiento de la máquina, llegaremos a un costo de fabricación de unos Q.0.30/m².

Como puede verse, la producción con máquina resulta mucho más económica cuando el punto de colocación esté cercano a la planta.

6.1.3 Costo de materiales:

Aún cuando actualmente los costos de los materiales para concreto están en constante fluctuación, integraremos el costo con los precios que se tienen a la fecha en la ciudad de Guatemala.

Para un concreto con mezcla 1:2:3 (cemento-arena-grava) en volumen, son necesarias las siguientes cantidades de material para adoquín de 10 cm. de espesor:

0.9 de saco de cemento/m² de adoquín
 0.06 m³ de arena/m² de adoquín
 0.10 m³ de grava/m² de adoquín.

Los costos de estos materiales entregados en la planta o lugar de fabricación son:

Cemento: 0.9 de saco x Q2.00/saco	=	Q. 1.80
Arena de río: $0.06 \text{ m}^3 \times \text{Q.4.00/m}^3$	=	Q. 0.24
Grava: $0.10 \text{ m}^3 \times \text{Q.6.00/m}^3$	=	Q. 0.60
		<hr/> Q.2.64/m ²

A esto podemos agregarle un gasto de Q.0.02/m² de agua para la mezcla, para el fraguado, para limpieza de moldes y de la mezcladora, etc.

Luego el costo de los materiales será: Q.2.66/m²

En resumen, tenemos los siguientes costos de fabricación:

	Costo de mano de obra	costo de materiales	costo total	rendi- miento
Fabricación manual	Q.1.20/m ²	Q.2.66/m ²	Q.3.86/m ²	20 m ² /día
Fabricación con máquina	Q.0.30/m ²	Q.2.66/m ²	Q.2.96/m ²	240 m ² /día

6.2 Costos de transporte y colocación:

6.2.1 Costo de transporte:

El costo de transporte será muy variable, dependiendo de la distancia de la planta al punto de colocación; por ejemplo, un camión de 12 toneladas puede llevar 50 metros cuadrados de adoquín de 10 cms. de espesor y cobra Q.40.00 por un viaje de unos 20 kms. o dentro de la ciudad, o sea Q.0.80 por metro cuadrado.

6.2.2 Costo de colocación:

La colocación del adoquín comprende el tendido del lecho de arena, la colocación de los adoquines y el relleno de juntas. Para efectuar estas operaciones se puede formar una o mas cuadrillas integradas por un maestro o caporal, albañiles o colocadores de adoquín trabajando por trato o a destajo, que con un poco de experiencia serán capaces de colocar un promedio de 15 metros cuadrados al día, y peones o ayudantes encargados de esparcir la arena y acercarle material a los colocadores, pudiendo asignarse uno por cada dos albañiles.

El costo estaría integrado así:

Trazo y colocación de las estacas de nivel: Q.0.10/m²

Colocación del adoquín:

1 caporal	Q.6.00/día	=	Q. 6.00
20 colocadores colocando 15 m ² /día cada uno, a	Q.0.50/m ²	=	Q.150.00
10 peones a	Q.2.00/día	=	Q. 20.00
			<hr/>
			Q.176.00/día
Más incremento por prestaciones laborales 50o/o			<hr/>
			Q. 88.00/día
			<hr/>
Costo diario:			Q.264.00

Una cuadrilla así tendría un rendimiento diario de 300 m².

El costo por metro cuadrado es $\frac{Q.264.00/día}{300 m^2/día} = Q.0.88/m^2$

Además se necesita para la colocación arena de río para el lecho y mezcla de arena y arcilla para llenar las juntas:

Arena de río para el lecho	0.04 m ³ /m ²
Arena de río y arcilla para las juntas	<hr/>
	0.04 m ³ /m ²
	<hr/>
	0.08 m ³ /m ²

Costo de la arena y arcilla = $0.08 m^3/m^2 \times Q.4.00/m^3 = Q.0.32/m^2$ Debemos considerar además el costo del equipo de compactación usado en el llenado de juntas que podemos estimar en $Q.0.05/m^2$. Costo de colocación = $Q.0.10 + 0.88 + 0.32 + 0.05 = Q.1.35/m^2$. Tendremos entonces un costo de transporte desde la planta y colocación en la obra de $Q.2.15/m^2$.

6.3 Costos de mantenimiento y reparación:

6.3.1 Costo de mantenimiento:

El mantenimiento en un pavimento de adoquín consistirá solamente en el relleado de juntas cada 2 a 3 años, dependiendo de la intensidad del tráfico.

Esta operación puede ser hecha por cuadrillas de peones con un caporal, que pueden trabajar sin producir mayores molestias a la circulación de vehículos.

6.3.2 Costo de reparación:

La reparación de depresiones o baches en el adoquinado puede ser hecha por cuadrillas de un albañil o colocador y dos o tres peones que deberán levantar cuidadosamente los

adoquines que cubren el área dañada, excavar la capa de base y de sub-base e incluso la sub-rasante si fuera necesario, llenando luego con material nuevo o con el mismo material estabilizado, en capas no mayores de 30 cms. compactadas con un compactador vibratorio manual o con mazos; al llegar al nivel de base deberán tender nuevamente el lecho de arena y colocar los adoquines que habían sacado, llenando las juntas en la forma usual. Trabajando así, una cuadrilla de estas puede fácilmente reparar de 5 a 10 metros cuadrados al día, quedando el pavimento inmediatamente listo para ser usado.

6.4 Comparación con los costos de otros tipos de pavimento:

6.4.1 Costo inicial:

Aunque la diferencia en el costo inicial puede sufrir grandes variaciones, dependiendo del diseño de cada tipo de pavimento, se puede afirmar que en general el pavimento con carpeta asfáltica tiene un costo menor (aunque no muy significativamente) mientras que el pavimento de losas de concreto con refuerzo tiene un costo mayor.

Sin embargo, el adoquinado ofrece la alternativa de colocarlo directamente sobre la sub-rasante con la posibilidad de hacer reparaciones fáciles en caso de fallas en el terreno; un adoquinado así tiene un costo por lo menos del 50o/o del costo de un pavimento asfáltico.

6.4.2 Costos de reparación y mantenimiento:

En este renglón es donde está la gran economía de un adoquinado. Como podemos ver constantemente, en calles y carreteras del país, debido al gran incremento del tráfico y a fallas de las capas inferiores o de la carpeta, nuestros pavimentos, tanto los asfálticos como los de concreto, llegan a cierta edad en que empiezan a tener los asfaltos hoyos redondos que crecen rápidamente en tamaño y profundidad y los de concreto grietas y roturas en las losas que se transforman en hundimientos que llegan a ser gradas muy molestas y peligrosas al tráfico.

En el primer caso las reparaciones se hacen rápido pero no se logra que la superficie quede uniforme; en el segundo sí se deja uniforme la superficie pero es necesario cerrar el paso al tráfico durante el tiempo de fraguado del concreto.

En ambos casos se destruye la carpeta o losa de concreto antigua, perdiéndose estos materiales.

Contrariamente, en un adoquinado no se producen hoyos o hundimientos de bordes cortados sino ondulaciones o depresiones que no son tan molestas al tráfico; para corregir éstas sólo será necesario levantar los adoquines, reparar y nivelar la base y colocar nuevamente los adoquines quedando sin alterar la capa de rodadura en apariencia y en uniformidad y pudiendo circular el tráfico inmediatamente sobre el área reparada.

Esto hace al adoquinado más favorable en el gasto de materiales y mano de obra para reparaciones y evita molestias prolongadas al tráfico.

CAPITULO 7

CONCLUSIONES

De lo expuesto en este trabajo así como de otras publicaciones, he definido las principales ventajas y desventajas de los pavimentos de adoquín, las cuales pueden resumirse así:

7.1 Ventajas de los pavimentos de adoquín:

- La fabricación de los bloques en una planta centralizada facilita el mantener un control de calidad estricto, cosa difícil de lograr cuando se trabajan grandes áreas de pavimentos con materiales mezclados en el lugar.
- La colocación de los adoquines no requiere la utilización de equipo y maquinaria especial ni de personal especializado, haciéndose únicamente con mano de obra de escasos conocimientos, de fácil obtención en nuestro medio pero que puede efectuar el trabajo a satisfacción, teniendo adecuada orientación y supervisión.
- Su colocación completamente manual hace necesaria la ocupación de un gran número de obreros dando oportunidades de trabajo a personas sin mayores conocimientos.
- Se eliminan las operaciones de terminación superficial en el lugar de colocación, pudiéndose utilizar inmediatamente el pavimento, una vez colocados los bloques y llenadas adecuadamente las juntas, ya que no se utilizan materiales que deban fraguar posteriormente.
- El adoquín de concreto es fabricado enteramente con materiales nacionales con lo cual se evita la fuga de divisas.
- No son afectados en absoluto por los rayos solares; en contraste con las superficies oscuras, no absorben sino reflejan el calor. No son afectados por el calor, que hace que los pavimentos de asfalto se suavicen y emanen vapores de hidrocarburos, cuyos efectos tóxicos son bien conocidos. Debido a su tamaño y sus juntas elásticas, no existe riesgo de falla debido a contracciones o dilataciones provocadas por cambios de temperatura.
- Los adoquines tienen el color característico del concreto, que facilita la luminosidad de la superficie de noche, dando un mejor aprovechamiento del alumbrado público; también de día resulta menos pesado para la vista que el color oscuro del pavimento bituminoso.

Se fabrican además adoquines coloreados que son muy útiles para señalizaciones, indicar zonas de parqueo, limitar los carriles en carreteras o calles de varias pistas, indicar la dirección de circulación, pasos de peatones, etc., o con fines decorativos, pudiendo obtenerse muy variados patrones de diversos colores. Puesto que el colorante se incorpora al concreto en el momento de hacer la mezcla, los adoquines nunca perderán su color.

— Son altamente antideslizantes, no sólo debido a su textura superficial sino también debido a las juntas entre bloques.

— Pueden ser fabricados de diferentes espesores, dependiendo del tipo y la intensidad del tráfico previsto en la pista a construir.

— Un problema frecuente que se presenta sobre todo en zonas urbanas o en instalaciones industriales, es la apertura de zanjas en un pavimento ya establecido. Los pavimentos asfálticos ofrecen cierta facilidad para su apertura y reconstrucción pero la operación resulta costosa por el desplazamiento de maquinaria y el buen aspecto, así como la uniformidad de la superficie quedan afectados por los parches.

Los pavimentos de hormigón presentan grandes dificultades tanto en su demolición como en su reconstrucción, necesitando un largo período de fraguado después de fundido el parche. El pavimento de adoquines de concreto permite sin embargo, su remoción total o parcial y su reconstrucción sin ayuda de maquinaria alguna y aprovechando íntegramente el mismo material, por lo que el costo de la operación es mínimo, y el buen aspecto del pavimento no sufre alteración.

— Otro problema frecuente es la formación de baches, generalmente debidos a humedecimiento de la subrasante causado por tuberías defectuosas o por juntas mal selladas en la carpeta, que permiten penetrar al agua de lluvia; en el caso de los asfaltos la carpeta se deflecta y termina por destruirse por completo, formándose entonces un hoyo profundo en las capas inferiores. En el caso de los pavimentos rígidos, las losas de concreto se rompen al debilitarse la sustentación y se producen hundimientos y grandes irregularidades de la superficie. Las inconveniencias de efectuar reparaciones son semejantes a las mencionadas anteriormente. En los adoquinados en cambio se manifiestan los baches como ondulaciones y deflexiones de la superficie, pero la reparación se hace con facilidad y sin pérdida del material de capa de rodadura.

— Los bloques de adoquín están compuestos por materiales que lejos de envejecer, aumentan su resistencia a lo largo del tiempo.

— Sus formas provocan juntas elásticas en el pavimento que si bien son continuas, no están en línea recta, eliminando el efecto de guía que ejercen las líneas rectas sobre las ruedas de los vehículos en marcha. Además estas formas curvas transforman el movimiento de torsión, producido por las ruedas en el arranque y frenado de vehículos en esfuerzos tangenciales u horizontales, reduciendo considerablemente la fatiga del terreno. También debido a sus formas, dan una agradable apariencia a cualquier área donde sean colocados, rompiendo la monotonía que dan los pavimentos continuos, tan pesada para el conductor.

7.2 Desventajas de los pavimentos de adoquín:

— El principal inconveniente que se le ha encontrado a los pavimentos de adoquín es el ruido que producen los vehículos al pasar a altas velocidades sobre la pista adoquinada, por lo que

se ha considerado que no es conveniente usarlo en autopistas ya que ese ruido monótono puede hacerse molesto o, peor aún, puede adormecer al conductor.

— Se ha dicho también que la textura superficial áspera de la capa de rodadura de adoquín al provocar una mayor resistencia a las ruedas de los vehículos origina un mayor consumo de combustible y gasto de neumáticos.

— No se puede utilizar en lugares sin suficiente pendiente ya que es indispensable que haya una evacuación rápida de aguas de lluvia para evitar infiltraciones en la base.

CAPITULO 8

RECOMENDACIONES

Las recomendaciones se han venido haciendo a lo largo del presente trabajo, especialmente en lo que se refiere a estructura, diseño y construcción de pavimentos de adoquín. Si se siguen las especificaciones que se han dado, podrán construirse pavimentos de adoquín que compiten en calidad y en precio con los otros tipos de pavimento.

Los pavimentos de adoquín son adecuados y muy recomendables para una gran diversidad de trabajos de pavimentación; resumiremos a continuación los principales usos que se les ha dado:

1. Construcción de pavimentos de alta calidad y costo relativamente reducido cuando la obra por circunstancias especiales, como una situación alejada, poca extensión, poco volumen de trabajo o falta de uniformidad en el área a cubrir, no permite la construcción de un pavimento asfáltico o de hormigón con garantía y a precios competitivos.
2. Construcción de pavimentos en zonas en que se prevee la necesidad de abrir alguna zanja o hacer alguna instalación subterránea con posterioridad, lo cual sucede frecuentemente en zonas urbanas, instalaciones industriales, talleres, fábricas, etc.
3. Construcción de pavimentos en zonas de tráfico muy pesado y con grandes cargas estáticas de los vehículos estacionados que con frecuencia ondulan el pavimento asfáltico, así como en lugares donde el tráfico está obligado a efectuar arrancadas, frenazos y maniobras violentas que tienden a deformar el pavimento.
4. Construcción de pavimentos para industrias petroquímicas, gasolineras, estaciones de servicio, garages, talleres o lugares donde los vehículos quedan estacionados algún tiempo, con posibilidades de derramar combustibles o aceites cuyos efectos agresivos destruyen otros tipos de pavimento.
5. Construcción de pavimentos que deben resistir los choques o tráfico con llantas rígidas u orugas, como patios de maquinaria pesada, acuartelamientos, patios de armas.
6. Construcción de pavimentos provisionales en donde una vez realizada su función, puede recuperarse totalmente el adoquinado.
7. Pavimentación de lugares que tendrán un tráfico pesado pero eventual, donde se desee tener áreas verdes; para ello se utilizan adoquines que tienen una o varias aberturas que se llenan de tierra para que crezca grama. Es aplicable en parques zoológicos, alrededores de edificios, hoteles o restaurantes e incluso en áreas de parques.
8. Pavimentación en pasos a nivel con vías férreas, ya que el adoquinado resulta fácil de colocar entre los rieles y a los lados, soportando perfectamente las fuerzas de frenadas y arrancadas de los vehículos así como las vibraciones producidas por el ferrocarril.

9. En general el pavimento de adoquín es adecuado para usar en cualquier tipo de vía, como rutas de tráfico pesado, caminos de montaña, carreteras, autopistas, caminos vecinales, calles, etc.

10. Construcción de pavimentos donde la apariencia arquitectónica sea muy importante, pudiendo utilizarse cualquiera de la gran variedad de formas existentes y con distintas coloraciones, según el caso.

11. Para pavimentar lugares que sólo serán transitados por peatones, bicicletas, o carretillas de mano, tales como banquetas, veredas de parques, jardines, ferias o exposiciones, patios, terrazas, etc., donde puede usarse adoquines con espesores menores.

12. Protección y consolidación de taludes en terrenos que no deben ser deformados por factores atmosféricos, por ejemplo, cerca de edificios, en plantaciones, en carreteras, etc.

13. En el norte de Europa se ha usado con éxito adoquines de concreto para obras hidráulicas y de protección, tales como:

- Recubrimiento para canales y conductos para rebalse de aguas de crecidas.
- Recubrimiento de cauces de riachuelos para evitar la tendencia a producir erosión.
- Recubrimiento de presas de tierra y de la corona de diques.
- Protección de riberas y orillas de ríos para evitar la erosión producida por las olas y la corriente.
- Construcción de limnímetros.
- Recubrimiento de estanques de agua de reserva para incendios.

14. El uso de adoquines es también ideal para pistas de aterrizaje y helipuertos, usándolo en las zonas de abordaje o en hangares, donde los aviones permanecen parados durante largos períodos, ejerciendo cargas concentradas de más de 100,000 libras por rueda.

Es también muy apropiado para pistas pequeñas o helipuertos, en lugares donde resulta muy difícil el acceso de cualquier equipo usual de pavimentación.

15. Construcción de pavimentos en lugares donde, por falta de recursos, no se pueden hacer los trabajos necesarios en la subrasante ni usar las capas de base y sub-base, colocando los adoquines directamente sobre el terreno natural; cualquier falla posterior de la sub-rasante podrá ser reparada fácilmente.

BIBLIOGRAFIA:

1. Introduction to Highway Engineering por John H. Bateman.
John Wiley & Sons, New York, 1942.
2. Principles of Road Engineering por John Collins y C.A.
Hart. Edward Arnold Ltd., London, 1958.
3. Las carreteras Modernas por Erwin Neumann.
Editorial Labor S.A., Barcelona, 1955.
4. Ingeniería de Carreteras por Enrique Cuéllar.
Editorial Universitaria, San Salvador, El Salvador, C.A. 1960.
5. Manual Centro Americano de Mantenimiento de Carreteras, Alcantarillas y Puentes,
publicado por la Secretaría Permanente del Tratado General de Integración Económica
Centroamericana (SIECA), Guatemala, 1974.
6. Caminos por Roger Coquand
Editorial Reverté, S.A. 1965.
7. Principles of Pavement Design por E. J. Yoder.
John Wiley & Sons, Inc. (1959) 5a. edición 1967.
8. Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones por Sowers y Sowers. Editorial
Limusa-Wiley, S.A., México 1972.
9. Diseño de Pavimentos de Concreto para Proyectos de Urbanización en Guatemala.
Tesis por Danilo Gustavo Midence Monroy.
Impresos Industriales, Guatemala. 1975.
10. Estudio de las cargas y dimensiones a tomarse en cuenta en el Diseño de Pavimentos en
la República de Guatemala y Proposición de un Nuevo Método de Diseño de
Pavimentos. Tesis por Luis Rodolfo Daetz Barrientos. Serviprensa Centroamericana,
Guatemala, 1974.
11. Pavimentación con adoquines de concreto, por el Ingeniero Max Sittenfeld R.
Revista de la Asociación Centroamericana del Cemento y Concreto. Mayo — Junio 1969.
12. Adoquines de Concreto para Pavimentos de Calles y Carreteras de Centro América por
Ing. Julio Fenu.
Revista de la Asociación Centroamericana de Cemento y Concreto. Mayo — Junio 1971.
13. Instructivo para Pavimentación con Adoquines de Concreto publicado por el Instituto
de Fomento Municipal, División de Ingeniería. Guatemala, C.A. 1972.

14. Normas para fabricación y colocación del Adoquín.
Desarrolladas por el Instituto de Fomento Municipal, División de Ingeniería. Guatemala, C.A. 1972.
15. Revista Materiales, Maquinaria y Métodos para la Construcción No.100, Marzo 1973.
Barcelona, España.
16. Boletín del Cemento Portland, Septiembre — Octubre 1970. Instituto del Cemento Portland Argentino, Buenos Aires.
17. Boletín del Cemento Portland, Septiembre — Octubre 1968.
Instituto del Cemento Portland Argentino, Buenos Aires.
18. Revista Elements Prefabriqués Au Service de la Route, Federation de l'Industrie Cimentiere, Bruxelles.
19. Revista Precast Concrete, Volumen 2, No.4, abril 1971.
20. The "Trief" Sinusoidal Paving Block, Publicación de la Societé Internationale de Brevets, Luxemburgo, 1970.
21. Pavimento con Bloques Articulados de Hormigón.
Método aproximado de Diseño. Por el Ing. Juan F. García Balado. Instituto del Cemento Portland Argentino. 1964.
22. Informe E/12/74 del Centro de Investigaciones de Ingeniería, por el Ing. Roberto Lou Ma, Guatemala, 1974.
23. A Procedure for Determining the Thickness of Flexible Pavements por William H. Mills.
Highway Research Board Abstracts, Vol. 26, Junio 1957.
24. Especificaciones para la Colocación del Adocreto en las Calles del Centro de la Ciudad de México.
Dirección General de Obras Públicas, Depto. del Distrito Federal, México.
25. Adocreto, publicación de la Compañía Pretensados y Vibrados, S.A. México, D.F.
26. Bloques para Pavimentos (Adoquines) de Concreto, Norma DIN 18501, Traducción del Centro de Investigaciones de Ingeniería y la Asociación Centroamericana del Cemento y Concreto, Guatemala, de la edición alemana de septiembre, 1964.
27. Bauen mit System, Hermann Lohmüller, recopilación de folletos y publicaciones de la marca de fábrica SF-Vollverbundsteine, Bremen, Alemania.

ACTIVIDADES DE CAMPO

Entrevistas:

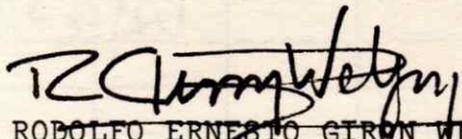
- 1) Entrevistas con el Ingeniero Víctor Molina Toledo del INFOM, Guatemala.
- 2) Entrevista con el Ingeniero José Flores de la Fábrica Cementos Novella, Guatemala.
- 3) Entrevistas con el Ingeniero Luciano Botaya de la Fábrica Previ, S.A., México, D.F.
- 4) Entrevista con el Arquitecto Fernando Alfaro de la Dirección General de Obras Públicas, Departamento del Distrito Federal, México, D.F.
- 5) Entrevista con el Ingeniero Cutberto Díaz Gómez, Gerente del Instituto Mexicano del Cemento y Concreto, México, D.F.

Visitas:

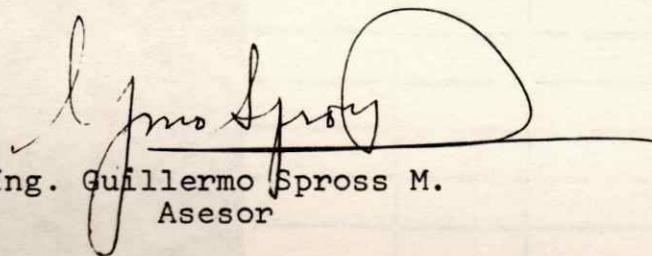
- 1) Visita a los trabajos de fabricación y colocación de adoquín en Chicacao y San Francisco Zapotitlán, Suchitepéquez, Guatemala, bajo la dirección y supervisión del INFOM.
- 2) Visita a la fábrica de adoquines Pretensados y Vibrados, S.A., México, D.F.

Experiencias:

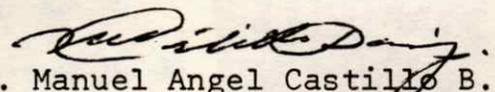
- 1) Construcción de pavimento de adoquín en el Turicentro Auto-Mariscos en Palín, Guatemala.


RODOLFO ERNESTO GIRON WETJEN

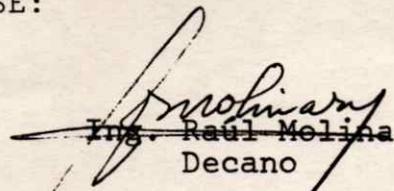
Vo. Bo.


Ing. Guillermo Spross M.
Asesor

Vo. Bo.


Ing. Manuel Angel Castillo B.
Director de Escuela
de Ingeniería Civil

IMPRIMASE:


~~Ing. Raul Molina~~
Decano