



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ACATLAN"**

**"PAVIMENTO DE ADOQUINES
DE CONCRETO HIDRAULICO"**



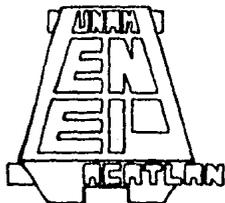
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

EDUARDO LARA CANO



1984.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

INDICE.

CAPITULO:	Pag.
I. - INTRODUCCION.	1
II. - ANTECEDENTES.	2
III. - ¿QUE ES UN ADOQUIN?	7
IV. - CUALIDADES DEL PAVIMENTO DE ADOQUINES DE CONCRETO HIDRAULICO.	11
V. - PRECEDENTES DE DISEÑO.	13
VI. - DISEÑO DE PAVIMENTOS DE ADOQUINES DE CONCRETO HIDRAULICO.	54
VII. - ESPECIFICACIONES.	73
VIII. - CONTROL DE CALIDAD.	94
IX. - COSTOS COMPARATIVOS.	98
X. - CONCLUSION.	113
BIBLIOGRAFIA.	114

II. - ANTECEDENTES.

El antecedente histórico más conocido del uso de bloques superficiales para un camino, es la calzada romana con su "Summa crusta" o adoquinado superior, consistente en lajas de piedra labrada, colocadas una al lado de la otra.

En la Europa del Medievo, y mucho después en América, las vías adoquinadas fueron una costumbre. La ciudad de Buenos Aires es una muestra de ello. Si en un momento disminuyó el empleo de adoquines fué debido a la creencia de que un piso fragmentado dificultara el rodamiento del automotor, sin embargo, otras ventajas de orden económico y estético han hecho que esta forma de pavimentación perdure.

De la primera conferencia internacional sobre pavimentos de adoquines de concreto hidráulico, celebrada en la Universidad de Newcastle de Tyne, Inglaterra, mencionaré los comentarios relevantes.

Ernest Otto Kuthe, ponente de Alemania Occidental, dijo que en 1962 se pensó que debido a la gran cantidad de juntas se tendría el problema de la introducción del agua dañando con ésto al pavimento,

y que en Holanda, donde se utilizaba ampliamente el adoquín de forma rectangular, el terreno debía de ser muy adecuado para este tipo de recubrimiento. No obstante, se utilizó en Alemania Occidental, en caminos, plazas y andadores, con lo cual se comprobó que la suposición fué incorrecta.

El ponente A.A.Lilley, presentó un reporte del uso del pavimento de adoquines en caminos en el Reino Unido, el cual comenzó con una investigación de los trabajos llevados a cabo en Bélgica, Holanda, Alemania y Dinamarca, seguidas por pruebas en laboratorio y campo. Expresó: "El estudio de los pavimentos de adoquines dió origen a algunas publicaciones con recomendaciones sobre diseño, especificaciones y procedimientos de construcción, así como de sus diferentes aplicaciones.

Sin embargo, para 1975 todavía se consideraba que los adoquines proporcionaban únicamente una superficie estética, pero eran muy pocos los que pensaban que este material pudiera tener algún mérito ingenieril. Ahora la situación ha cambiado y la mayoría de los ingenieros ingleses responsables del diseño urbano, aceptan a los adoquines como material idóneo para reemplazo de los otros cubrimientos de pavimentación.

Aunque el pavimento de adoquines no es novedad en Inglaterra, ya que se usó hace 150 años en Londres, en forma casi idéntica a la actual, la utilización de concreto hidráulico en la fabricación de adoquines para pavimentación sí es nueva."

4

De Holanda y los países bajos, el ponente H. Van Leeuwen describe el uso de pavimentos de adoquines en los puertos europeos: "Desde que por primera vez se usaron los contenedores (vagones metálicos adaptables a plataformas de camión y de ferrocarril) en los Estados Unidos en 1955, esta forma de transporte se ha extendido por todo el mundo, y actualmente un 50% de toda la carga es transportada en contenedores distribuidos en una red de terminales extensa.

Durante los últimos 15 años se han construido no menos de cien terminales de contenedores, los cuales, al igual que otras plantas industriales en ampliación, son una combinación de diversas disciplinas técnicas como la ingeniería civil, la mecánica y la eléctrica. Vale la pena mencionar que dos tercios de la inversión total en una terminal de contenedores corresponde a trabajos de ingeniería civil, tales como muros de muelles, patios de almacenamiento, edificios, etc... Una cuarta parte de esos dos tercios se necesita para el pavimento de la terminal y esto es aplicable no solo a las terminales de contenedores, sino también a las industrias". Con base a sus 15 años de experiencia expresa que el pavimento de adoquines de concreto es el más apropiado para una terminal, y que por ello se ha estado utilizando en el puerto de Rotterdam, donde se manejan 850 000 contenedores al año, equivalente a aproximadamente

diez millones de toneladas por año.

G. H. Kellersman, de Holanda, presentó un informe sobre la pavimentación urbana con adoquines en los países bajos.

En el describe la aplicación de pavimentos de adoquines de dimensiones pequeñas en la ciudad de Amsterdam, refiriéndose también a las demás ciudades holandesas, y expresa: "Holanda es la parte occidental de los países bajos y en su mayor parte consiste en áreas de turba que ofrecen un subsuelo de capacidad de carga débil y los edificios grandes o pequeños tienen que cimentarse sobre pilotes de 15 a 20 metros de longitud, a la profundidad de la capa de arena, más resistente. Para la construcción de los nuevos centros urbanos, generalmente se ha tenido que terraplenar con arena proveniente del mar del norte, la cual es de granulometría muy uniforme y contiene un porcentaje muy bajo de limos. El terraplenado se hace en seco mediante carros, o en húmedo mediante tuberías, y en ambos casos sufre asentamientos que van de 0.5 a 1.0 m y aún más. Por lo mismo el uso de adoquines se extiende allí, ya que el adoquinado se deforma junto con el terreno."

"En Dinamarca la Danish Road Directorate, conjuntamente con Viborg County, tomó la decisión de probar el pavimento de adoquines de concreto en la carretera principal 348 al sur de Viborg."

"El camino de prueba se construyó en el verano de 1977 y se abrió al tránsito el 10 de octubre del mismo año; se construyó

con una longitud de 1.2 km y 3.5 m de ancho en carril ascendente con una pendiente longitudinal del 5%. A todo vehículo que no pudiera mantener una velocidad de 70 km por hora se le ordenó utilizar el carril ascendente. El pavimento de prueba es una extensión lateral del pavimento existente y se construyó con adoquines de 8 cm de espesor, sobre las siguientes capas: 3 cm de arena, 20 cm de cemento granular adherente, 10 cm de material granular de sub-base y 40cm de subrasante de suelo arenoso."

"El camino de prueba se dividió en 7 tramos, consistentes en 4 tipos de pavimentos de adoquines de concreto, 2 tramos de referencia de concreto asfáltico y uno pavimentado con Saviacín (cemento asfáltico tratado con lechada de cemento hidráulico)".

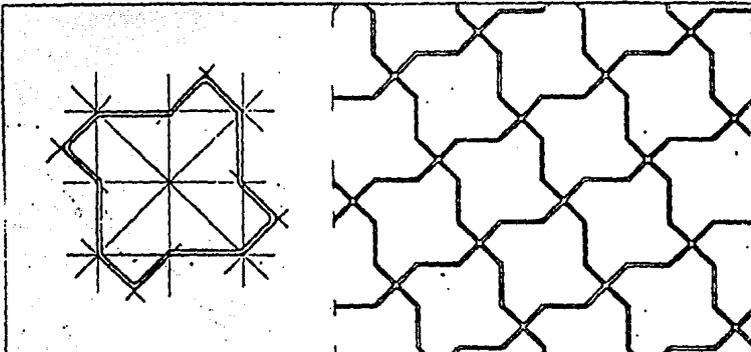
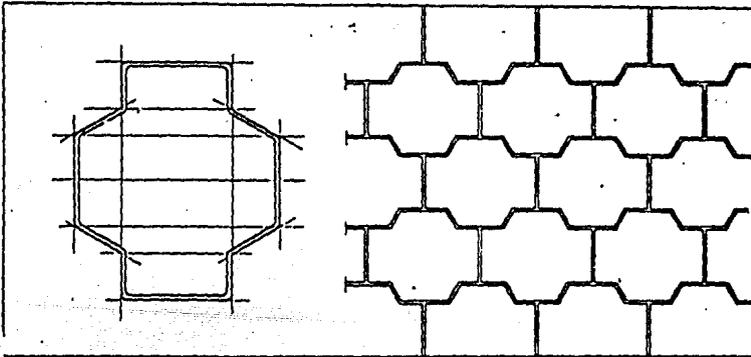
"Es de notarse que no se hayan observado marcas de ruedas y que la resistencia friccionante disminuyera a una magnitud aceptable, después de un período suficiente de funcionamiento".

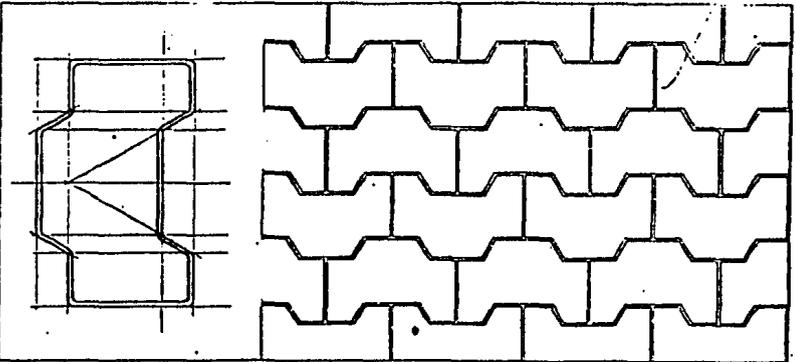
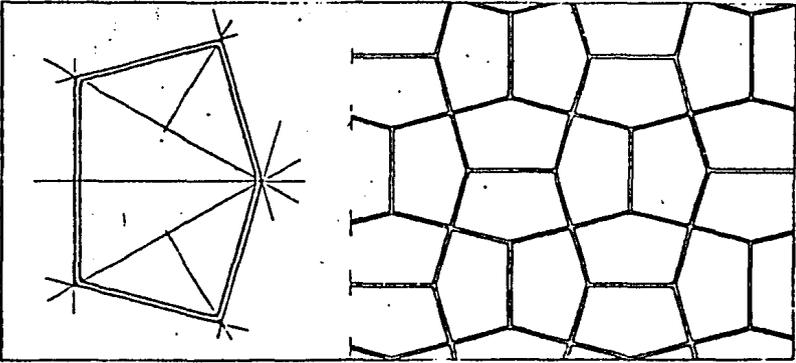
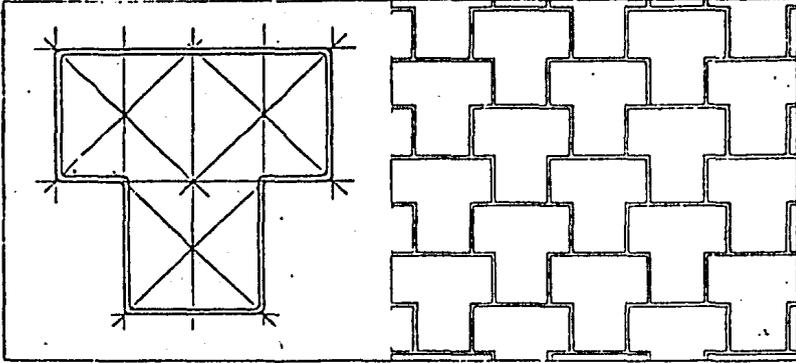
C. F. Morris expresa en su artículo sobre la situación en Australia: "Muchos de los primeros trabajos europeos sobre pavimentos de adoquines no eran conocidos en Australia, por que se pensaba que el método de construcción requería demasiada mano de obra y por lo tanto de alto costo para poder adecuarse a la situación Australiana. Sin embargo, durante una visita a Europa en 1972, y a México en 1973, el autor apreció el enorme potencial del pavimento de adoquines y que la introducción de formas complejas había transformado el proceso de colocación. Es de este país el estudio experimental más reciente (1978) y del que se hablará.

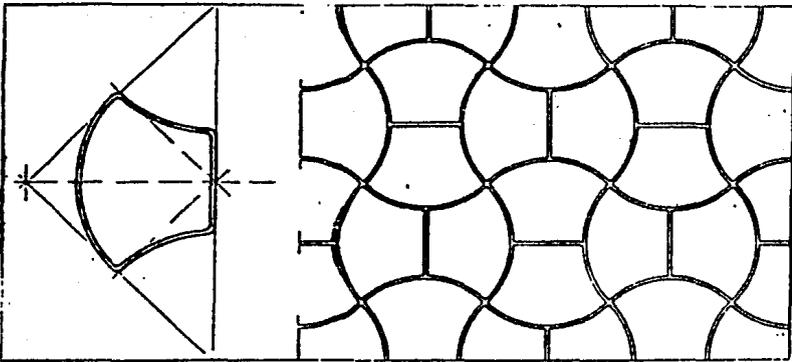
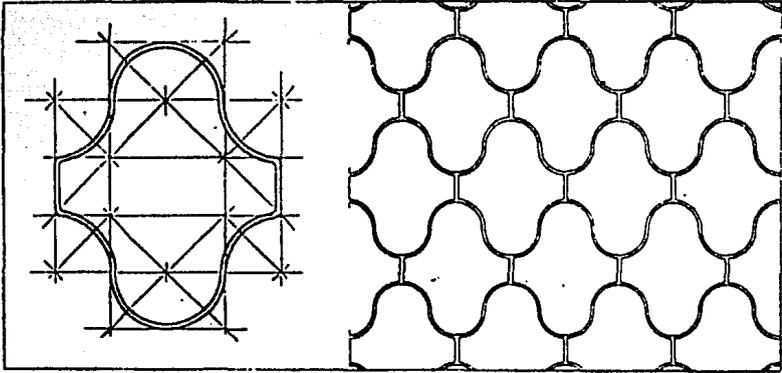
III. - ¿ QUE ES UN ADOQUIN ?

El adoquín es un bloque fabricado a base de un material resistente, de forma geométrica definida, de pequeñas dimensiones, que permite un ensamblaje y ajuste de piezas similares constituyendo así una superficie plana, o alabeada en su caso. Siendo el material: piedra labrada, barro cocido, o concreto hidráulico.

A continuación se muestran algunas de las formas geométricas más usadas en su fabricación:



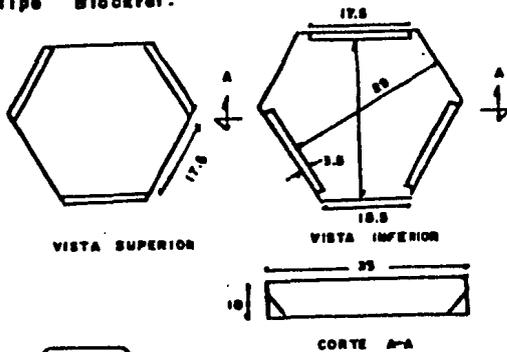




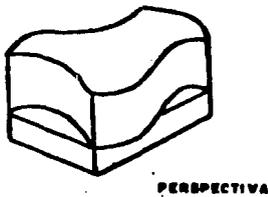
En Argentina se está utilizando un adoquín de forma tal que permite su articulación con sus vecinos, lo que provoca que no se desplacen verticalmente unos con respecto a otros, dando una superficie de aca bajo uniforme.

ADQUIN ARTICULADO:

Tipo Blockref.



Tipo Brief.



IV. - CUALIDADES DEL PAVIMENTO DE ADOQUINES DE CONCRETO HIDRAULICO.

De los adoquines, los hechos a base de concreto hidráulico ofrecen mayor resistencia a la flexión, compresión, abrasión, erosión y al ataque químico, además son más baratos y de mejor calidad que otros materiales, de variados colores, y formas ésto se debe a que los adoquines hechos con piedra deben ser cortados y pulidos, y los de barro cocido, moldeados y metidos a horno, además que el control de calidad en ellos es muy difícil sino imposible. Por lo anterior, el uso de adoquines de concreto hidráulico será el que nos interese.

Referente al pavimento de adoquines tenemos las siguientes cualidades:

- a) El concreto hidráulico con el humedecimiento adquiere progresivamente mayor resistencia.
- b) En caso de excavaciones y renivelaciones se puede levantar el adoquinado, recuperandose más del 95% de las piezas, las cuales después de un cepillado de limpieza, son vueltas a colocar, sustituyendo las rotas por nuevas.
- c) El pavimento de adoquines tiende a alcanzar una condición de equilibrio después de que la acumulación de deformaciones es imperceptible, exhibiendo un endurecimiento progresivo con el aumento del número de repeticiones de carga.

- d) Al adoquinado no le afecta el derrame de sustancias disolventes, como la gasolina y el diesel.
- e) En caso de falla en las capas interiores del pavimento, o en la subrasante, o en el terreno natural, el adoquinado adquiere la forma de la depresión o del abultamiento.
- f) El adoquinado alcanza un nivel adecuado de fricción al poco tiempo de su uso.
- g) La forma del adoquín casi no altera el funcionamiento adecuado del pavimento, pudiendo elegir la forma geométrica deseada siempre y cuando sea del tipo "interlocking" (trabazón), por presentar una resistencia al desplazamiento horizontal entre los adoquines adyacentes, y de preferencia del tipo articulado, que además de lo anterior presenta un machiembredo vertical que le dá la cualidad de transmitir esfuerzos a sus vecinos, y le evita desplazamientos verticales entre sí.

V. - PRECEDENTES DE DISEÑO.

Sobre la evaluación del funcionamiento del pavimento de adoquines existen los siguientes antecedentes relevantes:

1. - En Inglaterra, Knapton en 1976 realizó un estudio, en laboratorio, donde observó el funcionamiento de varias formas de adoquín, sobre una capa de 60 mm de arena, a su vez colocada encima de una base de concreto rígido, sujeto el conjunto a cargas estáticas, lo que resulta una comparación inadecuada debido a la falta de similitud con los pavimentos reales sujetos a tráfico.
2. - Mundialmente el diseño usado se basa en modificaciones de métodos establecidos para pavimentos flexibles, tomando criterios regionales diversos.

Debido a la poca información y a la falta de un método de diseño específico, B. Shackel dirigió un estudio sobre el funcionamiento del pavimento de adoquines de concreto en Australia a fines de 1977, y fué llevado a cabo en el simulador de caminos de la Universidad de Nueva Wales del Sur y financiado por la Concrete Masonry Association de Australia, siendo el más reciente a la fecha.

El simulador de caminos es un canal de concreto de 4.2 m de ancho 1.5 m de fondo, 4.5 m de largo disponible para prueba y 20 m de largo total; una rampa permite subir equipo normal de construcción semejante al usado en campo.

Una vez construido el pavimento, un puente de carga consistente en una viga móvil con siete gatos hidráulicos de 10 toneladas de capacidad, cada uno, es colocado en los rieles laterales del canal, sobre la sección que ha de ser probada.

La carga es aplicada por siete gatos adyacentes de 200 cm cuadrados cada uno, adaptados en línea recta bajo los gatos.

El efecto de un movimiento rodado a una velocidad de 14 m/min es simulado por transferencia lenta de carga a lo largo de la línea de gatos, la posición del simulador y su trayectoria pueden ser variados automáticamente a través del pavimento dentro de ciertos límites. La operación de los gatos es completamente automática y el equipo es normalmente operado las 24 horas durante 5 días de la semana, logrando un rendimiento de 21 000 recorridos por semana de operación.

Los esfuerzos y temperaturas dentro del pavimento son tomados con células diafrágicas y termocopios, respectivamente. Las deformaciones permanentes de la superficie del pavimento son medidas al examinar las coordenadas vertical y horizontal de una serie de referencias fijadas sobre la superficie de cada adoquín.

Las deformaciones verticales permanentes son leídas con una exactitud de 0.1 mm usando un nivel, mientras que los movimientos horizontales son registrados con una exactitud de 0.3 mm aprox.

Las deformaciones elásticas (transitorias) son observadas por

medio de transductores de desplazamiento ligados a cada plato de carga, y registradas con una exactitud de 0.1 mm, las cargas aplicadas por cada gato son registradas por las células diafragmáticas.

Los valores elegidos para el estudio fueron:

- a) el espesor del adoquín,
- b) el espesor de la base, y
- c) la magnitud de la carga aplicada.

Los espesores del adoquín fueron de 60, 80 y 100 mm.

Los espesores de base fueron seleccionados de acuerdo a la práctica en el Reino Unido, y fueron de 60, 100 y 160 mm.

Las magnitudes de las cargas fueron de 600 (6.12) y 900 Kpa (9.17 kg/cm²). La primera corresponde a la máxima legalmente permitida para vehículos de carretera y dió una rueda de diseño de 2446.5 kg que fué un poco superior a la encontrada para dichos vehículos. La segunda carga, 900 Kpa (9.17 Kg/cm²) fué seleccionada por ser un poco mayor que la aplicada por un contenedor.

Esta carga no actuó sobre adoquines de 60 cm de espesor. El adoquín utilizado en el experimento fué del tipo Unipave, a razón de 40 adoquines/m², y con un f'c de 400 kg/cm². En adición al experimento se estudió el efecto de la cama de arena y la forma del adoquín.

El proyecto comenzó en octubre de 1977. En ese tiempo la cama

de prueba era ocupada por un pavimento flexible. Ese pavimento incluyó una base de dolerita (nombre genérico de un suelo australiano) Sobre una subrasante de suelo arenoso.

El primer paso del proyecto fué excavar toda la dolerita y parte del suelo arenoso hasta el nivel mostrado en la figura V. 4.

Después se recompactó la subrasante del fondo de la excavación, esto provocó la colocación adicional de suelo arenoso hasta los niveles mostrados en la figura V. 5, poniendo en su interior varios tubos de plástico de 75 mm de diámetro en posición que permita un drenado subsecuente, si se requiere. El material de subrasante adicional fué del mismo tipo y de la misma especificación nominal como la del suelo de la subrasante obtenida en 1975, pero diferente graduación y granulometría.

El material suministrado en 1977 fué más uniformemente graduado que el de 1975, además, el máximo peso volumétrico seco dado por la prueba de compactación estandar modificada ASA89 fué inferior al de la muestra de 1977, sin embargo, se lograron compactaciones relativas comparables a las obtenidas en los estudios del pavimento flexible, se consideró que las variaciones en características de la subrasante de 1975 y la suministrada en 1977 fueron de importancia mínima.

La subrasante fué compactada en capas de 90 mm con un Dynapac CC20 de impulsión propia y rodillo vibratoria.

La densidad y el contenido de humedad de cada capa se midieron por pruebas de sustitución de arena y secado al horno respectivamente, y se resumen en la tabla V. 1.

Sobre la subrasante, se colocó la base de dolerita correspondiente a cada pavimento. Los datos de contenido de humedad y densidad volumétrica para la base están contenidos en la tabla V. 2.

Sobre dicha capa, otra de arena suelta con un espesor de 50 mm fué esparcida a través de la superficie con un contenido de humedad de 5%. Los adoquines se colocaron, nivelándolos en patrón de cuadrado, con el mayor de sus ejes a 45 grados de la trayectoria del simulador y fueron renivelados reacomodándolos usando un vibrador compactador Honda G200.

La anchura promedio de las juntas entre adoquines fué de tres milímetros aproximadamente.

Fueron tres los pavimentos probados y construidos al mismo tiempo, usando técnicas comunes de construcción.

Después se examinó la superficie terminada y se registraron las coordenadas cartesianas de 5 puntos correspondientes a 5 adoquines, determinando con éstos la posición vertical y horizontal de cada uno.

La carga fué aplicada a lo largo de la línea central de cada pavimento y en una sola dirección del paso del simulador a una velocidad de 14 m/min, y las pasadas se distribuyeron dentro de la trayectoria en un ancho aproximado de 200 mm.

Para combinaciones particulares de espesores de adoquín y base

mostradas en la figura anterior, los pavimentos fueron sujetos inicialmente a 100 repeticiones de carga, terminado con un examen de su superficie.

12 000 repeticiones adicionales fueron aplicadas y se terminó también con un examen superficial.

De esos examens se registraron las deformaciones verticales permanentes y los desplazamientos horizontales permanentes del pavimento, así como las fallas y desplazamientos relativos entre adoquines. Durante el progreso de cada ciclo o repetición, fueron tomadas lecturas de la carga y las deformaciones verticales elásticas. Adicionalmente, lecturas de los esfuerzos verticales en diez puntos dentro del pavimento fueron registradas por medio de las células diafragmáticas de presión instaladas durante la construcción del pavimento, y localizadas en los sitios mostrados en la figura V.5.

El funcionamiento del pavimento fue evaluado en términos de:

- a) Los desplazamientos horizontales (arrastre)
- b) Las deformaciones plásticas verticales (depreciones)
- c) Las deformaciones elásticas verticales (rebote transitorio) y
- d) La distribución de los esfuerzos dentro de cada pavimento.

De la siguiente manera:

- A) Desplazamientos horizontales.

Para los pavimentos particulares mostrados en la figura V.5,

el desplazamiento horizontal promedio después de las repeticiones iniciales fué de 0.21 mm, medido transversalmente al pavimento y 0.16 mm medido a lo largo, con desviaciones estandar de 0.15 y 0.19 mm respectivamente. Después de la aplicación de las 12 000 repeticiones adicionales el promedio del desplazamiento medido transversalmente aumentó a 0.5 mm con una desviación estandar de 0.2 mm; los desplazamientos a lo largo aumentaron a 0.28 mm con desviación estandar de 0.197 mm.

Durante la primera etapa de carga las direcciones del desplazamiento horizontal parecen al azar, sin embargo, durante el final de las 12 000 repeticiones subsecuentes, los desplazamientos fueron predominantemente hacia las líneas centrales de los pavimentos, con una tendencia en la dirección del tráfico.

No se apreciaron giros significativos de los adoquines en el plano horizontal.

Comparando esos desplazamientos horizontales con los medidos en una prueba anterior para pavimentos flexibles, se observó que la superficie del pavimento flexible tendió a correrse siguiendo la dirección del tráfico y hacia el exterior de la trayectoria de la rueda.

En contraste el pavimento de adoquines no exhibió un corrimiento importante, y solamente un desplazamiento horizontal pareció estar asociado enteramente con el desarrollo de deformación en el pavimento.

El desplazamiento horizontal promedio en los adoquines fué minúsculo comparado con la anchura de la junta (3 mm), a causa de eso y a

la falta de evidencia de corrimiento, se decidió no hacer ninguna observación adicional de la deformación horizontal, una vez que las pruebas de los pavimentos mostrados en la fig. V.5 fueron completas.

B) Deformaciones plásticas verticales.

Como un resultado de la carga del simulador, se desarrolló una depresión a lo largo de la trayectoria en todos los pavimentos estudiados. Para los pavimentos detallados en la figura V.5 los perfiles longitudinales de las depresiones se muestran en la figura V.7 y los perfiles transversales correspondientes se exponen en la figura V.8. Se verá que con un aumento en el número de repeticiones de carga, habrá un aumento de la profundidad de la depresión; sin embargo, las deformaciones adicionales causadas por las 12 000 repeticiones son generalmente de igual magnitud que las resultantes de las primeras 1000 repeticiones. Esto demuestra claramente que bajo tráfico el pavimento de adoquines tiende a mostrar un endurecimiento progresivo, que fué estudiado con ayuda de transductores de desplazamiento usados para medir las deformaciones transitorias, y fué establecido que en la mayoría de las pruebas los pavimentos se aproximaron a una condición de equilibrio, además de que la acumulación de deformaciones plásticas o depresiones fueron insignificantes. Esta condición de equilibrio fué alcanzada dentro de las primeras 1000 repeticiones.

Las características del funcionamiento de las depresiones de los pavimentos fueron establecidas en términos de dos parámetros: La profundidad de depresión promedio y la "curvatura" de la depresión. Estos parámetros son definidos en la fig. V.9.

Como se esperaba, fue establecido que la profundidad de depresión disminuyó y la curvatura aumentó con el espesor de la base o con el incremento del espesor de los adoquines.

Típicamente la profundidad de depresión promedio varió entre 1 y 6; y la curvatura entre 130 y 1000. En estudios basados en un pequeño número de pruebas existe el riesgo de malinterpretar los datos, a menos que se utilicen técnicas estadísticas de análisis. Debido a que el primer experimento involucra 9 factores de combinación para cada nivel de carga examinada, se decidió a emplear técnicas estadísticas de regresión lineal múltiple obteniendo relaciones entre las variables experimentales.

Esto significa que la utilidad de los modelos pudo ser estimada por consulta de semejanzas estadísticas como el coeficiente de regresión múltiple r .

Adoptando esta aproximación fue determinado que los modelos relacionados de depresión y curvatura con los espesores de adoquín y base pueden ser aproximados por las siguientes ecuaciones no lineales:

a) para 600 Kpa (6.12 kg/cm²) de presión de contacto:

$$(1). - \text{Log (profundidad de depresión)} = 3.867 - 0.988 \text{ Log (espesor de adoquín)} - 0.875 \text{ Log (espesor de la base)}$$

con $r = 0.82$ para 2 y 6 grados de libertad.

$$(2). - \text{Log (curvatura)} = 0.997 \text{ Log (espesor de adoquín)} \\ - 1.104 \text{ Log (espesor de base)} - 1.444$$

con $r = 0.84$ para 2 y 6 grados de libertad.

b) para 900 Kpa (9.17 kg/cm²) de presión de contacto:

$$(3) . - \text{Log (profundidad de depresión)} = 2.593 - 1.014 \text{ Log (espesor} \\ \text{de adoquín)} - 0.079 \text{ Log (espe-} \\ \text{sor de base)}$$

con $r = 0.58$ para 2 y 3 grados de libertad.

Las relaciones dadas como ecuaciones (1) a (4) proporcionan modelos adecuados del funcionamiento del pavimento, y son graficadas en las figuras V.10 y V.11. Valores de depresión y curvatura predichos por esas relaciones son comparadas con datos experimentales en las figuras V.12 y V.13.

Es importante notar que como muestran las figuras V.10 y V.11, las relaciones entre funcionamiento y espesores de base y adoquín son no lineales. Así, por ejemplo, un aumento en el espesor de adoquín de 60 a 80 mm mejoró el funcionamiento del pavimento más que el aumento correspondiente de 80 a 100 mm. Además, se vió que para la presión de contacto menor (600 kpa) un aumento en el espesor del adoquín no representó tanto como un aumento en el espesor de la base para las características de resistencia del pavimento, y que para la presión de contacto alta (900 kpa) fué mejor un aumento en el espesor de adoquín.

Así, la elección del espesor de adoquín fué el principal factor de fun

cionamiento, mientras que para baja presión de contacto los espesores de adoquín y de base fueron igual de importantes.

La deformación del pavimento provocó un movimiento relativo entre adoquines intactos. Esos movimientos fueron de dos tipos: rotaciones cerca de las juntas y fallas a lo largo de las juntas; la rotación parece ser el mecanismo predominante.

C) Deformación transitoria (elástica) vertical.

En adición a la depresión, cada pavimento probado exhibió una deformación transitoria durante cada pasada de la rueda simulada.

Para los pavimentos mostrados en la figura V.5, las variaciones en deformación transitoria son graficadas en la figura V.14 como una función del número de aplicaciones de carga.

De la figura V.14 se observa que en general, fué pequeña la influencia de prolongar el tráfico. Las deformaciones resilientes (transitorias) observadas tuvieron un rango típico de 1.0 a 2.0 mm. Los resultados mostrados en la figura V.14 son de interés porque demuestran que el pavimento de adoquín mantiene un funcionamiento estable a través del período de carga. Así, al menos con respecto al funcionamiento transitorio los pavimentos de adoquín parecen alcanzar una condición de estabilidad, virtualmente, desde el principio de la carga.

Como un caso de depresión y curvatura, las deformaciones transitorias fueron relacionadas con los espesores de adoquín y de base mediante técnicas de regresión múltiple.

El parámetro elegido para el estudio fue la deformación transitoria media, promediada con todos los números de repetición de carga y con el número de gatos hidráulicos. Las ecuaciones de regresión son:

a) para 600 Kpa (6.12 kg/cm²) de presión de contacto:

$$(5). - \text{Log}(\text{deformación transitoria}) = 2.325 - 0.702 \text{ Log}(\text{espesor de adoquín}) - 0.435 \text{ Log}(\text{espesor de base}).$$

con $r = 0.76$ para 2 y 4 grados de libertad.

b) para 900 Kpa (9.17 kg/cm²) de presión de contacto:

$$(6). - \text{Log}(\text{deformación transitoria}) = 3.129 - 1.375 \text{ Log}(\text{espesor de adoquín}) - 0.435 \text{ Log}(\text{espesor de base}).$$

con $r = 0.94$ para 2 y 3 grados de libertad.

Las relaciones dadas como ecuaciones 5 y 6 son graficadas en la figura V.15, y en la figura V.16 se muestra una comparación entre los valores observados y los predichos para la deformación transitoria.

En la figura V.15 puede verse que la deformación elástica transitoria disminuye en forma no lineal con el aumento del espesor de la base o del adoquín, o con una reducción de la presión de contacto.

Como en el caso de las deformaciones permanentes, el funcionamiento del pavimento con la presión de 900 Kpa (9.17 kg/cm²) fue primariamente dependiente del espesor del adoquín, mientras que para 600Kpa (6.12

kg/cm²) ambos espesores, el de adoquín y de base, influyeron en el funcionamiento, aunque un cambio dado en el espesor de adoquín ejerció un cambio más significativo en la deformación, que un cambio en el espesor de la base.

En pavimentos flexibles las deformaciones elásticas transitorias provocan fracturas por fatiga en la superficie del asfalto.

En pavimentos de adoquín, que están atravesados por una cadena de juntas, los efectos de falla por fatiga son de poca importancia.

D) Distribución de esfuerzos.

Como muestra la figura V.5, las celdas de presión fueron colocadas dentro del pavimento para registrar la distribución de esfuerzos verticales. para la combinación particular de los espesores de adoquín y de base mostrados en la figura V.5, la manera en que los esfuerzos verticales variaron con la repetición de carga se muestra en la figura V.17.

El estudio de esa figura muestra que los esfuerzos dentro del pavimento bajo los adoquines de 60 mm fueron mayores que bajo los de 80 y 100 mm de espesor. Es interesante notar, sin embargo, que aunque un aumento del espesor de adoquín de 60 a 80 mm produce una reducción de esfuerzos en el sitio, un aumento de 80 a 100 mm solo produce un mejoramiento marginal.

Generalmente el tipo de respuesta mostrada en la figura V.17 fué la típica observada en la mayoría de los pavimentos experimentales.

La figura V.18 muestra los efectos del aumento en la presión de contacto para una combinación típica de espesores de adoquín y de base. De los varios esfuerzos medidos, los de la cara de contacto de la subrasante y la base son de más importancia ingenieril porque una de las funciones principales del pavimento es reducir esos esfuerzos. Fué posible relacionar esos esfuerzos con los espesores de adoquín y base del pavimento.

Las ecuaciones de regresión son:

a) para 600 Kpa (6.12 kg/cm²) de presión de contacto:

$$(7). - \text{Log (esfuerzo)} = 3.866 - 0.495 \text{ Log (espesor de adoquín)} - 0.517 \text{ Log (espesores de base).}$$

con $r = 0.93$ para 2 y 5 grados de libertad.

b) para 900 Kpa de presión de contacto:

$$(8). - \text{Log (esfuerzo)} = 5.540 - 0.924 \text{ Log (espesor de adoquín)} - 0.823 \text{ Log (espesor de base)}$$

con $r = 0.97$ para 2 y 3 grados de libertad.

Esas ecuaciones son graficadas en la figura V.19 y una comparación entre los valores de los esfuerzos predichos por la ecuación y los datos obtenidos experimentalmente se muestra en la figura V.20.

De la figura V.19 puede verse que para ambas presiones de contacto estudiadas, los esfuerzos en la cara entre la subrasante y la base dependen de los espesores de adoquín y base.

Los datos de las celdas de presión mostradas en la figura V.5 pro-

veen además, valores sobre el funcionamiento del pavimento de adoquines. Como muestra la figura V.17, los esfuerzos dentro del pavimento tienden a disminuir con un incremento del número de Travesías de la rueda simulada, esto demuestra que los adoquines tienden a apretarse progresivamente bajo tráfico.

Esto es compatible con el funcionamiento de la depresión descrita anteriormente. Con respecto a ello es de interés estudiar el patrón de la variación de esfuerzos inmediatamente bajo los adoquines de 60 y 100 mm de espesor; como se muestra en la figura V.21 los esfuerzos bajo los adoquines de 100 mm disminuyeron de cerca de 370 Kpa a aproximadamente 220 Kpa como resultado de una carga progresiva, mientras que los esfuerzos bajo los adoquines de 60 mm permanecieron constantes de cerca de 350 Kpa. Esto sugiere que los adoquines de 60 mm no desarrollaron mucha trabazón como los adoquines de 100 mm. Ocurrió una escasa reducción en los esfuerzos en el fondo de la cama de arena como resultado de las repeticiones de carga.

Efectos del espesor de la cama de arena.

En la conclusión de la prueba de cada pavimento, la superficie de la base fué examinada para determinar si alguna depresión significativa ocurrió. Excepto después de las pruebas iniciales, usando los pavimentos mostrados en la figura V.5, no fué posible detectar alguna depresión significativa en la base que pudiera informar del desa-

rollo de deformaciones superficiales a lo largo de la trayectoria de la rueda simulada. Por otra parte, se decidió examinar si el efecto de reducir la cama de arena sería benéfico al funcionamiento del pavimento. Para realizar esto, la prueba de los adoquines de 80 mm sobre arena suelta de 50 mm de espesor y 100 mm de espesor de base fué copiada con un espesor de arena suelta reducido a 30 mm. Los resultados del experimento son mostrados en la figura V.21 y revelan que hubo una reducción en la profundidad de la depresión consecuente de la reducción de la cama de arena.

Por consiguiente se concluye que las deformaciones en la superficie ocurren como resultado de la densificación y flujo de la cama de arena.

Por contraste, las deformaciones transitorias fueron poco afectadas y fluctuaron entre 0.75 y 1.0 mm independientemente de la repetición de carga.

Efectos de la forma del adoquín.

En todas las pruebas descritas anteriormente se utilizó adoquín tipo Unipave, mostrado en la figura V.3.a. Se decidió examinar si la forma del adoquín alteraba el funcionamiento. Para ello se comparó el comportamiento tenido al utilizar las formas mostradas en las figuras V.3.b,c y d, con idénticos espesores de adoquín y espesores similares de base. En todas las pruebas se utilizó la presión de 600 Kpa (6.12 kg/cm²). Los resultados de esa comparación son resumidos en el caso de depresiones en la figura V.22. De esa figura se puede ver

que fué pequeña la diferencia de cada uno de los tamaños del tipo Unipave, o entre el tipo Pavelock y las formas Unipave. Sin embargo, el funcionamiento de la forma rectangular Trupave fué notablemente inferior a los adoquines Unipave. No únicamente el pavimento de adoquines rectangulares exhibió gran deformación a iguales espesores, que los otros tipos, sino también varios adoquines fueron fracturados durante la prueba. En cambio, ningún adoquín de trabazón se fracturó bajo repetición de carga. Por lo tanto se puede concluir que la forma del adoquín fué de importancia mínima en el caso de adoquines de trabazón.

Profundidad de la muestra (mm)	Tipo I (100 mm)		Tipo II (80 mm)		Tipo III (60 mm)	
	C. H. %	D. V gr/cm ³	C. H %	D V gr/cm ³	C H %	D V. gr/cm ³
450*	8.21	1.90	8.30	1.96	8.52	2.01
	7.92	1.84	7.90	1.91	8.34	2.01
360	6.47	1.67	6.49	1.67	6.96	1.72
270	7.51	1.72	7.32	1.68	7.45	1.70
210	-	-	8.06	1.68	7.89	1.66
			7.91	1.66		
170	-	-	-	-	7.53	1.72
					7.40	1.70
Promedios totales:	C. H. para subrasante existente		8.1			
	D. V. para subrasante existente		1.93			
	C. H. para subrasante reciente		7.36			
	D. V. para subrasante reciente		1.68			
Desviación estandar	C. H. (existente)		0.245			
	D. V. (existente)		0.067			
	C. H. (reciente)		0.533			
	D. V. (reciente)		0.024			

*Subrasante existente.

Tabla V. 1. Resultados de la compactación sobre el suelo de la subrasante.

C. H. contenido de humedad.

D. V. densidad volumétrica.

Profundidad de la muestra (mm)	Tipo I (100 mm)		Tipo II (80 mm)		Tipo III (60 mm)	
	C.H. %	D. V. gr/cm ³	C.H. %	D. V. gr/cm ³	C.H. %	D. V. gr/cm ³
210	4.20	2.43	-	-	-	-
170	4.00	2.43	4.51	2.42	-	-
110	5.1	2.40	4.70	2.41	4.58	2.43
Promedios totales:	C.H. 4.51 D.V. 2.42					
Desviación estandar:	C.H. 0.387 D.V. 0.013					

Tabla V. 2. Resultados de la compactación de la base de Dolerita.

C. H. contenido de humedad.

D. V. densidad volumétrica.

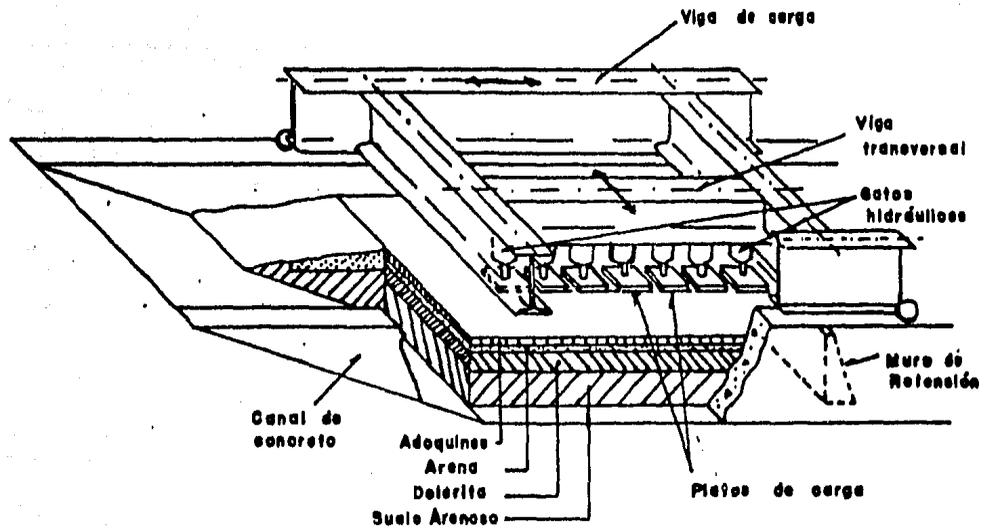


Fig. V. 1. — Disposición esquemática del simulador de caminos.

		ESPESOR DE BASE mm		
		60	100	160
ESPESOR DE ADOQUIN mm	100	X	X	X
		O	O	O
	80	X	X	X
		O	O	O
	60	X	X	X

Presión de contacto:

X - 6.00 kpa (6.12 kg/cm²)

O - 9.00 kpa (9.17 kg/cm²)

Fig. V.2. - Diseño del experimento principal.

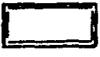
Forma del adocuin	dimensi3n aprox. (mm)	espesores probados(mm)	No. adoqs./m ² aprox.
 Unipave	a) 220 x 110	60 80 100	40
	b) 176 x 88	80	50
 Trupave	c) 220 x 110	60	40
 Pavelosh	d) 200 x 100	80	50

Fig. V.3. - Detalles de los adoquines usados en el trabajo experimental.

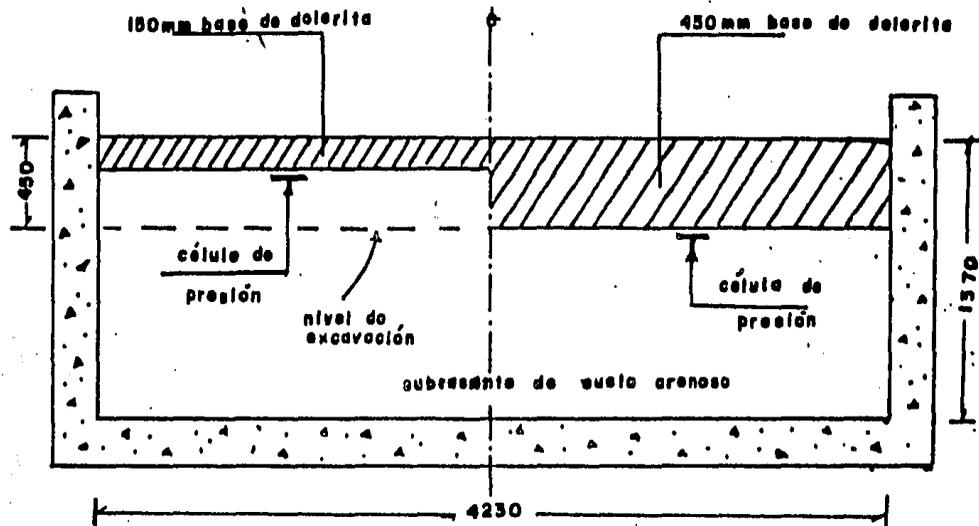


Fig. V.4. Corte de la sección transversal del pavimento original.

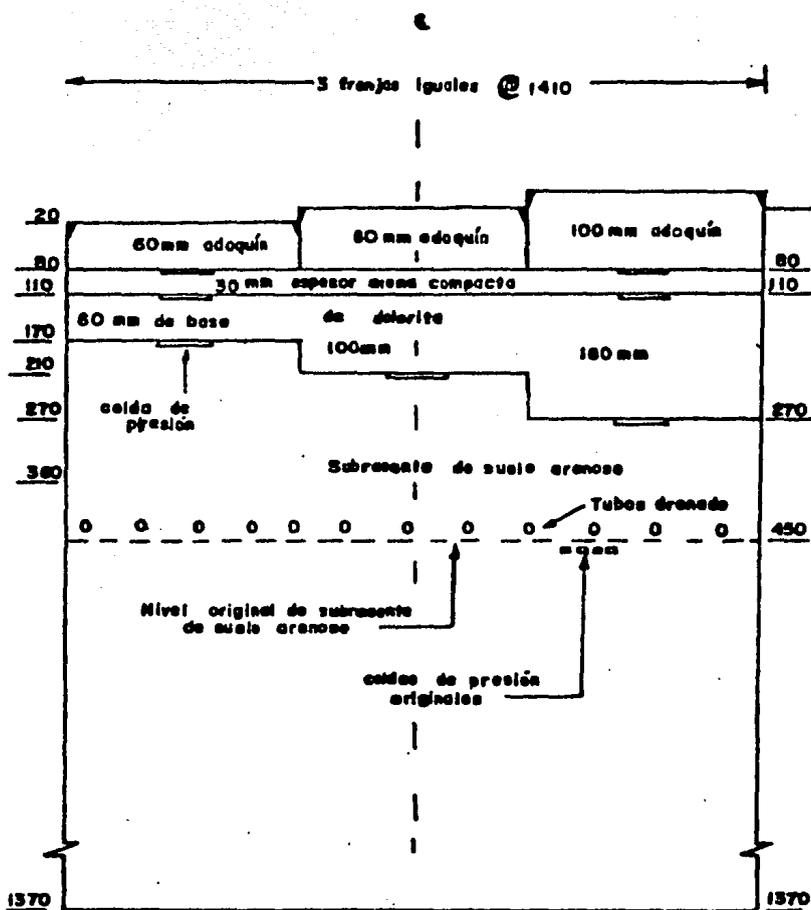


Fig. V.5.-Corte seccional del pavimento de experimentación.

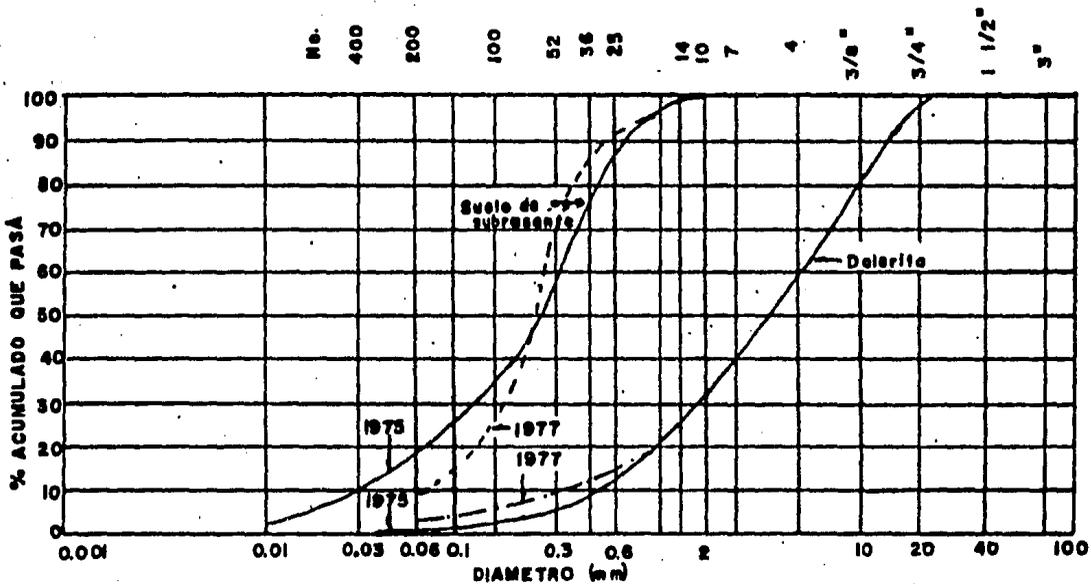


Fig. V6. Curvas de distribución del tamaño de las partículas de los materiales del pavimento.

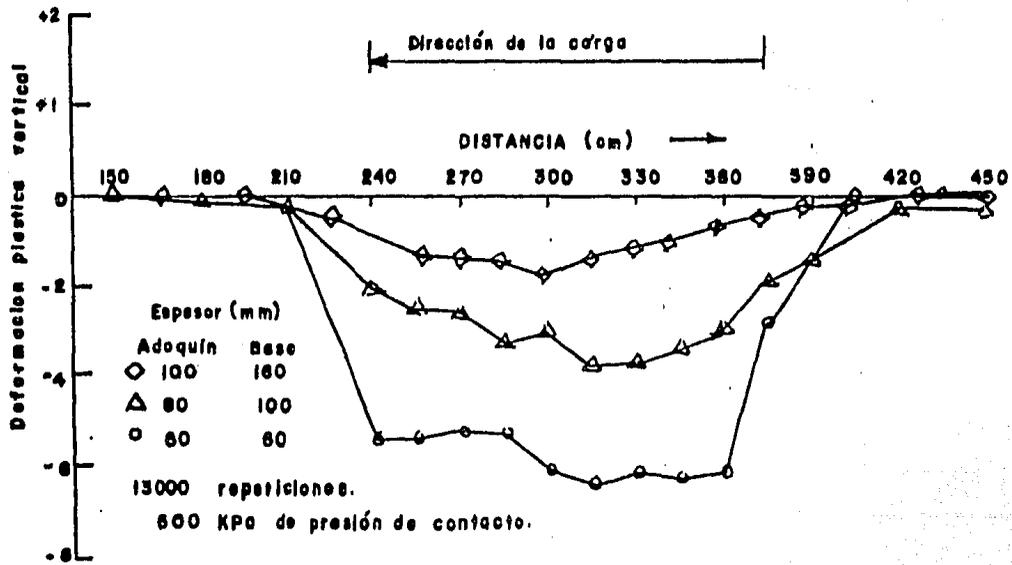


Fig. V.7. Perfiles de depresión longitudinal.

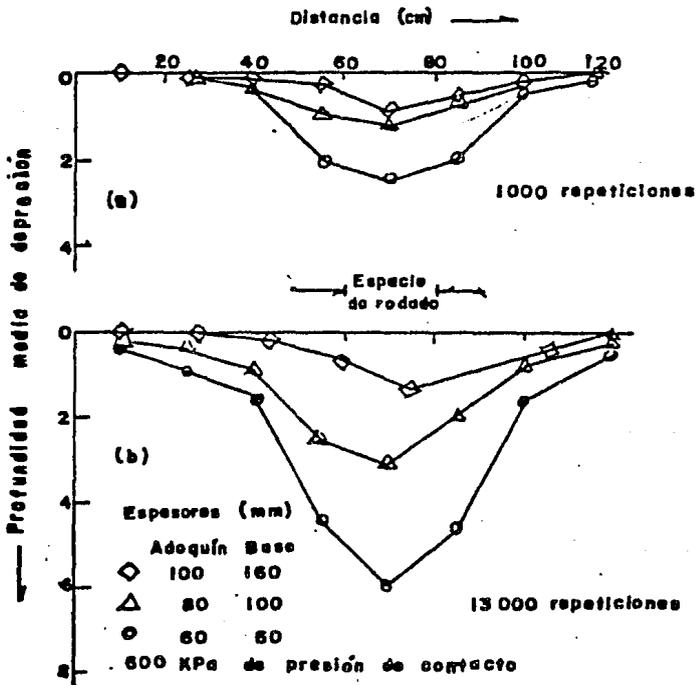
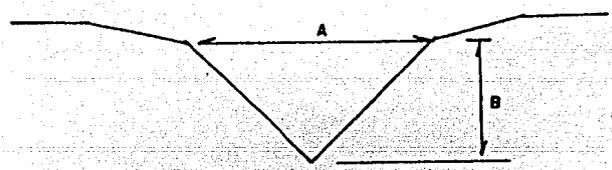


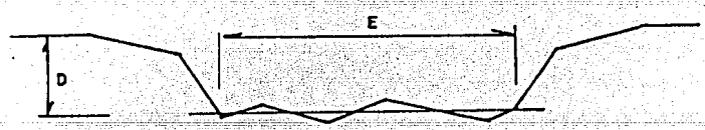
Fig. V. 8. - Perfiles típico de deformación transversal.

DEPRESION CARÁCTERÍSTICA



Radio de curvatura = $\frac{A}{B}$

SECCION TRANSVERSAL (a)



Profundidad media de depresión = $\frac{D \text{ promedio}}{\text{distancia E}}$

SECCION LONGITUDINAL (b)

Fig. V.9. Definición de parámetros de depresión.

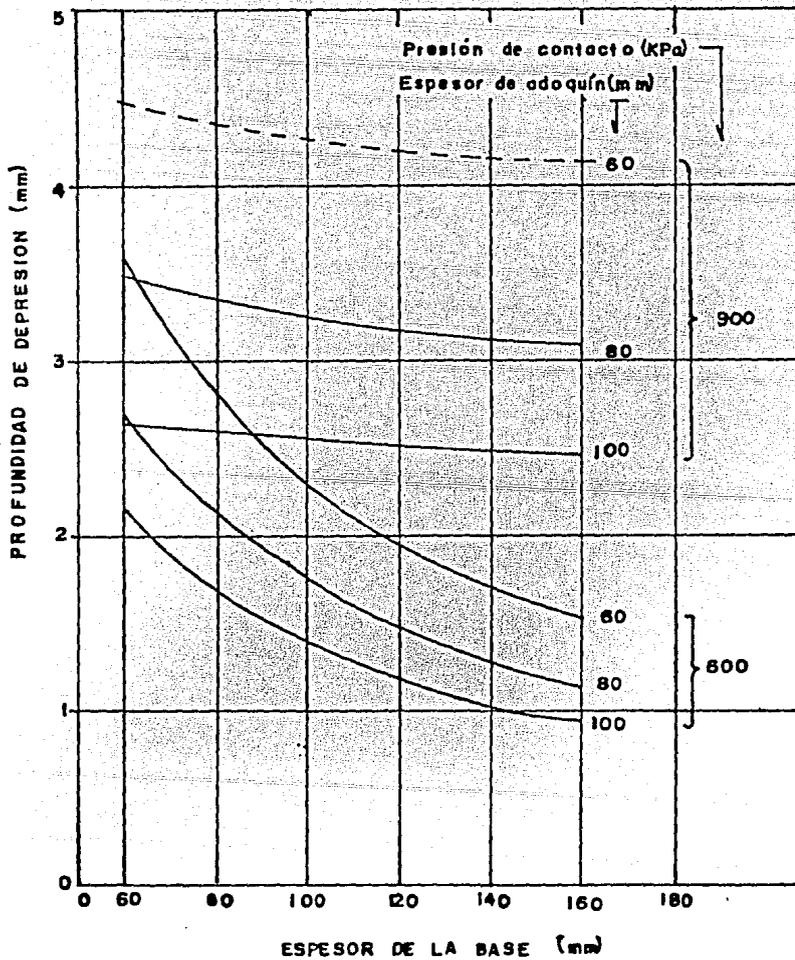


Fig. V.10. - Efectos del espesor de adoquín y de base en la profundidad de depresión.

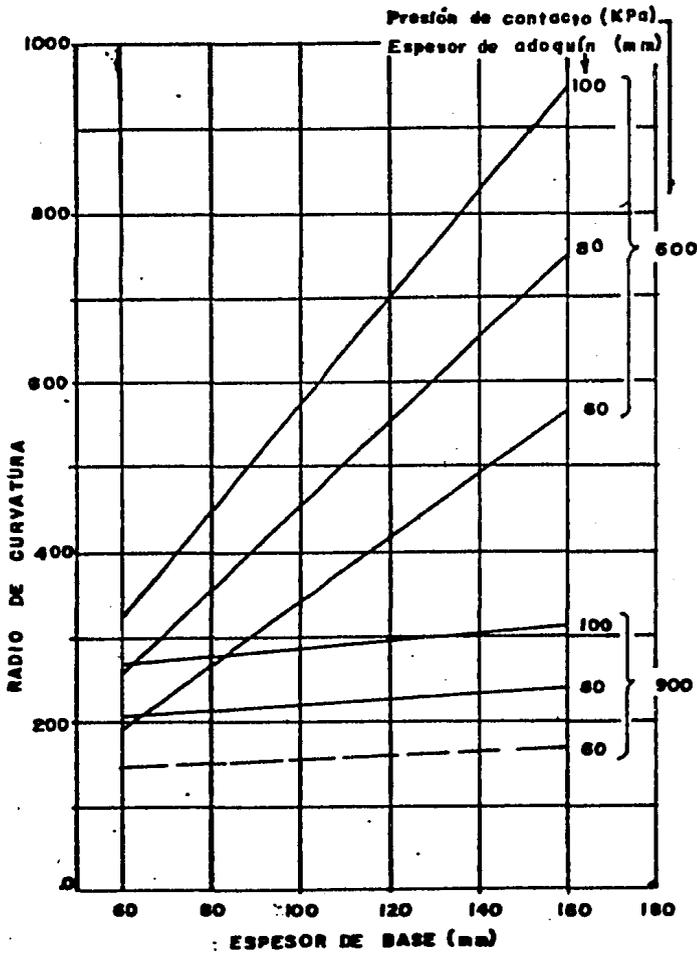


Fig. V.11. Efectos de los espesores de adoquín y base sobre el radio medio de curvatura.

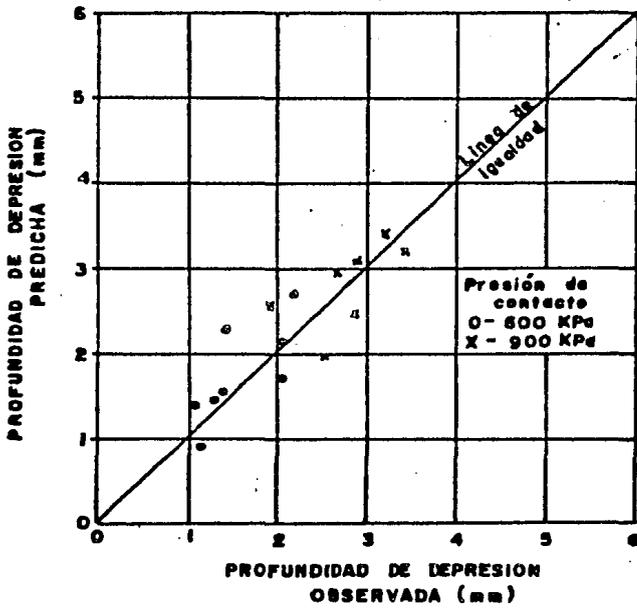


Fig. V.12. Comparación de la profundidad media de depresión medida con la predicha por los modelos de regresión.

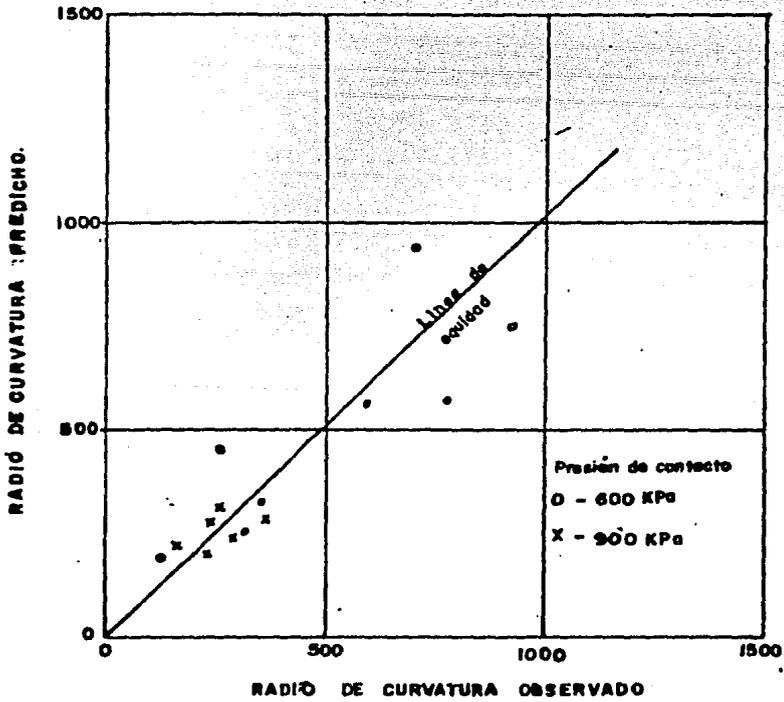


Fig. V.13. Comparación de los radios de curvatura medidos con los predichos por los modelos de regresión.

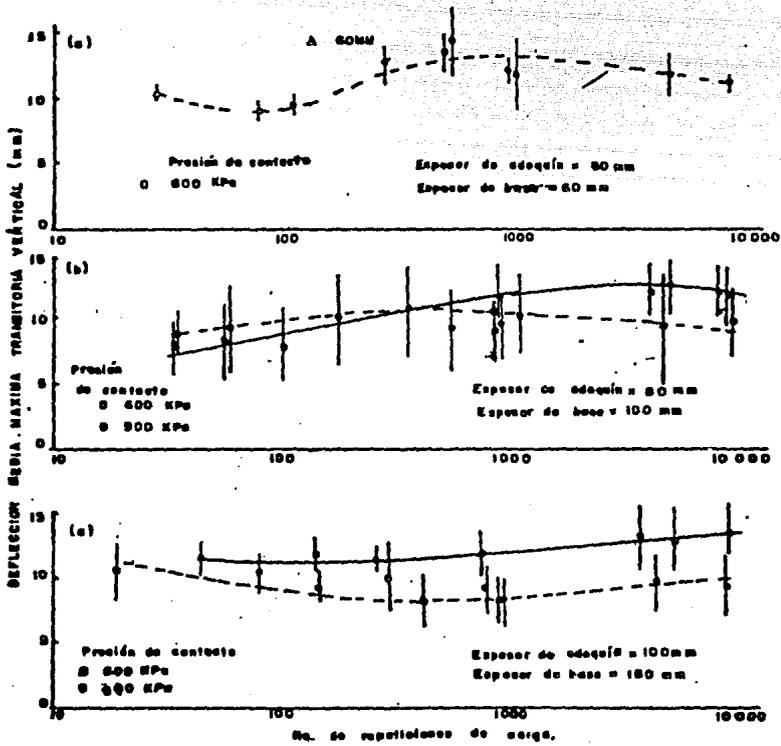


Fig. V.14. Variaciones típicas en la deformación transitoria con repetición de cargas.

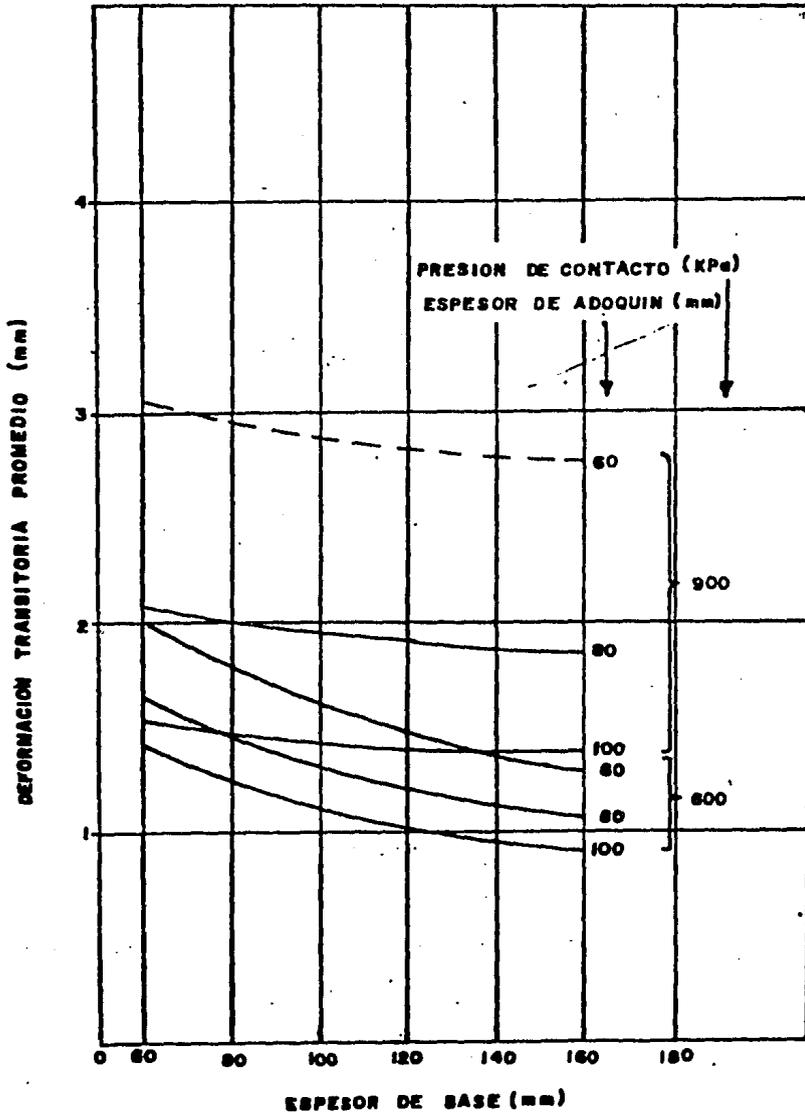


Fig. V15. Efectos del espesor de base y adoquín en las deformaciones transitorias.

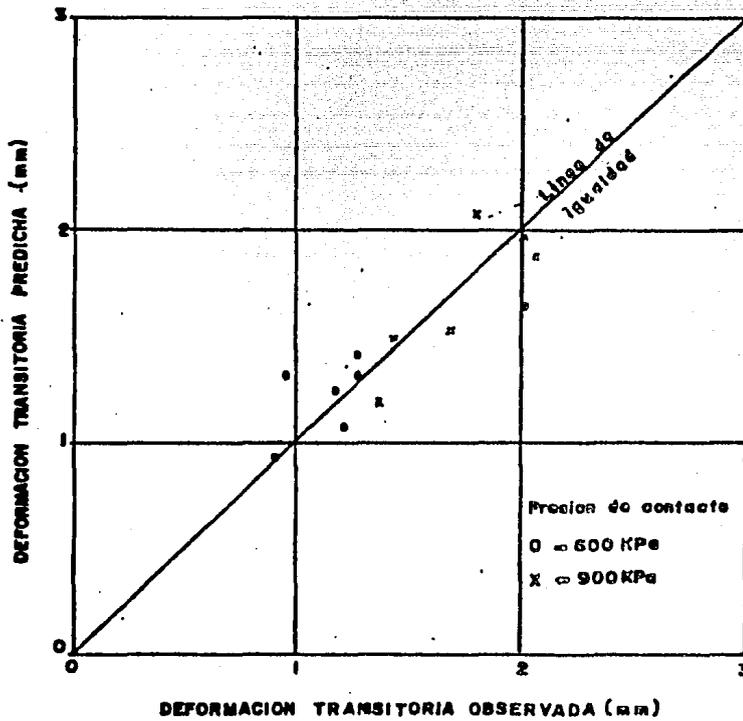


Fig. V.16. Competencia de las deformaciones transitorias observadas con las deformaciones predichas por los modelos de regresión.

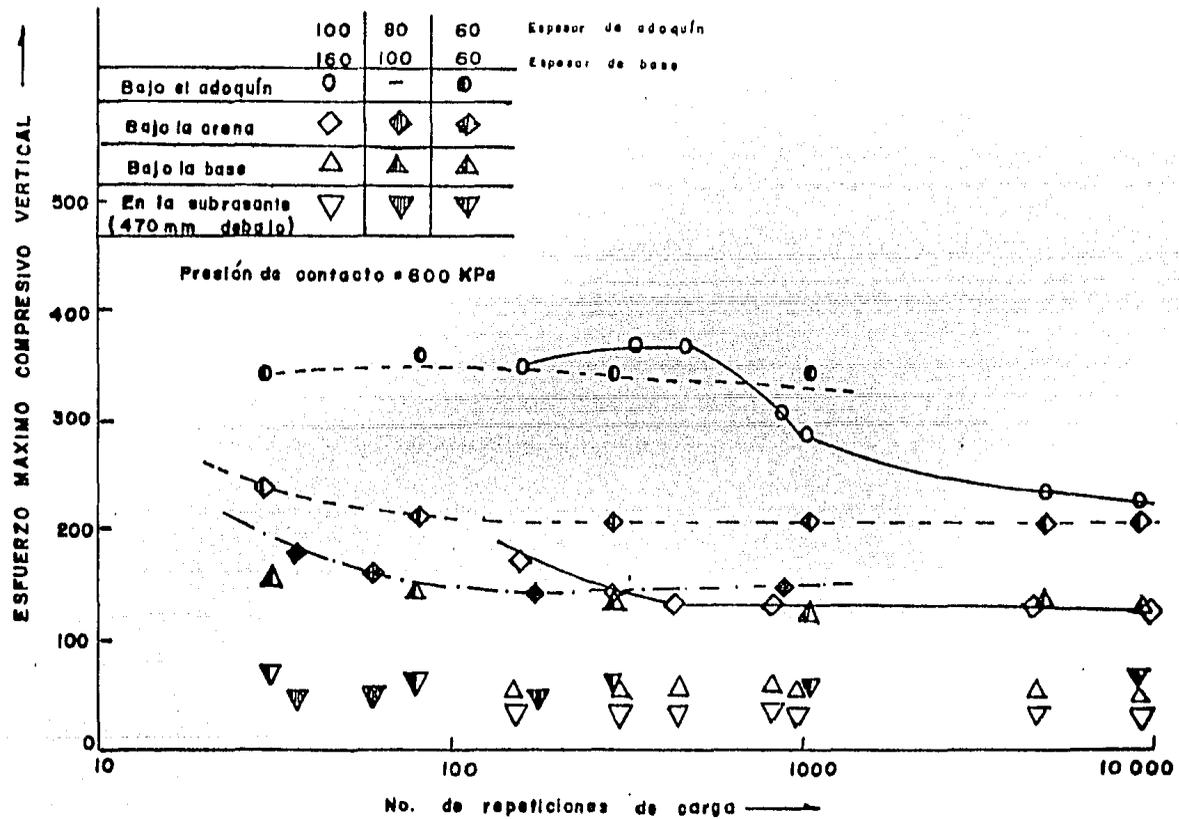


Fig.V.17. Efectos de las repeticiones de carga sobre la distribución de esfuerzos en el pavimento.

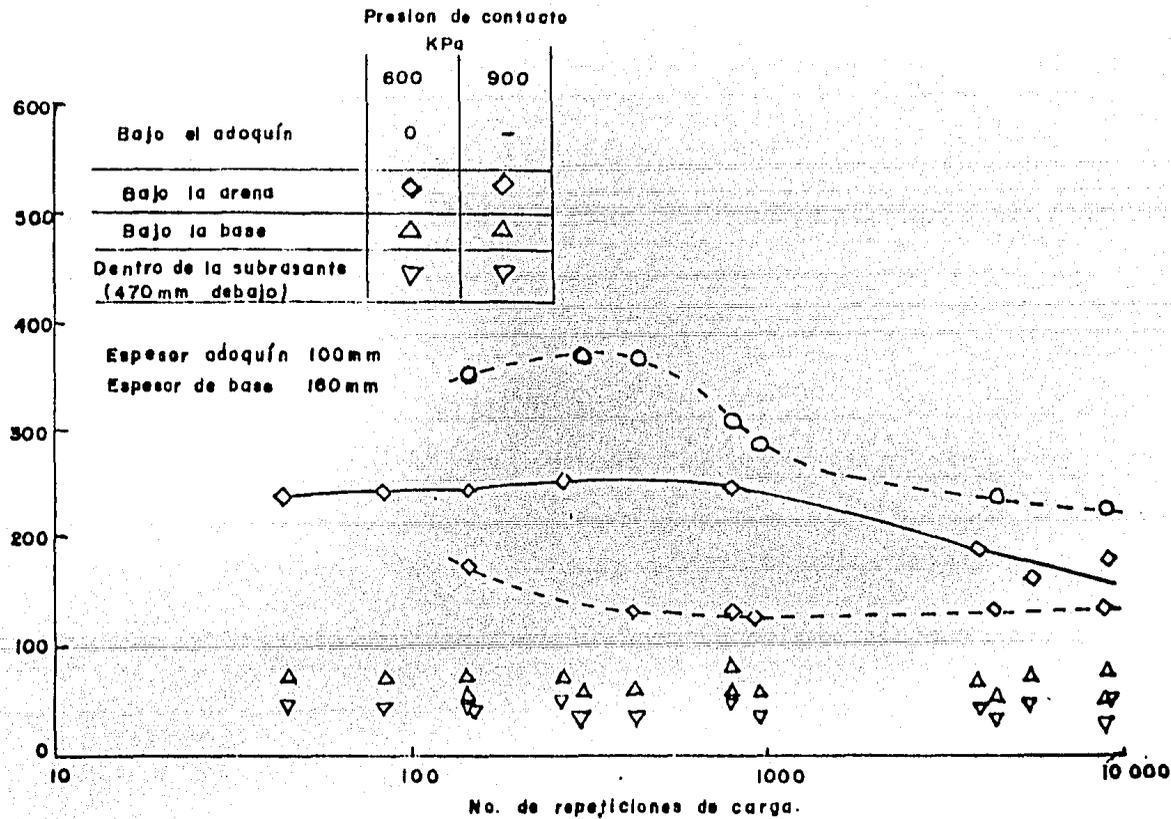


Fig. V. 18. Efectos del aumento de la presión de contacto en la distribución de esfuerzos en el pavimento.

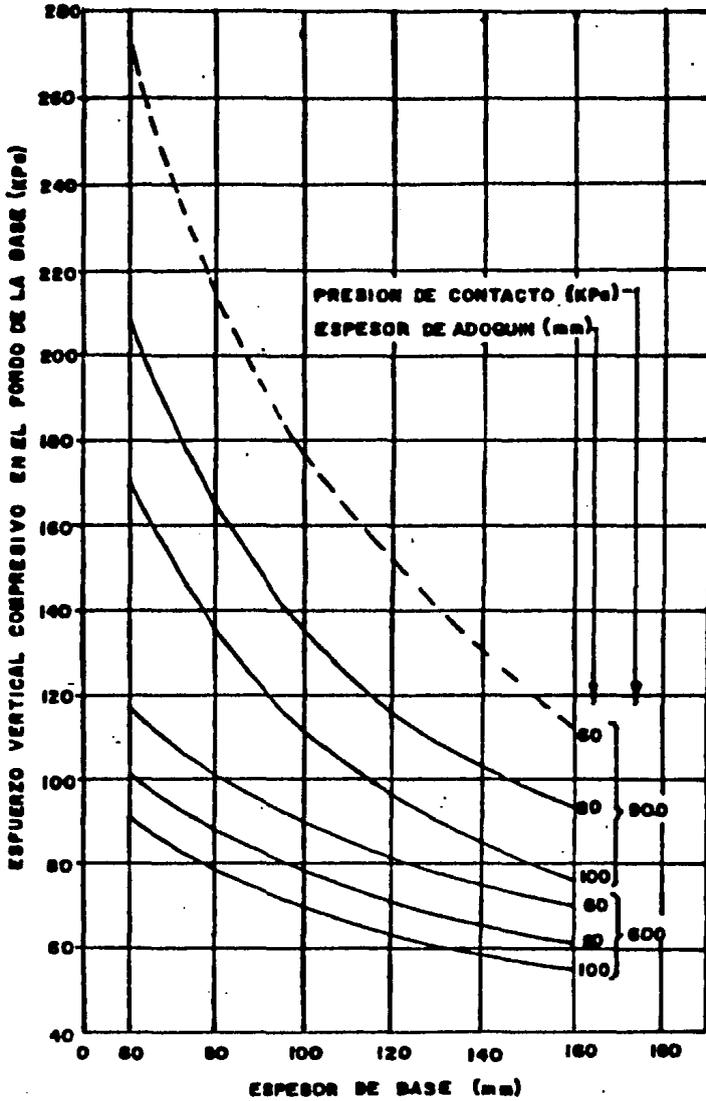


Fig. V.19. Efectos de los espesores de adoquín y base sobre los esfuerzos verticales en la entrecara de la base y la subrasante.

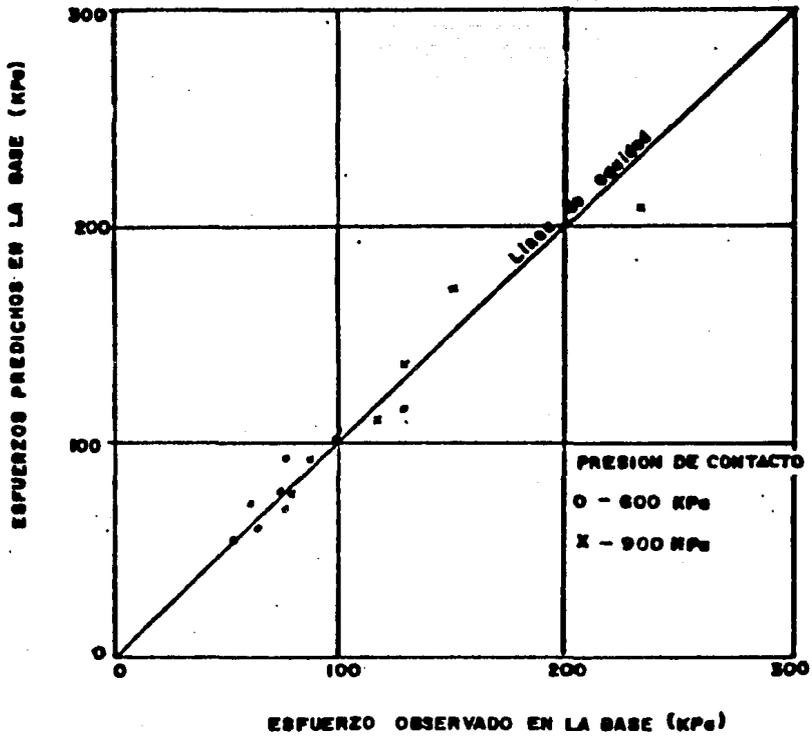


Fig. V.20. Comparación de los esfuerzos observados con los predichos por los modelos de regresión.

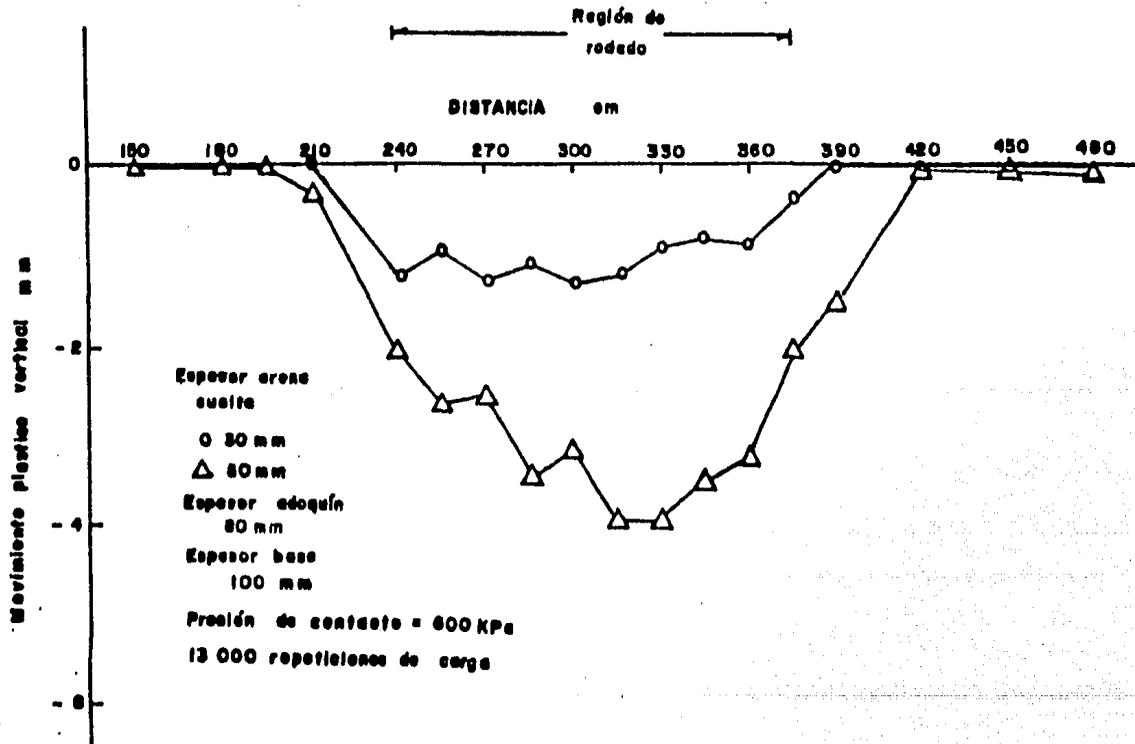


Fig. V. 21. Efectos del espesor de la cama de arena.

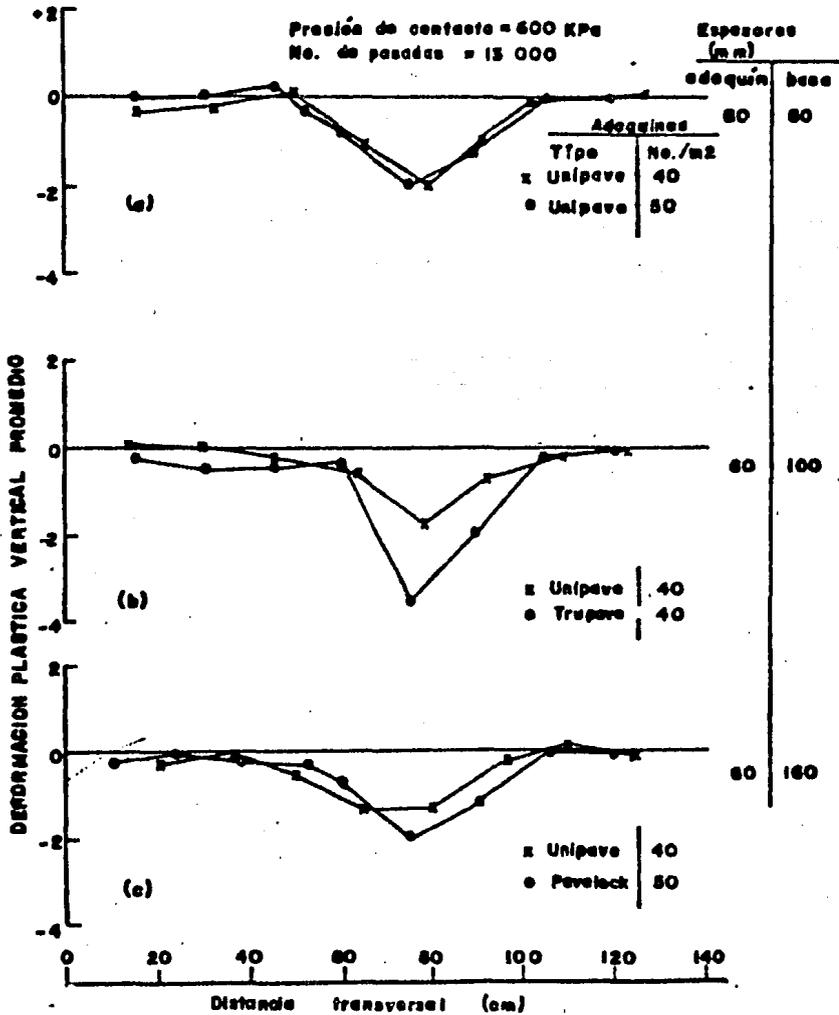


Fig. V. 22. Gráficas de comparación de las deformaciones sufridas en el modelo de prueba usando combinaciones de espesores de adoquín y base para 2 tipos de adoquín: Unipave y Pavelock.

VI .- DISEÑO DE PAVIMENTOS DE ADOQUIN DE CONCRETO

HIDRAULICO.

El método de diseño usado en México a la fecha es una adaptación del diseño de pavimentos flexibles, en el que se supone que la respuesta del pavimento de adoquines es cualitativamente similar al de un pavimento flexible y que consecuentemente no se impide el uso de procedimientos de diseño establecidos para dicho pavimento, sin embargo, esos procedimientos están basados en la necesidad implícita de evitar la fatiga fracturante de la superficie asfáltica como resultado de la excesiva deformación elástica en el pavimento. Un criterio así no tiene ingerencia en pavimentos segmentados, donde la superficie está ya seccionada por una cadena de juntas.

El estudio muestra que el pavimento de adoquines de "trabazón" puede exhibir deformaciones elásticas tan altas como 2 mm bajo tráfico sin mostrar fallas.

Una segunda proposición sostenida por los procedimientos de diseño de pavimentos flexibles es para que las acciones acumuladas durante su vida útil sean toleradas y así lograr alargar la vida del pavimento o para resistir un tráfico grande, deberá incrementarse el espesor de pavimento requerido. Por esta razón factores de aumento de tráfico son incorporados dentro del procedimiento de diseño de pavimentos flexibles. Sin embargo, del experimento descrito anteriormente, se encontró que el pavimento de adoquines tiende a cerrarse y adquirir

progresivamente un endurecimiento y que en muchos casos se logra una condición de equilibrio en un bajo número de repeticiones de carga. En tales circunstancias, es indebido aplicar el diseño de pavimentos flexibles a los de adoquín.

De los modelos matemáticos obtenidos anteriormente se desprende el procedimiento de diseño de pavimentos de adoquín de concreto hidráulico y que a continuación se describe en dos modalidades:

1. - Diseño para un nivel especificado de funcionamiento.

En pavimentos de adoquín, dos características son de importancia en su nivel de funcionamiento, éstas son:

- a) el grado de deformación permanente, y
- b) la proporción de la presión de contacto distribuida por el pavimento a la subrasante.

La deformación es de importancia porque afecta al drenaje del agua de la superficie del pavimento y a su cualidad de desalojo.

Por esta razón es necesario considerar la anchura y profundidad de las depresiones, por ello se introducen dos parámetros descriptivos del funcionamiento: la profundidad de depresión y la "curvatura". Normalmente se diseñará seleccionando primero los espesores de adoquín a usarse y el problema se reduce a la elección de un espesor de base que dará el nivel deseado de funcionamiento en el pavimento.

Usando las técnicas de regresión múltiple se establecieron los siguientes modelos matemáticos que relacionan los espesores de base, adoquín, grado de deformación y "curvatura".

a) para 600 kpa (6.12 kg/cm²) de presión de contacto:

$$\begin{aligned} \text{Log (espesor de base)} &= 3.477 - 0.69 \text{ Log (espesor de adoquín)} \\ &\quad - 0.669 \text{ Log (profundidad de depresión)} \dots\dots(9) \end{aligned}$$

con $r = 0.78$ para 2 y 6 grados de libertad.

$$\begin{aligned} \text{Log (espesor de base)} &= 4.304 - 2.204 \text{ Log (espesor de adoquín)} \\ &\quad - 0.805 \text{ Log (curvatura)} \dots\dots\dots(10) \end{aligned}$$

con $r = 0.82$ para 2 y 6 grados de libertad.

b) para 900 kpa (9.17 kg/cm²) de presión de contacto:

$$\begin{aligned} \text{Log (espesor de base)} &= 3.433 - 0.603 \text{ Log (espesor de adoquín)} \\ &\quad - 0.805 \text{ Log (curvatura)} \dots\dots\dots(11) \end{aligned}$$

con $r = 0.22$ para 2 y 3 grados de libertad, y

$$\begin{aligned} \text{Log (espesor de base)} &= 4.304 - 2.204 \text{ Log (espesor de adoquín)} \\ &\quad - 0.805 \text{ Log (curvatura)} \dots\dots\dots(12) \end{aligned}$$

con $r = 0.59$ para 2 y 3 grados de libertad.

Para propósitos de diseño, una vez que un nivel aceptable de funcionamiento en términos de profundidad de deformación o "curvatura" ha sido designado, las ecuaciones 9 a 12 pueden ser resueltas determinando el espesor de base necesitada bajo algún espesor de adoquín seleccionado (colocado sobre 30 mm de espesor de cama de arena). Sin embargo, es más conveniente presentar las ecuaciones 9 a 12 como nomogramas, que se presentan en las figuras VI.1 y VI.2 para una variedad de profundidades de depresión y curvaturas.

El uso de esos nomogramas consiste en entrar con el espesor de

adoquín apropiado, procediendo con el nivel deseado de funcionamiento (respecto a la profundidad de depresión y a la curvatura) y leemos de salida el correspondiente espesor de base equivalente requerida.

El espesor de base equivalente determinado de las figuras VI.1 y VI.2 es el espesor de base necesitado sobre una subrasante con un C. B. R. (V. R. S. valor relativo de soporte) igual o mayor que el usado durante el trabajo experimental en cualquiera de las ecuaciones 9 a 12 usadas. La subrasante dicha tiene un valor de C. B. R. aproximado a 66 %. Para valores de C. B. R. menores es necesario aumentar el espesor de base. Esto puede ser conveniente realizarlo por determinación de series de factores multiplicantes que aumenten el espesor de base tanto como disminuya el C. B. R.

Como parte del estudio experimental de pavimentos de adoquín descrito anteriormente, el esfuerzo compresivo vertical en la entrecara de la arena y la base fué medido, resultando que ese esfuerzo es independiente del espesor de la base y dependiente del espesor de los adoquines y de la arena colocada. Consecuentemente, cuando los efectos de variación del C. B. R. de la subrasante están considerados, es necesario únicamente aumentar el espesor de la base pues los espesores de adoquín y arena no necesitan alterarse.

Hay relaciones bien establecidas entre el C. B. R. de la subrasante y el material a cubrirla.

Un estudio de semejantes relaciones muestra que los aumentos en

C. B. R. más allá del 50% dan relaciones poco significantes en el espesor de pavimento. Por consiguiente, las relaciones entre C. B. R. y espesores pueden ser empleadas como una serie de factores con que los espesores con un C. B. R. de 50% o menor deben ser multiplicados a fin de producir el espesor necesario de cubrimiento.

La gráfica VI. 3 muestra la relación de los valores de C. B. R. con los factores correspondientes. Así, para propósitos de diseño, el espesor de base de grava equivalente determinado de las figuras VI. 1 o VI. 2, puede ser adoptado como un espesor de diseño cuando el C. B. R. es mayor que 50 %. Si el C. B. R. de la subrasante es menor de 50%, el espesor de diseño será el producto del espesor dado por las figuras VI. 1 o VI. 2 y el factor apropiado de la figura VI. 3.

Un estudio de las figuras VI. 1 y VI. 2 revela que para una presión de contacto de 600 kpa (6.12 kg/cm²), un nivel constante de funcionamiento expresado como profundidad de depresión puede ser aproximado por un nivel casi constante de curvatura. Así, para vehículos sobre caminos normales, no es necesario emplear ambos nomogramas. Cada uno será suficiente para lo propio, sin embargo, en la presión de contacto alta de 900 kpa (9.17 kg/cm²) es fundamental que la necesidad de lograr un nivel constante de funcionamiento no satisficará los requerimientos de mantener la curvatura constante y el diseño para que una combinación de espesores de adoquín y base pueda ser elegida.

Aunque las figuras VI. 1 y VI. 2 permiten un diseño ingenieril de un pavimento sujeto a requerimientos particulares, es útil considerar los límites

de funcionamiento que sean satisfactorios con respecto a la curvatura y la depresión. En el caso de curvatura, una deformación límite del orden de 10 mm bajo tramos rectos de 2m es recomendable.

Esto corresponde a una curvatura de 200. Sin embargo, algunas autoridades de caminos consideran que valores de curvatura bajos como 100 son satisfactorios.

En el caso de profundidades de depresión, se han aceptado variaciones de 10 mm en caminos libres a 20 mm en caminos rurales de tráfico lento. Sin embargo, un valor límite cercano a 5 mm es más apropiado para propósitos de diseño.

Aunque una presión de 600 kpa (6.12 kg/cm²) es apropiada para la mayoría de los problemas de diseño de caminos y que un valor de 900 kpa (9.17 kg/cm²) es más severo que la carga impuesta por la mayoría de vehículos pesados, los modelos dados como ecuaciones 9 a 12 no permiten diseñar para presiones específicas. Por esta razón, el dato experimental fue conducido a facilitar la producción de ecuaciones de diseño incorporando la presión de contacto como una variable independiente, estas ecuaciones son:

$$\begin{aligned} \text{Log (espesor de base)} = & 0.597 \text{ Log (curvatura)} - 0.613 \text{ Log (espesor} \\ & \text{de adoquín)} + 1.034 \text{ Log (presión de contacto)} \\ & - 1.296 \dots\dots\dots (13) \end{aligned}$$

con $r = 0.66$ para 3 y 11 grados de libertad, y

$$\begin{aligned} \text{Log (espesor de base)} = & 0.614 - 0.686 \text{ Log (espesor de adoquín)} \\ & - 0.692 \text{ Log (profundidad de depresión)} \end{aligned}$$

$$+ 1.027 \text{ Log (presión de contacto) } \dots \dots \dots (14)$$

con $r = 0.62$ para 3 y 11 grados de libertad.

En algunas circunstancias un diseñador puede desear seleccionar un espesor de pavimento que reducirá los esfuerzos actuantes en la subrasante a algún valor tolerable especificado.

De un análisis de los datos experimentales, los siguientes modelos de regresión fueron seleccionados para presentar las relaciones entre el espesor de la base y del adoquín, y el esfuerzo de la subrasante.

a) para 600 kpa (6.12 kg/cm²):

$$\text{Log (espesor de base)} = 6.612 - 0.807 \text{ Log (espesor de adoquín)} \\ - 1.63 \text{ Log (esfuerzo) } \dots \dots \dots (15)$$

con $r = 0.92$ para 3 y 5 grados de libertad.

b) para 900 kpa (9.17 kg/cm²):

$$\text{Log (espesor de base)} = 6.453 - 1.056 \text{ Log (espesor de adoquín)} \\ - 1.144 \text{ Log (esfuerzo) } \dots \dots \dots (16)$$

con $r = 0.97$ con 2 y 3 grados de libertad.

Las ecuaciones 15 y 16 son presentadas como nomogramas en la figura VI. 4 como en el caso del diseño basado en la depresión, los valores del espesor de base elegida de la figura VI. 4 necesitan ser corregidos por variaciones en el C.B.R. de la subrasante usando la figura VI. 3.

Las ecuaciones 15 y 16 pueden ser combinadas de la siguiente forma:

$$\text{Log (espesor de base)} = 1.842 + 0.41 \text{ Log (espesor de adoquín)}$$

$$- 0.729 \text{ Log (esfuerzo)} + 0.298 \text{ Log (presión de contacto)} \dots\dots\dots (17)$$

con $r = 0.82$ con 3 y 10 grados de libertad.

Deberá notarse que la distribución de esfuerzos dentro de un pavimento depende en parte del endurecimiento de la base y la subrasante.

Consecuentemente, las relaciones dadas como ecuaciones 15, 16 y 17, y graficadas en la figura VI. 4 producen únicamente una estimación preliminar del espesor del pavimento donde el endurecimiento de la base y la subrasante es sustancialmente diferente del asociado con el material particular usado en el trabajo experimental.

2. - Diseño para condiciones promedio.

Los procedimientos descritos en la sección precedente tienen la ventaja de dar al diseñador la oportunidad de encuadrar cada diseño a un determinado criterio elegido cuidadosamente. Sin embargo, en muchas circunstancias no es práctico definir el nivel de funcionamiento requerido de un pavimento, en esos casos el diseño debe estar basado en algún criterio conservador de diseño.

Un criterio de diseño sugerido se muestra en la tabla 1; usando ese criterio, un grupo de curvas han sido construidas para cada una de las aplicaciones de tráfico puestas en la tabla 1, usando los modelos mostrados en las figuras VI. 1, 2 y 3. Las curvas de diseño están dadas como figuras VI. 5, 6 y 7. Para usar estas curvas todo lo que se necesita es leer el espesor de la grava equivalente correspondiente a alguna combinación específica de C.B.R. de la subrasante y espesor de

adoquín. Dos suposiciones están implícitas: La primera es que los adoquines están colocados sobre una cama de arena teniendo un espesor compacto de 30 mm. La segunda suposición es que el material de base es grava equivalente de buena calidad.

Debido a la experiencia limitada del funcionamiento de pavimentos segmentados, bajo condiciones regionales, la selección del criterio de diseño como el expuesto en la tabla 1 debe necesariamente ser algo arbitrario. Es de interés, por lo tanto, comparar los espesores calculados de las figuras VI. 5, 6 o 7, con los espesores que se obtendrían por procedimientos de diseño existentes.

Los procedimientos elegidos para la comparación son: El método Sudafricano (Hume LTD 1972) y el Método Intermedio Australiano (Gruickshank, 1976). Para un espesor de adoquín de 80 mm la comparación está graficada en la figura VI. 8, y puede verse que la segunda modalidad del método de diseño resumida en las figuras VI. 5, 6 y 7 es generalmente conservativa cuando se compara con el procedimiento sudafricano o con el método intermedio australiano en el caso de subrasantes débiles. Por lo tanto, puede relajarse el criterio sugerido y expuesto en la tabla 1. Sin embargo, antes de hacer esto, sería prudente hacer una evaluación a largo plazo del amplio número de pavimentos de adoquín, en condiciones de interperie.

A fin de determinar equivalencias entre el adoquín y el concreto asfáltico, un concreto asfáltico graduado y denso, de agregado máximo de 10 mm fue colocado en un espesor de 150 mm sobre una variedad de

bases probadas bajo los adoquines. Y se sometió a un programa de tráfico de carga simulada similar a la experimentada por pavimentos de adoquín. Por comparación de funcionamiento de ese concreto asfáltico sobre Dolerita y el de adoquín también sobre Dolerita probados anteriormente se pudieron establecer equivalencias con respecto a lo siguiente:

a) sobre la base de la profundidad de depresión:

10 mm de espesor de adoquín = 15 mm de esp. de concreto asfáltico.

b) sobre la base de la "curvatura" de depresión:

10 mm de espesor de adoquín = 11 mm de concreto asfáltico.

c) sobre la base del esfuerzo en la subrasante:

10 mm de espesor de adoquín = 14 mm de concreto asfáltico.

Así para propósitos de diseño sería razonable asumir que en sustitución de los materiales convencionales por adoquines, cada centímetro de espesor de adoquín sería equivalente a 1.3 cm de concreto asfáltico.

Aplicación:	Criterio de diseño:
Tráfico ligero (Calles residenciales)	Profundidad de depresión 6 mm Radio de curvatura 100 Presión de contacto 600 kpa
Tráfico ligero (arterias principales)	Profundidad de depresión 3 mm Radio de curvatura 200 Presión de contacto 600 kpa
Tráfico Industrial (Puertos)	Profundidad de depresión 3 mm Radio de curvatura 100 Presión de contacto 900 kpa

Tabla 1. Criterio de diseño sugerido para pavimentos de adoquines de trabazón de concreto hidráulico.

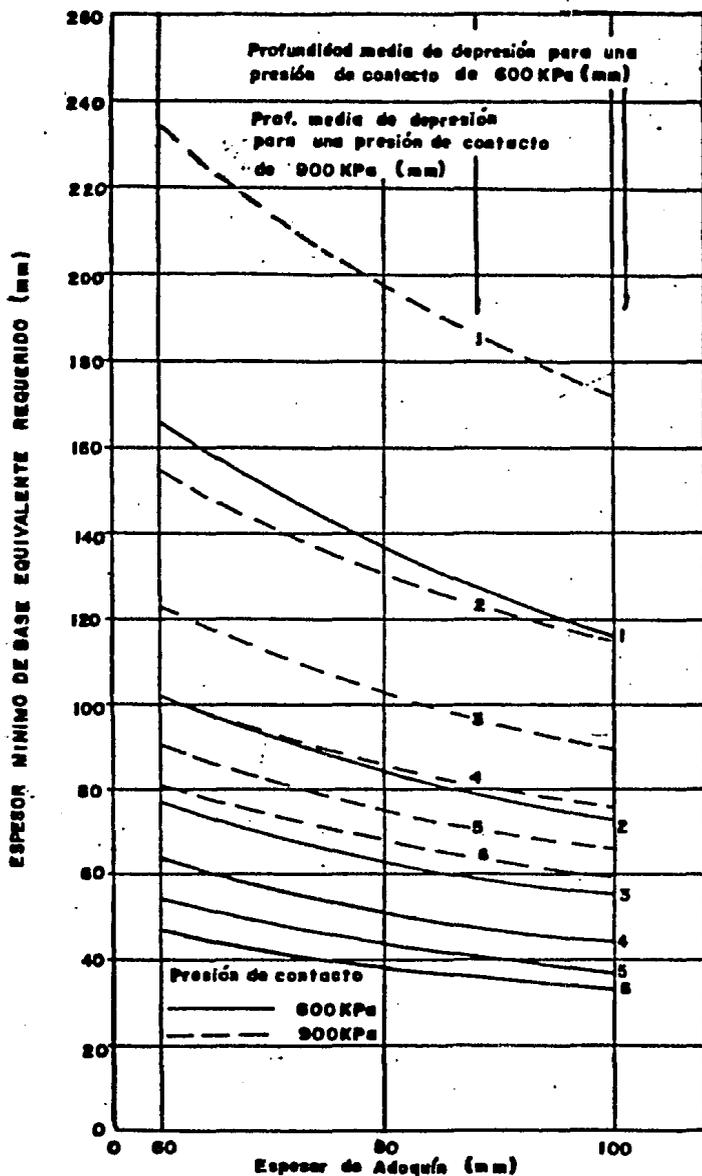


Fig. VI.1. Memograma para determinar el espesor de base para un espesor especificado de adoquín, dado un esfuerzo compresivo vertical.

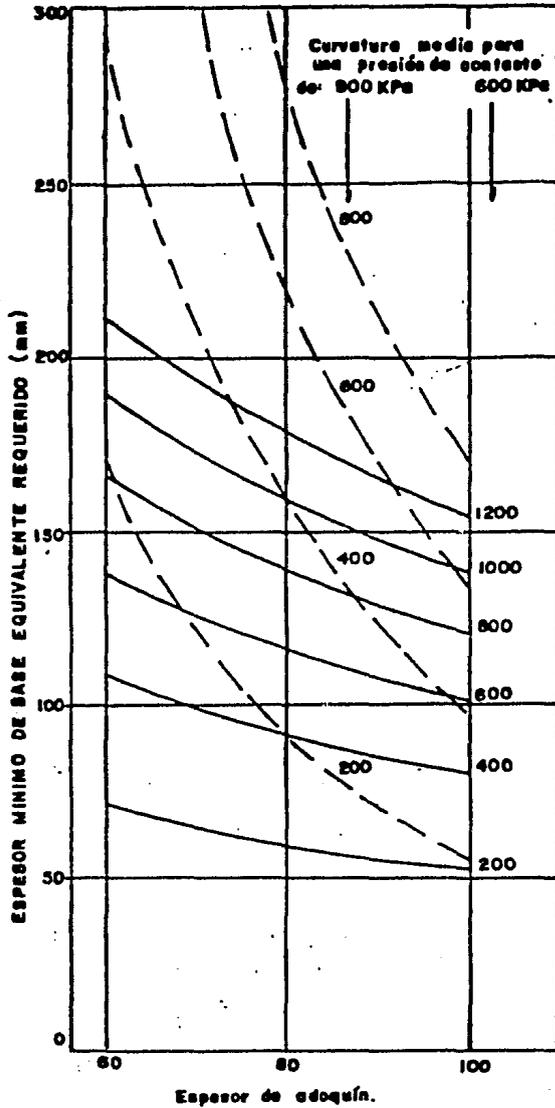


Fig. VI. 2. Nomograma para determinar el espesor de base dado un espesor de adoquín y la curvatura de la rodada.

FACTOR DE ESPESOR DE SUBRASANTE (F_s).

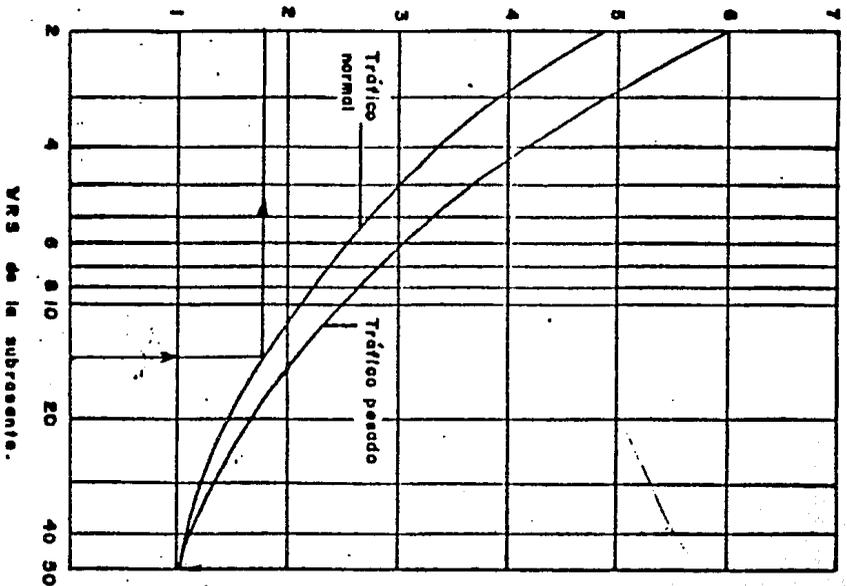


Fig. VI.3. Factores de corrección para el espesor de base.

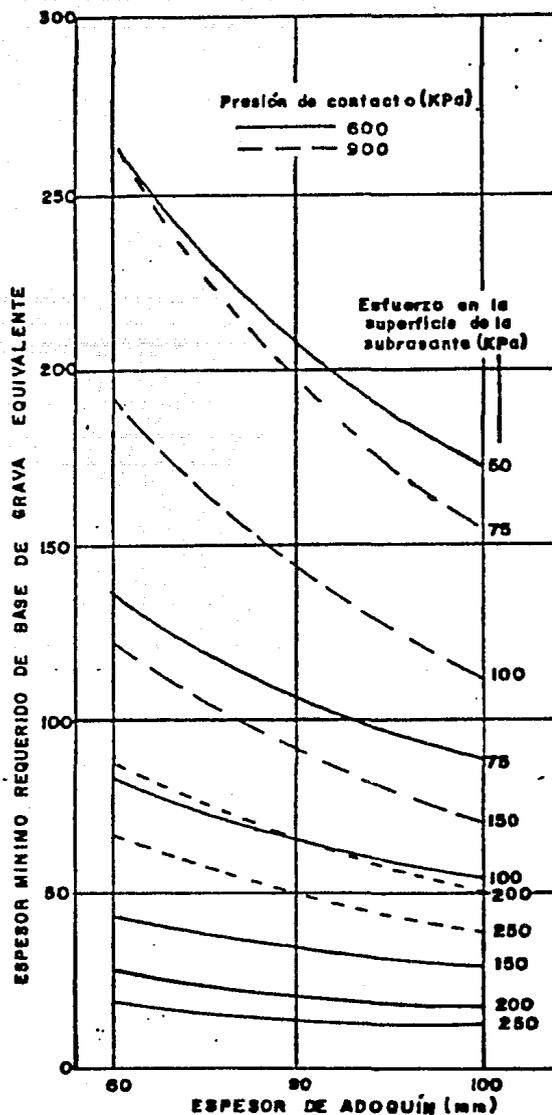


Fig. VI. 4. Nomograma para determinar el espesor de base para un espesor especificado de adoquín y un esfuerzo vertical dado.

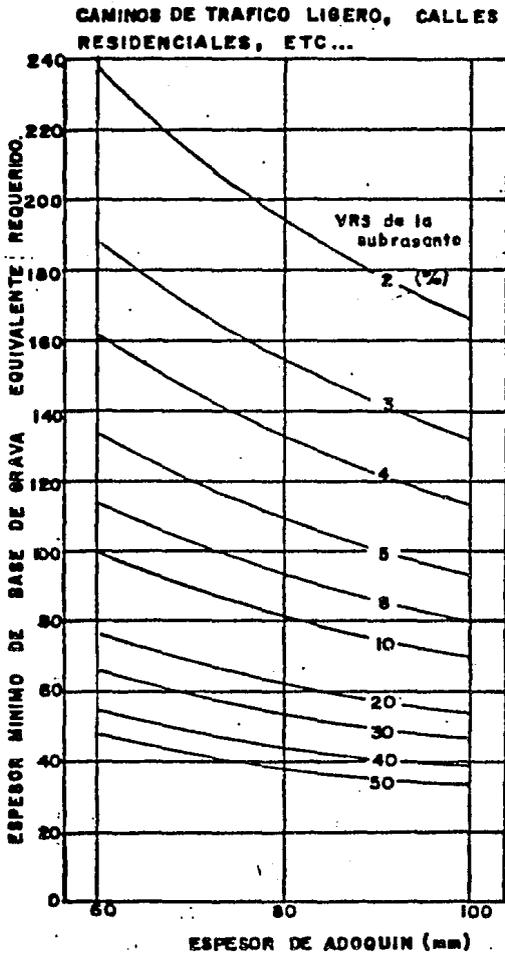


Fig. VI. 5. Curvas de diseño para tráfico ligero.

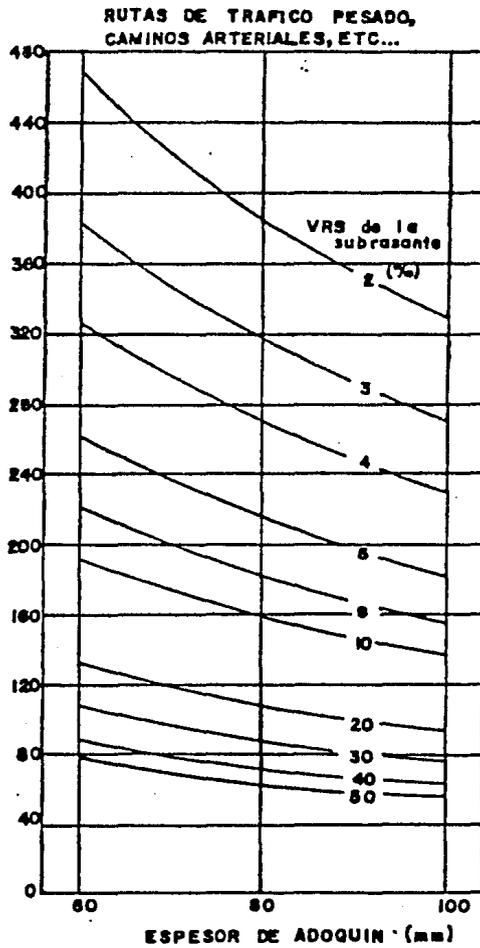


Fig. VI. 6. Curvas de diseño para tráfico pesado.

AREA INDUSTRIAL DE MANIOBRAS PESADAS, EMBARCADEROS, ETC...

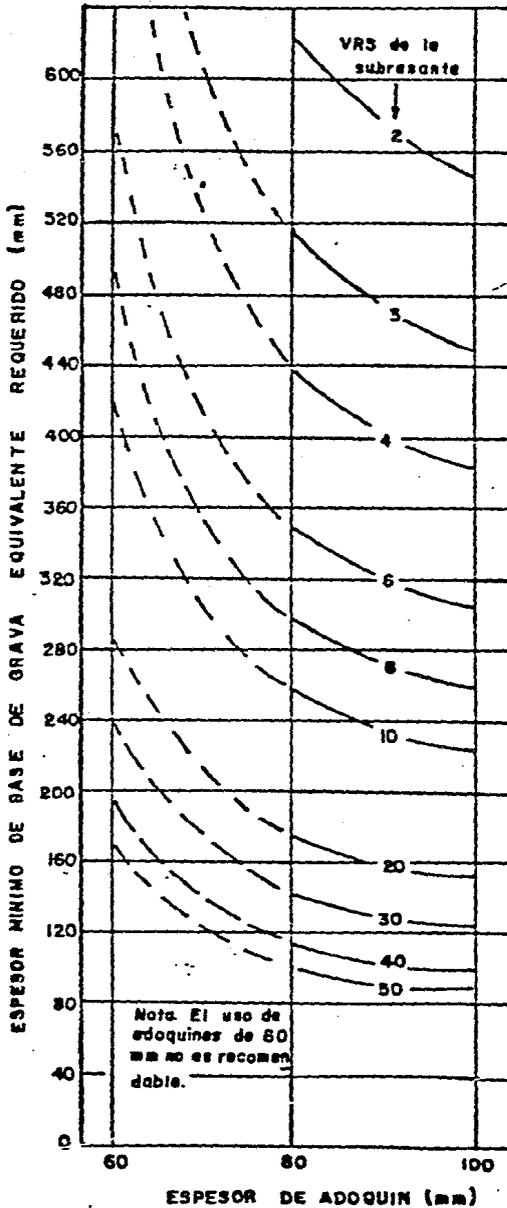


Fig. VI.7. Curvas de diseño para aplicación en pallas industriales de maniobras pesadas.

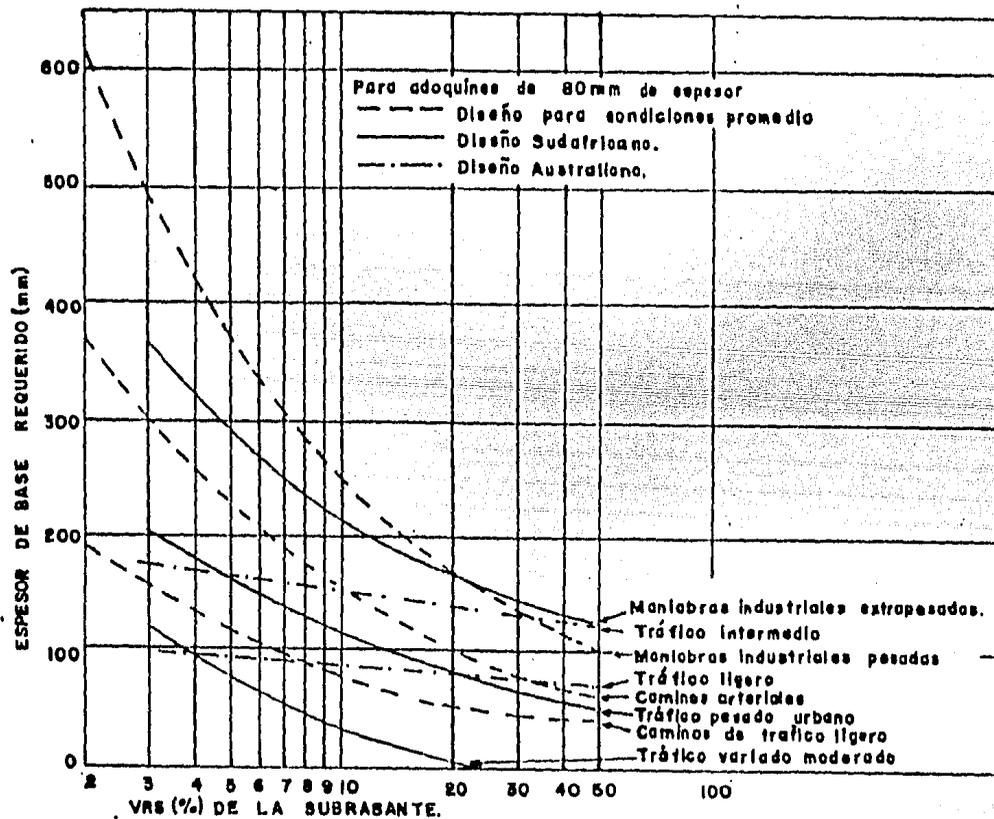


Fig. VI. 8. Comparación del método de diseño propuesto, con otros procedimientos existentes (80 mm de espesor de adoquín).

VII. - ESPECIFICACIONES.

A continuación presento las especificaciones vigentes generadas por la Dirección General de Normas:

Norma Oficial Mexicana NOM-C-314-1981. INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION. - PAVIMENTO. - ADOQUINES DE CONCRETO.

Prefacio:-

En la elaboración de la norma participaron las siguientes Empresas e Instituciones:

- BASALT, S. A.
- BLOQUES Y CELOSIAS, S. A.
- VIBRORECUBRIMIENTOS, S. A.
- AMPROBLOC, S. A.
- LABORATORIOS LIAC, S. A.
- INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO, A. C.
- SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS.
- DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL. - DIRECCION GENERAL DE OBRAS PUBLICAS. - LABORATORIO DE MATERIALES.
- CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DE TRANSFORMACION.
- COMITE CONSULTIVO NACIONAL DE NORMALIZACION DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION.

1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION.

Esta Norma Oficial establece los requisitos que deben cumplir los

adoquines de concreto con o sin coloración, utilizados en pavimentos para tráfico de peatones y vehículos, fabricados con agregados de masa ligera, normal o ambas y sistema de vibrocompresión o compactación por impacto.

2. REFERENCIAS.

Para la correcta aplicación de la presente Norma es indispensable consultar las siguientes Normas Oficiales Mexicanas vigentes.

- NOM-C-1 Industria de la Construcción. - Cemento Portland.
- NOM-C-2 Industria de la Construcción. - Cemento Portland Puzolana.
- NOM-C-8 Industria de la Construcción. - Mosaicos.
- NOM-C-75 Industria de la Construcción. - Agregados. - Determinación de la sanidad por medio de sulfato de sodio o de sulfato de magnesio.
- NOM-C-83 Industria de la Construcción. - Cilindros de Concreto. - Determinación de la resistencia a la compresión.
- NOM-C-111 Industria de la Construcción. - Concreto. - Agregados.
- NOM-C-175 Industria de la Construcción. - Cemento Portland de escoria de Alto Horno.
- NOM-C-199 Industria de la Construcción. - Concreto. - Aditivos Químicos. - Nomenclatura.
- NOM-C-200 Industria de la Construcción. - Concreto. - Aditivos inclusores de Aire.
- NOM-C-219 Industria de la Construcción. - Agregados gruesos de tamaño pequeño. - Resistencia a la abrasión usando

la máquina de los Angeles.

NOM-C-313 Industria de la construcción. - Cemento Portland. -
Morteros y Concretos. - Pigmentos.

3. DEFINICIONES.

Para los efectos de esta Norma se establecen las siguientes definiciones:

3.1. Adoquín.

Unidad de concreto precolado de forma prismática, cuyo diseño permite que se entrelacen, con transferencia de carga entre pieza y pieza, para formar pavimentos.

3.2. Tránsito ligero.

Es aquel que tiene un número de vehículos acumulados equivalentes a ejes sencillos de 8.2 toneladas, a la edad de diseño, mayor de 5×10^5 y menor de 5×10^6 .

3.4. Tránsito pesado.

Es aquel que tiene un número de vehículos acumulados equivalente a ejes sencillos de 8.2 toneladas, a la edad de diseño mayor de 5×10^6 .

4 CLASIFICACION.

Los productos objeto de esta Norma se clasifican en cinco tipos, dos subtipos y un solo grado de calidad según como se indica en la tabla A.

5. ESPECIFICACIONES.

5.1. Cemento.

El cemento empleado para la fabricación de adoquines de concreto objeto de esta Norma deben cumplir las especificaciones de las Normas Oficiales Mexicanas NOM-C-1, NOM - C - 2 y NOM - C - 175.

5.1.2. Agregados.

Los agregados fino y grueso en función del uso a que se destinen los adoquines deben cumplir, según el caso, los requisitos establecidos en la NOM-C-111.

El agregado grueso que se emplee en la fabricación de adoquines usados en pavimentos para el tráfico de vehículos debe tener una pérdida por abrasión menor del 50% y su tamaño máximo o nominal no debe ser mayor de 20 mms. En los casos en que los adoquines se destinen a zonas que tengan ciclos de congelación y deshielo, su pérdida en la prueba de sanidad con sulfato de sodio no debe ser mayor del 12% en cinco ciclos, cuando se prueben de acuerdo con la Norma NOM-C-75.

5.1.3. Agua.

El agua utilizada en la fabricación de adoquines de concreto debe estar limpia, libre de aceites, alcalis, materia orgánica y cloruros, con un contenido total de sales solubles no mayor de tres mil partes por millón.

5.1.4. Pigmentos.

Los pigmentos usados para la coloración del concreto deben cumplir los requisitos establecidos en la NOM-C-313, y deben usarse en can-

tidades no mayores a 10% de la masa del cemento, excepto el negro humo que es dispersable en agua.

5.1.5. Aditivos.

En la elaboración de concreto para adoquines pueden usarse a elección del fabricante o la solicitud del comprador, aditivos inclusores de aire, acelerantes, reductores de agua, acelerantes superfluidificantes o impermeabilizantes integrales.

5.1.6. Otros materiales.

Cuando se requieren adoquines con características particulares para usos específicos, a elección del fabricante o solicitud del comprador, pueden emplearse esferas reflejantes, polímeros endurecedores minerales, metálicos y químicos.

5.2. Protección y curado.

Inmediatamente después de fabricados los adoquines, deben protegerse para evitar el secado por la acción de los rayos del sol, el viento, deterioro por frío o lluvia. Se deben curar en cámara húmeda, de vapor, sistema de asperción o cubriéndolos adecuadamente con una funda de polietileno.

5.3. Geométricos.

Para cualquier forma de adoquín los lados del mismo deben ser perpendiculares a la base y a la parte superior de éste.

5.4. Dimensiones.

5.4.1 El ancho de la sección mínima de trabajo de los adoquines no debe ser menor de 80 mms. ni mayor de 200 mms, la relación ancho-largo debe ser entre 1.1 y 2.0 y la relación espesor - largo no debe ser mayor de 0.3.

5.4.2 El área de la superficie de desgaste del adoquín limitada por un chaflán de sección recta o curva, no debe ser menor del 70% del área plana total del adoquín.

5.4.3 Tolerancias dimensionales.

La diferencia dimensional entre los valores máximo y mínimo de muestras tomadas al azar, no debe ser mayor de 3 mms en el largo y ancho, de 5 mms en el espesor, la diferencia de cualquier dimensión de la cara superior e inferior no debe ser mayor de 4 mms.

Las dimensiones de cada pieza no deben diferir de las especificadas en ± 2 mms en el largo o ancho y ± 3 mms en la altura.

5.5. Físicas.

Dependiendo de las características del diseño y del uso a que se destinan los adoquines deben satisfacer los requisitos físicos que aparecen en la tabla 1.

6 MUESTREO.

6.1. Criterio de selección.

Para propósitos de aceptación del comprador o su representante autorizado se debe efectuar en la fábrica un muestreo de todo el lote al azar el número de muestras necesarias que serán representativas del mismo debiendo protegerlas del medio ambiente a fin de no cambiar sus condi-

ciones de humedad.

6.2. Número de muestras.

6.2.1. Para verificar si un lote cumple los requisitos característicos, dimensionales y físicos establecidos en esta Norma, se deben tomar al azar muestras en la siguiente forma:

Tamaño del lote	número de piezas
hasta 10 000	10
10 000 - 25 000	20
25 000 - 50 000	30
50 000 - 100 000	40

Se deben tomar 10 piezas adicionales por cada 50 000 piezas que sobrepasen a las 100 000.

6.2.2. Las muestras seleccionadas para determinar su contenido de humedad deben marcarse y determinar su masa inmediatamente.

6.2.3. El número de muestras obtenidas de acuerdo con el descrito en el inciso 6.2.1 puede ser reducido a la mitad cuando únicamente se desee verificar los requisitos físicos.

6.3. Identificación de muestras.

Cada muestra debe marcarse de tal forma que pueda ser identificada en cualquier momento y las marcas no deben cubrir más del 50% del área total del espécimen.

7. Requisitos de aceptación.

7.1. Para que un lote de adoquines sea aceptado, debe satisfacer los requisitos geométricos y dimensionales establecidos en los incisos 5.3 y 5.4.

7.2. Para cumplir los requisitos de resistencia a la compresión establecidos en esta Norma, con un nivel de confianza del 98% , los resultados de las pruebas deben satisfacer lo siguiente:

No más del 10% del número de especímenes probados, tendrán valores inferiores a la resistencia especificada; el promedio de la resistencia de 3 especímenes probados consecutivamente deben ser igual o mayor que la resistencia especificada; no más del 1% de los especímenes probados deben tener una resistencia menor a la especificada. menos 35 kgf/cm².

7.3. Aceptación en la obra.

Para su aceptación en la obra los adoquines deben estar libres de defectos visibles (grietas, despostillamientos, cavidades) que afecten su colocación adecuada o que perjudiquen sus características de resistencia.

Los poros superficiales no deben considerarse motivo de deshecho.

8. BIBLIOGRAFIA.

- | | |
|-----------------|--|
| D I N . 18501 | Pflastersteine. Beton.
Pavement blocks concret. |
| ASTM C 140 - 75 | Standard Methods of Sampling and Testing Concrete Masonry Units. |
| NCMA A 10-77 | National Concrete Masonry Association.
Specification for Solid Concrete Masonry paving units for vehicular traffic.

Specification the Cement and Concrete Association - 111 - 76 Draff Concrete Paving Blocks. |

Recomendaciones para el control de calidad de Adoquines de concreto (SAHOP).

Apéndice A.

A.1 Equipo

Es recomendable que el sistema que se emplea en la fabricación de los adoquines sea a base de vibrocompresión o compactación por compacto.

A.2 Para efectos de contratación de común acuerdo entre fabricante y comprador, se pueden seleccionar de la tabla , las características y pruebas que deben cumplir los productos.

TABLA A .- REQUISITOS FISICOS.

TIPO	ESPESOR MINIMO cm	RESISTENCIA A LA COMPRESION N/mm ² (kg/cm ²) (1)	MODULO DE RUPTURA.- RESISTENCIA A LA FLECCION N/mm ² (kg/cm ²)	PERDIDA DE ESPESOR POR ABRASION MAXIMA EN CUALQUIER MUESTRA EN mm (2,3)	ABSORCION EN % MAXIMO (EN CUALQUIER MUESTRA) (2)	APLICACION
A 1	8	24.0 (250)	3.0 (30)	1.7	8	ANDADORES, PLAZUELAS, BANQUETAS (PEATONES)
A 2	6	29.0 (300)	4.0 (40)	1.5	8	
B	8	34.0 (350)	5.0 (50)	1.3	8	TRANSITO LIGERO EN ZONAS RESIDENCIALES (VEHICULOS)
C	8	44.0 (450)	6.0 (60)	1.1	8	TRANSITO MEDIO EN CALLES Y ESTACIONAMIENTOS DE SERVICIO (VEHICULOS)
D	8	54.0 (550)	7.0 (70)	1.0	6	TRANSITO PESADO EN CALLES (VEHICULOS)
E	10	64.0 (650)	8.0 (82)	1.0	6	PLATAFORMAS Y CALLES DE RODAJE DE AEROPUERTOS O PATIOS DE MANIOBRA Y PLA- TAFORMAS DONDE OPERA EQUIPO PESADO DE ORUGA METALICA.

- (1) DE ACUERDO CON LA NOM-C-83
- (2) DE ACUERDO CON LO ESTABLECIDO EN EL INCISO 5 DE LA NOM-C-8.
- (3) EN 200 REVOLUCIONES CON UNA PRESION DE 200 g/cm².

Con-respecto a la estructura del interior del pavimento, las especificaciones que deberán cumplir los materiales que lo componen - son las que transcribo del libro "Especificaciones generales de construcción en el ramo de obras viales" del Departamento del Distrito - Federal.

3-03. Mejoramientos.

3-03.1. De Tepetate.

Definición. - Se entiende por mejoramiento al material limoso cuya calidad debe ser superior a la del material de la sub-rasante existente en la zona, donde pretende emplearse.

Cuando el material de sub-rasante sea de mala calidad, con valores relativos de soporte menores del 5% o un índice plástico superior a 20, será necesario colocar material de mejoramiento que integrará la capa sub-rasante de acuerdo con el diseño del pavimento.

A. - Especificaciones de ejecución.

Cuando la sub-rasante o terracería presenta contenidos de humedad superiores a la óptima (zona de Baches), deberá eliminarse ese material y substituirse por material que cumpla con las especificaciones del Mejoramiento compactado al 90% de su P. V. S. Max. en todo el espesor substituido.

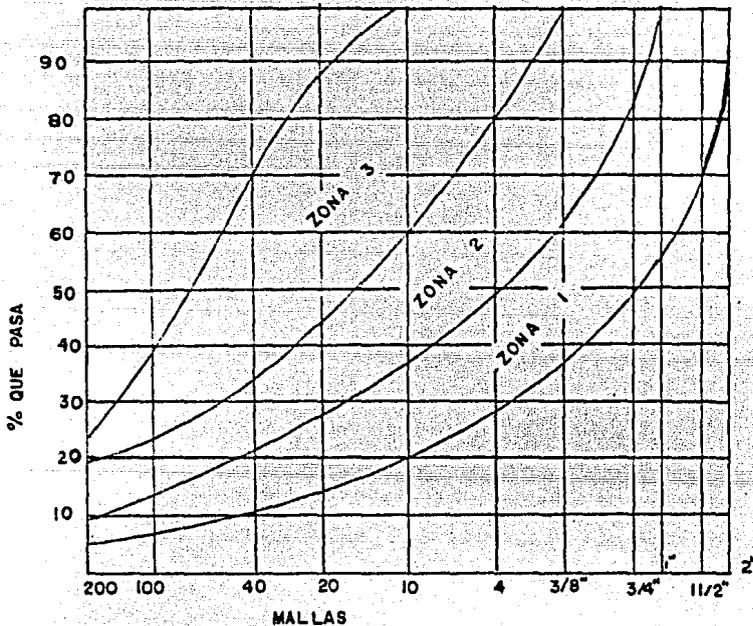
Habrán casos en que no pueda eliminarse todo el material inadecuado (con todo exceso de humedad) por la proximidad del nivel de aguas freáticas. El departamento del Distrito Federal indicará en cada caso específico el procedimiento a seguir ya sea incrustando grava en greña para estabilizar la sub-rasante, colocar filtros, o mediante el empleo

de cal o cemento.

B. - Especificaciones de materiales.

Los materiales empleados como mejoramiento deberán cumplir los siguientes requisitos físicos:

1. - De granulometría



La curva granulométrica del material deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 3.

La curva granulométrica deberá de optar una forma semejante a la de las curvas que limita la zona y no tener cambios de pendiente.

La relación del porcentaje en peso que pasa la malla No. 200 al que pasa la No. 40 no deberá ser superior a 0.65.

2. - De contracción lineal, Valor Cementante, Valor Relativo de Soporte y Peso Volumétrico Seco Máximo, las siguientes:

Pruebas	Zonas granulométricas de material.		
	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Contracción Lineal, % max.	6.0	5.0	4.5
Valor cementante, kg/cm ² min.	5.5	4.5	3.5
Valor Relativo de Soporte, % min.	10	10	10
Tamaño max. del agregado, plg.	3	3	3
Peso volumétrico seco max., kg/m ³ mínimo	1450	1450	1450
	Salvo caso muy especial.		

3-03.2. De Material Petreo.

A. - Especificaciones de ejecución.

Quando la pavimentación se va a efectuar en terracerías excesivamente arcillosas o húmedas (zonas lacustres) en las cuales existe rebote elástico y es difícil que se logre el grado de compactación especificado del 90% de su P. V. S. Max. será necesario colocar una capa de 20 cms de espesor de material petreo granular, cuya granulometría esté comprendida entre las mallas de 3" a No. 4; Este agregado deberá ir perfectamente acomodado mediante varias pasadas del equipo de construc

ción o de compactación que de preferencia será de rodillos lisos de tres ruedas con peso de 12 Ton.

El objeto de esta capa de material pétreo es proporcionar a la terracerfa mayor estabilidad o soporte o cama de trabajo y evitar que el agua ascienda por capilaridad a las capas superiores del pavimento.

3-04.- SUB_BASE

Definición. - La sub-base es la capa de materiales seleccionados (grava cementada) que se construye sobre la sub-rasante o mejoramiento y cuya función es soportar las cargas rodantes y transmitir las a las terracerfas, distribuyéndolas de tal forma que no produzcan deformaciones permanentes en éstas.

A.- Especificaciones de Ejecución.

Una vez que la terracerfa o mejoramiento se haya compactado y afinado, se procederá al tendido del material de sub-base en los espesores resultado del diseño del pavimento, debiendo tener este material características poco arcillas.

Se calculará el volumen de material acamellonado de tal manera que no se tiendan capas mayores de 15 cms de espesor de material compacto.

Cuando se tenga la totalidad del material de sub-base para una capa, deberá mezclarse perfectamente con la motoconformadora hasta uniformizar la humedad que deberá ser lo más cercana a la óptima.

Una vez alcanzada dicha humedad, se procederá al tendido de la sub-

base y al compactado de la capa por medio de planchas de rodillos lisos de 10 a 12 Tons o Duo pactor y se efectuará de la orilla hacia el centro, en franjas longitudinales a toda rueda con traslape de 10 cms.

La compactación se considerará satisfactoria cuando el material alcance un grado mínimo del 95% de su P. V. S. Max. en todo el espesor y deberá verificarse mediante pruebas de Laboratorio, las cuales se harán hasta que no haya huellas de las ruedas de las compactadoras.

La superficie deberá quedar perfectamente afinada y nivelada de acuerdo con las pendientes longitudinales y transversales que fije el proyecto y excenta de baches; los cuales, en caso de existir, deberán de ser extraídos y repuestos con material adecuado dándole la compactación especificada, antes de proceder al tendido de la siguiente capa de sub-base o base.

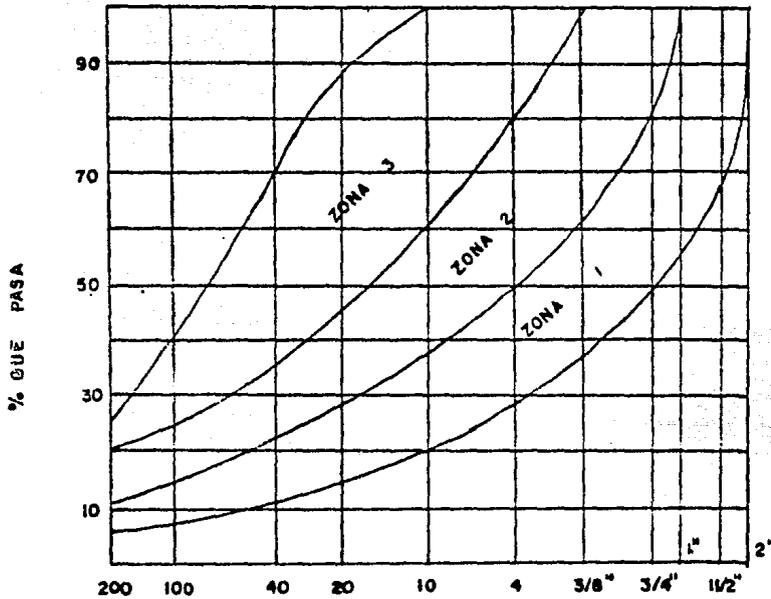
B. - Especificaciones de Materiales.

Los materiales empleados como sub-base deberán cumplir con los siguientes requisitos físicos:

1. - De granulometría.

La curva granulométrica deberá adoptar una forma semejante a la de las curvas que limitan las zonas y no tener cambios bruscos de pendiente.

La curva granulométrica del material deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 3.



La relación del porcentaje en peso que pasa de la malla No. 200 al que pasala No. 40 no deberá ser superior a 0.65.

2. - De contracción lineal, valor cementante, valor relativo de soporte, tamaño máximo y peso volumétrico seco máximo, las siguientes:

Pruebas.	Zonas granulométricas del material		
	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Contracción lineal, % max.	4.5	3.5	2.5
Valor cementante, kg/cm ² . Min.	3.5	2.5	2.5
Valor relativo de soporte, % min.	50	50	50
Tamaño máximo del agregado, plg	2 1/2	2 1/2	1 1/2
Peso volumétrico seco máx., kg/m ³	1700	1700	1700
Mínimo	1700 o menos en casos especiales.		

3-05. - BASES HIDRAULICAS.

Definición. - La base es la capa de materiales seleccionados (grava cementada con rolada) que se construye sobre la sub-base o la sub-rasante (cuando la calidad de ésta es igual a la de la sub-base) y cuya función es soportar las cargas rodantes y transmitir las a las capas inferiores del pavimento, distribuyéndolas de tal forma que no produzcan deformaciones perjudiciales en éstas.

A. - Especificaciones de Ejecución.

Quando la sub- base haya sido recibida a completa satisfacción, se procederá al tendido de la capa de base en el espesor que fije el diseño, y tomando en cuenta lo siguiente:

1. - Cuando el diseño empleado sobre la base carpeta asfáltica o adoquines, el espesor mínimo de base será de 15 cms de material compacto.

2. - Cuando en el diseño del pavimento marque base asfáltica sobre la base hidráulica, el espesor mínimo de esta capa deberá ser de 10 cms de material compacto.

El procedimiento de construcción para el tendido de la base hidráulica es igual al empleado en los materiales de sub-base, únicamente con las siguientes modificaciones:

a. - La compactación se considerará satisfactoria cuando el material alcance un grado mínimo del 98% de su peso volumétrico máximo seco, verificado mediante pruebas de laboratorio, las cuales se efectuarán hasta que no se marquen las huellas de las ruedas.

b. - La superficie deberá quedar perfectamente afinada, con textu-

ra uniforme, sin ondulaciones y estará de acuerdo con las pendientes longitudinales y transversales que fije el proyecto, y tampoco deberán existir baches.

c. - Se recomienda que al terminar la compactación en la base y cuando ésta se encuentre seca superficialmente, se aplique el riego de impregnación con objeto de evitar desintegración a causa del tránsito o de las lluvias. No se deberá conservar esta superficie a base de riegos de agua o compactación, ya que se originan encarpetamientos y texturas cerradas que impedirán la correcta penetración del riego de impregnación. Cuando cualquiera de estas causas deteriore la superficie de la base y se tenga duda del grado de compactación de la misma, se ordenará a la contratista desde escarificar superficialmente esta capa, hasta levantarla completamente y volverla a compactar, verificada por pruebas de laboratorio.

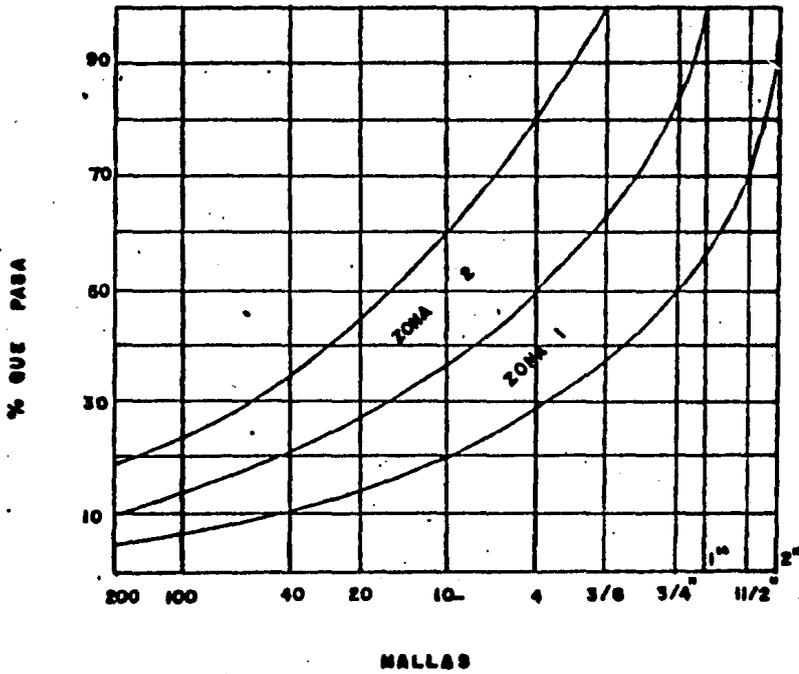
B. - Especificaciones de Materiales:

Los materiales empleados como bases hidráulicas deberán cumplir con los siguientes requisitos físicos:

1. - De Granulometría.

La curva granulométrica del material deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 2.

La curva granulométrica deberá adoptar una forma semejante a la de las curvas que limitan las zonas y no tener cambios bruscos de pendiente.



La relación del porcentaje en peso que pasa de la malla No. 200 al que pasa la No. 40 no deberá ser superior a 0.65.

2. - De contracción lineal, valor cementante, valor relativo de soporte, tamaño máximo y peso volumétrico seco máximo (tentativo) las siguientes:

Pruebas.	Zonas granulométricas del material	
	Zona 1	Zona 2
Contracción lineal, % Máx.	3.5.	2.0
Valor cementante, kg/cm ² Mfn	4.5	3.5
Valor relativo de soporte, % Min.	80	80
Tamaño máximo del agregado, pul. Máx.	1 1/2	1 1/4
Peso volumétrico seco máx., kg/m ³ . Min.	1.800	1.800

De las especificaciones propuestas por ISTME para la construcción de los pavimentos con adocreto: transcribiré lo referente a la cama de arena: **CAMA DE ARENA. -**

Será una arena gruesa bien graduada que cumpla con los requisitos de granulometría:

MALLA	% QUE PASA
4	95 - 100
8	75 - 95
16	55 - 75
30	30 - 55
50	10 - 30
100	0 - 10

Coefficiente de Uniformidad CU > 6

Coefficiente de Curvatura 1 < CC < 3

El límite líquido será menor del 20% y el índice plástico menor del 6% y en ningún caso deberá contener materia orgánica.

La cama de arena se construirá en un espesor compacto de 5.0 cms con tolerancia de \pm 1 cm.

Para evitar deformaciones en la superficie terminada una vez colocado el adoquín, deberá evitarse pisar o caminar sobre la cama de arena suelta, y al colocar cada adoquín solo deberá golpearse ligeramente con un mazo de hule para ubicarlo correctamente sin tratar de llevar a su posición final compactando mediante esta operación la cama de arena, ésta se compactará una vez colocado el adoquín.

VIII .-- CONTROL DE CALIDAD.

A continuación transcribo los métodos de prueba recomendados en el instructivo del Laboratorio de Inspección de materiales de la subdirección de obras Civiles del Departamento del Distrito Federal.

I. - Prueba de Compresión.

- a) Especímenes de prueba. - De cada una de las piezas que formen el lote de prueba, se cortarán cubos cuya dimensión corresponderá a proximadamente al espesor del adoquín, procurando usar la herramienta apropiada para evitar que sus aristas se deterioren. Para ejecutar la prueba, los especímenes se secarán en estufa a 110°C hasta lograr un peso constante.
- b) Preparación de los especímenes. - Tales muestras deberán probarse aplicando la carga en la dirección del espesor del adoquín. Las caras planas que recibirán perpendicularmente la carga, deberán "cabecearse" mediante azufre flor limpio fundido, dejandose enfriar éste durante dos horas, por lo menos.
- c) Prueba. - Los especímenes se probarán en una máquina de compresión que se encuentre en buenas condiciones de funcionamiento y dentro de especificaciones de operación y lectura.
- d) Velocidad de carga. - La carga sobre la muestra deberá ser de 140 kg/cm² por minuto (movimiento de cabeza móvil igual a 13 mm por min).

II. - Prueba a la Flexión.

a) Preparación de los especímenes. - De cada una de las piezas que componen la muestra de adoquín, se prepararán los especímenes para la prueba de flexión, cuyo largo será de 18 cms y el ancho cuando - menos igual al espesor, pero no mayor de tres veces éste; los cortes deberán hacerse con sierra de diamante industrial para evitar golpes e impactos que provoquen fracturas internas no visibles.

b). - Prueba. - La muestra se colocará sobre los apoyos libres en un claro de 18 cms y la carga se aplicará al centro del claro de la superficie superior por medio de una placa de apoyo, de acero de 0.64 cms de espesor y de 3.8 cms de ancho y una longitud igual o mayor al ancho del espécimen. La dirección de la carga será perpendicular a la superficie sobre la que se aplica la carga.

c) Velocidad de Carga. - La velocidad de aplicación de la carga será la correspondiente a la cabeza móvil de la máquina de prueba, y no será mayor de 13 mms/min.

d) Cálculos. - Para cada muestra se calculará el módulo de ruptura como sigue:

$$\text{módulo de ruptura} = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

En donde: P = carga máxima indicada por la máquina de prueba en kilogramos.

L = distancia entre los soportes (18 cms).

d = promedio del espesor de cara a cara de la muestra

en cms.

b = promedio del ancho de cara a cara de la muestra en cms.

El promedio de los módulos de ruptura obtenidos en todas las piezas, será el módulo de ruptura de la muestra del adoquín.

III. - Absorción.

a) Aparato. - Báscula de 21 kgs de capacidad y aproximación de un gramo.

b) Procedimiento. - Los ejemplares para esta prueba deberán secarse en estufa a 110°C a peso constante y se sumergirán en agua potable durante 24 horas, a una temperatura de 15 a 30 grados, en seguida se procederá a pesarlos, limpiando previamente el agua superficial con un trapo; el tiempo transcurrido durante el evento de pesar los especímenes no será mayor de 10 minutos a partir del instante de que fueron sacados del agua.

c) Cálculo. - La absorción de cada ejemplar deberá calcularse como sigue:

$$\text{Absorción} = \frac{100 (P' - P)}{P} \%$$

En donde: P' = Peso del ejemplar después de estar sumergido durante 24 horas en agua, en gramos

P = Peso del ejemplar secado a peso constante, en gramos.

El promedio de absorción de todos los ejemplares se tomará como la absorción del lote de la muestra.

IV. - Prueba de Desgaste.

a) Preparación de la muestra. - De cada muestra de adoquín se cortará un espécimen de 6 cms de ancho por 7 cms de largo y altura igual al espesor del adoquín.

b) Aparato. - Se usará una máquina de desgaste tipo Tinius o Riehle - Bors, con las siguientes características:

Disco giratorio con diámetro exterior de 60 ± 5 cms aprox. y un ancho de la pista o franja de desgaste de 15 cms aprox., girará a una velocidad de 65 a 70 R. P. M.

El portamuestras permitirá aplicar la presión de la muestra que se especifica haciendo variar la carga. Se usará arena azul de mina, labada y cribada por la malla No. 50 y retenida por la No. 80, como abrasivo.

c) Procedimiento. - Se colocará la probeta en el portamuestras, siendo la cara de desgaste la misma en la cual el adoquín trabajará como superficie de tránsito. Se aplicará una presión a la muestra de 250 kg/cm².

d) Cálculos. - Si el adoquín presenta un acabado especial, tal como: estriado, cuadrícula u orlado, se determinará el número de revoluciones para desgastar 1 mm de espesor de la probeta.

IX. - COSTOS COMPARATIVOS DE CONSTRUCCION.

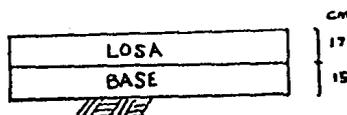
En lo siguiente presento tres tipos de pavimento, uno flexible, otro rígido y uno de adoquín, diseñados para un mismo tipo de suelo, identificado por un valor relativo de soporte, V. R. S., de 10%, que equivale a un módulo de reacción $K = 5.5 \text{ kgs/cm}^3$, en dos tipos de avenida, una de tránsito ligero y una de tránsito pesado, para un período de diseño de 20 años mínimo.

Consideremos como tránsito ligero a un tráfico menor de 500 vehículos al día, y un número de tráfico de 80 ejes sencillos de 8.2 toneladas; y como tránsito pesado un tráfico de más de 2000 vehículos por día y un número de tráfico de 500 ejes sencillos de 8.2 toneladas.

I. Diseños para tránsito ligero.

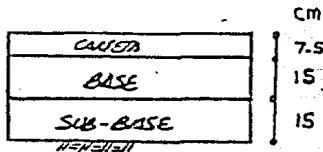
a) Pavimento rígido.

De las gráficas de la Portland Cement Association y considerando una losa de concreto $f'c = 300 \text{ kgs/cm}^2$, entramos con los valores: No. de vehículos pesados 80, un $M_r = 0.12$ $f'c = 0.12 (300 \text{ kgs/cm}^2) = 35.15 \text{ kgs/cm}^2$ y un módulo de reacción $K = 5.5 \text{ Kgs/cm}^3$, lo que nos da un espesor de losa de 17 cm aproximadamente.



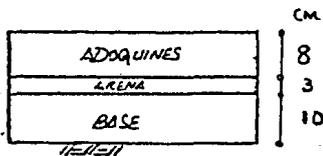
b) Pavimento flexible.

De la gráfica propuesta para diseño de espesores de pavimentos flexibles basada en el manual MS-1 del instituto del Asfalto y tomada de las especificaciones generales de construcción del D. D. F. (1978), para un número de vehículos menor de 500, un número de tráfico de 80, y un V.R.S. 10%, la estructura del pavimento será:



c) Pavimento de adoquín.

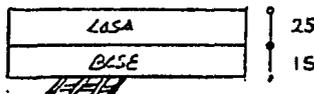
Del método de diseño presentado, y utilizando la gráfica para una carga por rueda de $600 \text{ kpa} = 6.1 \text{ kgs/cm}^2$, obtenemos un espesor de 8.2 cm de base granular que redondeamos a 10 cm , para un V.R.S. de 10%, y adoquines de 8 cm de espesor.



II. - Diseños para tráfico pesado.

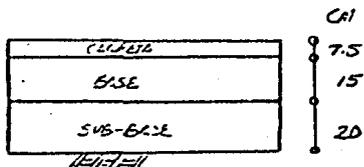
a) Pavimento rígido.

Para $N=500$, un número de vehículos de 2000 por día, M_r de 35.15 kgs/cm^2 y K de 5.5 kgs/cm^3 nos da un espesor de losa de 25 cm aproximadamente.



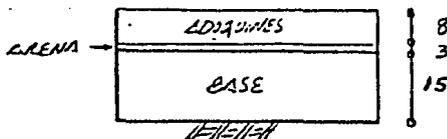
b) Pavimento flexible.

Para un número de vehículos de 2000, un N de 500 y un V. R. S. de 10 % los espesores resultantes de la estructura son:



c) Pavimento de adoquines.

Para una presión de contacto de 900 kpa (9.2 kg/cm²) y un V. R. S. de 10 % obtenemos un espesor de 15 cm de base granular con 8 cm de espesor de adoquín.



Los precios unitarios que nos servirán para la comparación de los costos de los pavimentos se presentan a continuación, y están basados en los análisis efectuados por la secretaría de asentamientos humanos y obras públicas, y en algunos analizados por la secretaria de obras públicas del Gobierno del Edo. de México.

Los acarreos se consideraron con los siguientes valores:

Concepto:	Kilometraje:
Tiro	10
Agua	10
Materiales para base, sub-base y subrasante	20
Asfaltos	525
Mezcla asfáltica	35

Analisis del precio unitario de las TERRACERIAS.

EL DESPALME TENDRA UN ESPESOR DE 15CMS

LA COMPACTACION DEL PISO SERA PARA UN ESPESOR DE 20CMS.

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	P.U.	CANTIDAD	IMPORTE
15-04.2 A)	1.- DESPALME, INCLUYE CARGA.	m3	43.94	0.15	6.59
	2.- ACARREO DEL MATERIAL PRODUCTO DEL DESPALME:				
2 07/18b 2/073	a) PRIMER KILOMETRO.	m3-1er-km	26.85	0.15	4.03
2 07/18b 2/ 073	b) KMS. SUBSECUENTES.	m3-km	17.25	1.50	25.88
15-06.2B) 2.)	3.- COMPACTACION DEL PISO DEL CORTE AL 90% de su P.V.S.M.	m3	34.89	0.20	6.98
15- 06.7	4.- SUMINISTRO DE AGUA.	m3	56.78	0.05	2.84
15EC-08 E)	5.- ACARREO DEL AGUA.	m3-km	14.78	0.50	<u>7.39</u>
					53.70

LOS PRECIOS FUERON TOMADOS DEL TABULADOR SAHOP DE MARZO DE 1982.
PARA AJUSTAR LOS PRECIOS SE UTILIZARAN LOS FACTORES:

1.22 PARA EL PERIODO MARZO-AGOSTO DE 1982
Y 1.45 PARA AGOSTO-ABRIL DE 1983

EL PRECIO TOTAL POR TERRACERIAS SERA:

$$53.70 \times 1.22 \times 1.45 = 95.00$$

P.U. TERRACERIAS \$95.00/m²

Análisis del precio unitario de la
SUB-BASE (ESPESOR 15 CMS)

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	P.U.	CANTIDAD	IMPORTE
	1.- SUMINISTRO DE MATERIAL PARA SUB-BASE.				
62 EC-3A12)	a) MATERIAL TIPO B (70%)	M3	54.69	0.105	5.742
62 EC-3A13)	b) MATERIAL TIPO C (30%)	M3	229.51	0.045	10.328
	2.- ACARREO DEL MATERIAL DE SUB-BASE:				
207/18b2 /073	a) PRIMER KILOMETRO	M3-1er km	26.85	0.15	4.03
207/18b2 /073	b) KILOMETROS SUBSCS.	M3-km	17.25	3.00	51.75
62-06.4	3.- SUMISTRO DE AGUA	M3	65.15	0.0375	2.443
62-16.3	4.- ACARREO DEL AGUA	M3	8.84	0.375	3.315
62-06.2 A)1)a)	5.- FORMACION Y COMPACTACION	M3	116.68	0.15	<u>17.502</u>
					<u>95.09</u>

95.09x1.22 x1.45=168.21

P.U. SUB-BASE(15CMS) \$ 168.21/m2

Análisis del precio unitario de la
SUB-BASE(ESPESOR 20CMS)

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	P.U.	CANTIDAD	IMPORTE
	1.- SUMISTRO DE MATERIAL PARA SUB-BASE.				
62 EC-3A)2)	a) MATERIAL TIPO B (70%)	M3	54.69	0.14	7.66
62 EC-3A)3)	b) MATERIAL TIPO C (30%)	M3	229.51	0.06	13.77
	2.- ACARREO DEL MATERIAL DE SUB-BASE:				
207/18b2 /073	a) PRIMER KILOMETRO	M3-1er km	26.85	0.20	5.37
207/18b2 /073	b) KMS. SUBSCS.	M3-km	17.25	4.00	69.00
62-06.4	3.-SUMINISTRO DE AGUA	M3	65.15	0.05	3.26
62-16.3	4.-ACARREO DEL AGUA	M3-km	8.84	0.50	4.42
62-06.2 A)1)a)	5.-FORMACION Y COMPACTACION	M3	116.68	0.20	<u>23.34</u>
					126.62

$$126.62 \times 1.22 \times 1.45 = 224.24$$

P.U. SUB-BASE(20CMS) 224.24/m2

Análisis del precio unitario de la
BASE (15CMS)

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	P.U.	CANTIDAD	IMPORTE
	1.-SUMINISTRO DE MATERIAL PARA BASE:				
02 EC-3A)2)	a) MATERIAL TIPO B (30%)	M3	54.69	0.045	2.46
02 EC-3A)3)	b) MATERIAL TIPO C (70%)	M3	229.51	0.105	24.10
	2.-ACARREO DEL MATERIAL PARA BASE:				
207/18b2/073	a) PRIMER KILOMETRO	M3-1erkm	26.85	0.15	9.03
207/18b2/073	b) KMS. SUBSCS.	M3-km	17.25	3.00	51.75
02-06.4	3.-SUMINISTRO DE AGUA	M3	65.15	0.038	2.48
02-16.3	4.-ACARREO DEL AGUA	M3-km	8.84	0.375	3.32
02-06.2B)2)b)	5.-FORMACION Y COMPAC- TACION AL 100% P.V.S.M.	M3	135.49	0.15	<u>20.32</u>
					108.46

108.46x1.22 x1.45=191.87

P.U. BASE (ESP. 15 CMS) \$191.87/m2

Análisis del precio unitario de la
BASE (20 C/S)

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	P.U.	CANTIDAD	IMPORTE
	1.- SUMINISTRO DE MATERIAL PARA BASE:				
62 EC-3A)2)	a) MATERIAL TIPO B (30%)	M3	54.69	0.06	3.28
62 EC-3A)3)	b) MATERIAL TIPO C (70%)	M3	229.51	0.14	32.13
	2.-ACARREO DEL MATERIAL PARA BASE.				
207/18t2/073	a)PRIMER KILOMETRO	M3-terkm	26.85	0.20	5.37
207/18t2/073	b) KMS. SUBSCS.	M3-km	17.25	4.00	69.00
62-06.4	3.-SUMINISTRO DE AGUA	M3	65.15	0.05	3.26
62-16.3	4.-ACARREO DEL AGUA	M3-km	8.84	0.50	4.43
62-06.2B)2)b)	5.-FORMACION Y COMPACTACION AL 100%P.V.M.S.	M3	135.49	0.20	<u>27.10</u>
					144.56

144.56x1.22x1.45=255.73

P.U. BASE (ESP. 20 C/S) \$ 255.73/m²

Análisis del precio unitario del

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	P.U.	CANTIDAD	IMPORTE
62 EC-6A)2)	1.-SUMINISTRO DE ASFALTO FH-1	LT	0.37	1.5	0.56
62 EC-11A)1)a)	2.-ACARREO DE ASFALTO. a)PRIMER KILOMETRO	M3-1erkm	802.97	0.0015	1.204
62 EC-11A)1)b)	b) KMS. SUBSCS.	M3-km	2.15	0.7875	1.693
62-09.2	3.-BARRIDO DE BASE	Ha.	4 779.17	0.0001	0.478
62 EC-7 A)1)	4.-ALMACENAMIENTO DE MATERIALES ASFALTICOS.	LT.	0.29	1.50	0.435
62 EC-8)A)	5.-CALENTAMIENTO Y BOMBEO	LT.	0.27	1.50	0.405
62 EC-9)A)2)	6.-RIEGO DE IMPREGNACION	LT	1.35	1.50	<u>2.025</u>
					6.795

6.80x1.22x1.45= 12.02

P.U. RIEGO DE IMPREGNACION \$12.02 /m²

**Análisis del precio unitario del
RIEGO DE LIGA.**

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	P.U.	CANTIDAD	IMPORTE
(2 EC-6A)3)	1.-SUMINISTRO DE ASFALTO FR-3	Lt.	0.41	0.8	0.328
	2.-ACARREO DEL ASFALTO:				
(2 EC-11A)1)a)	a)PRIMER KILOMETRO.	M3-1erkm	802.97	0.0008	0.642
(2 EC-11A)1)b)	b)KILOMETROS SUBSCS.	M3-km	2.15	0.42	0.903
(2 -09.2	3.-BARRIDO DE BASE IMPREGNADA	Hm.	4 779.17	0.0001	0.478
(2 EC-8A)	4.-CALENTAMIENTO Y BOMBEO	Lt.	0.27	0.8	0.216
(2 EC-9B)1)	5.-RIEGO DE LIGA	Lt.	1.35	0.8	1.08
(2 EC-7A)1)	6.- ALMACENAMIENTO DE MATS. ASFALTICOS.	Lt.	0.29	0.8	<u>0.232</u>
					3.88

$$3.88 \times 1.22 \times 1.45 = 6.86$$

P.U. RIEGO DE LIGA \$6.86/m2

**Análisis del precio unitario de la
CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO (7.5 CMS ESP.)**

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	P.U.	CANTIDAD	IMPORTE
207/18/153/28	1.-SUMINISTRO Y COLOC. DE CARPETA	M3	2 552.33	0.075	191.42
	2.-ACARREO DE MEZCLA AS- FALTICA.				
(2 EC-10A1)	a) PRIMER KH.	M3-1erkm	16.44	0.075	1.23
(2 EC-10A2)	b) KMS. SUBSCS.	M3-km	8.34	2.63	<u>21.93</u>
					214.58

214.58 x 1.22 x 1.45 = 379.59

P.U. CARPETA ASFALTICA \$379.59/m2

Precios unitarios de losa de concreto hidráulico, suministro y colocación de adocreto, y del suministro de arena.

OFICIO:	CONCEPTO:	UNIDAD:	P. U.	CANTIDAD:	IMPORTE:
207/18b 2/12 1/ 83	1.- LOSA DE CONCRETO HIDRAULICO.	M3	6 108.40	0.25	1 527.10
" " " "	"	"	"	0.17	1 038.50
207/ 18b 2/ 1 2 1/83	2.-ADOCRETO (8CMS ESP.), SUMINISTRO Y COLOCACION.	M2	1 172.00	1.00	1 172.00
207/ 18b 2/ 1 2 1/83	3.-SUMINISTRO DE ARENA	M3	801.39	0.03	24.42

LOS COSTOS DE LOS PAVIMENTOS SERAN:

CONCEPTO	PARA TRAFICO LIGERO (\$/m2):	PARA TRAFICO PESADO (\$/m2):
1.- PAVIMENTO FLEXIBLE (ASFALTICO)		
A) TERRACERIAS	95.00	95.00
B) SUB BASE	168.21	224.24
C) BASE	191.87	191.87
D) IMPREGNACION	12.02	12.02
E) LIGA	6.86	6.86
F) CARPETA	<u>379.59</u>	<u>379.59</u>
	853.55	909.58
2.- PAVIMENTO RIGIDO		
A) TERRACERIAS	95.00	95.00
B) BASE	191.87	191.87
C) LOSA	<u>1 038.50</u>	<u>1 527.10</u>
	1 325.37	1 813.97
3.- PAVIMENTO SEMIRIGIDO (DE ADOCRETO)		
A) TERRACERIAS	95.00	95.00
B) BASE	129.23	191.87
C) IMPREGNACION	12.02	12.02
D) CANA DE ARENA	24.42	24.42
E) ADOCRETO	<u>1 172.00</u>	<u>1 172.00</u>
	1 432.67	1 495.31

Tomando de referencia al pavimento de adocreto, tendremos
en cada caso:

Pavimento:	Tráfico ligero:	Tráfico pesado:
Semirrígido	100 %	100 %
Rígido	93 %	122 %
Flexible	60 %	61 %

X.- CONCLUSION.

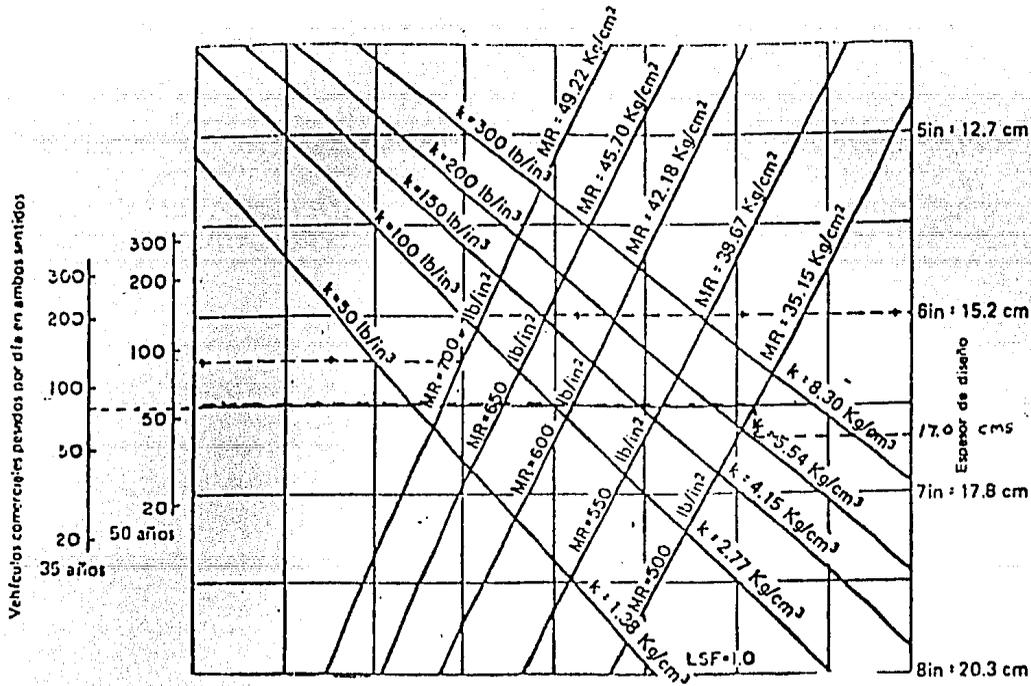
El pavimento de adoquines de concreto hidráulico ofrece una alternativa a las autoridades civiles de mejorar el aspecto urbano de pueblos y ciudades. El diseño y método presentados no ha sido usado en nuestro país, por lo que para poder evaluar su utilidad se hace necesario el construir pavimentos de acuerdo a ello y asfrecabar información para determinar su conveniencia.

De lo anteriormente visto, el pavimento de adoquines representa un costo inicial de un 70% más que el de pavimento asfáltico, pero en cambio, la belleza, durabilidad y recuperación del material es suficiente motivo para decidir su uso, sin contar que representa con ello una mejoría ambiental arquitectónica.

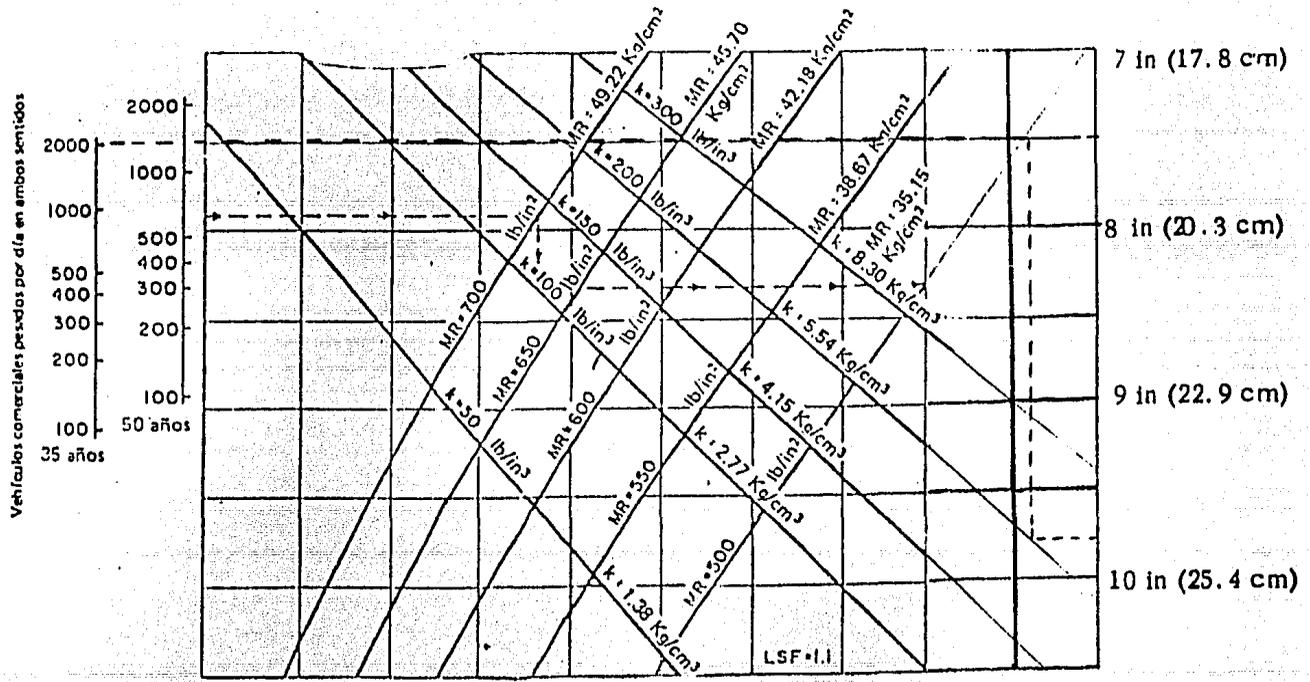
En lo particular, se recomienda el uso del adoquín articulado pues evita los desplazamientos verticales entre adoquines dando un aspecto superficial uniforme.

BIBLIOGRAFIA.

- 1.-MANUAL DE ESPESORES DEL INSTITUTO DEL ASFALTO (MS-1) 7a. EDICION OCTUBRE DE 1963.
- 2.-NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-C-314-1981.
- 3.-ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS DE ADOCRETO ISTME.
- 4.-INSTRUCTIVO DE LABORATORIO DE INSPECCION DE MATERIALES. SUBDIRECCION DE OBRAS VIALES D.G.O.P. DEL DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL.
- 5.-ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCION EN EL RAMO DE OBRAS VIALES. D.D.F. D.G.O.P. SUB-DIRECCION DE OBRAS VIALES. MEXICO 1978.
- 6.-MANUAL DE ADOQUINES. INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO. COLOMBIA.
- 7.-DISEÑO DE PAVIMENTOS CON ADOCRETO. METODO ARGENTINO. ARGENTINA.
- 8.-CONCRETE BLOCK PAVING-FOR LIGHTLY TRAFFICKED ROADS AND PAVED AREAS. ENGLAND.
- 9.-CONCRETE BLOCK PAVING-FOR HEAVELY TRAFFICKED ROADS AND PAVED AREAS. ENGLAND.
- 10.-A SPECIFICATION FOR CONCRETE PAVING BLOCKS. ENGLAND.
- 11.-THE DESIGN OF INTERLOCKING CONCRETE BLOCK PAVEMENTS AUSTRALIAN ROAD RESEARCH BOARD. AUSTRALIA.
- 12.-AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE RESPONSE OF INTERLOCKING CONCRETE BLOCK PAVEMENTS TO SIMULATED TRAFFIC LOADING. AUSTRALIAN ROAD RESEARCH BOARD. AUSTRALIA.
- 13.-INGENIERIA DE LOS SUELOS Y VIAS TERRESTRES. TOMO II. RICO RODRIGUEZ Y HERMILO DEL CASTILLO. MEXICO.
- 14.-MECANICA DE SUELOS. TOMO II. RICO RODRIGUEZ Y JUAREZ BADILLO. MEXICO.

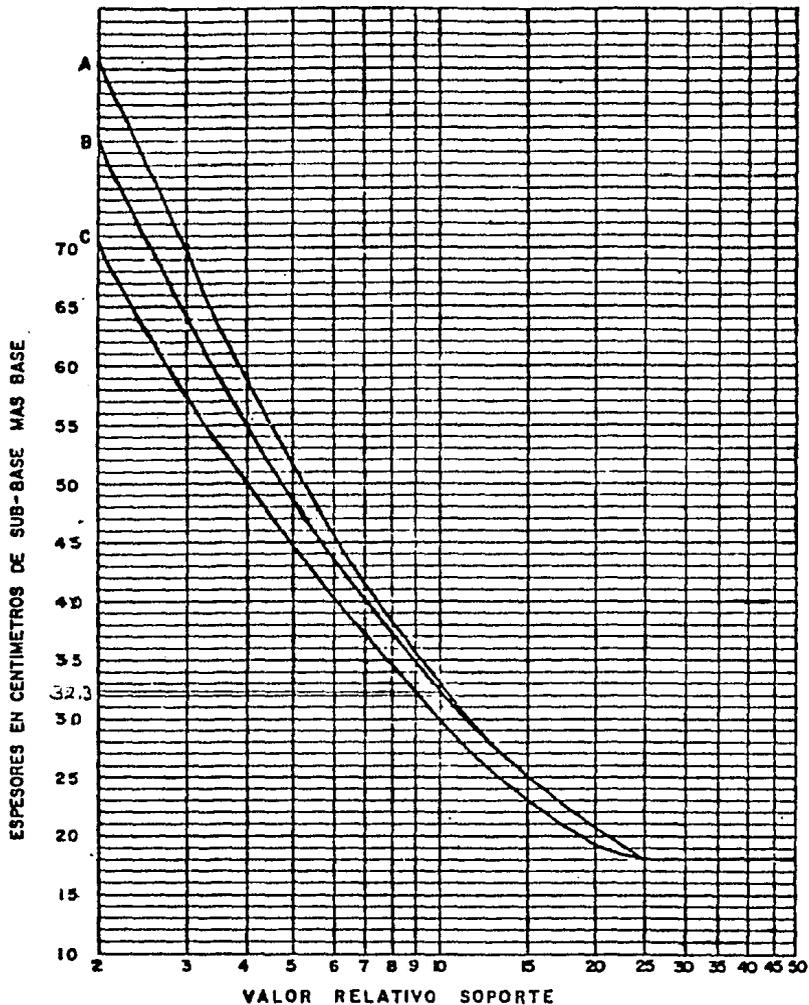


Gráfica IX.1.- Gráfica de diseño del espesor de losa de concreto hidráulico de la Portland Cement Association para calles residenciales.



Gráfica IX.2. - Gráfica de diseño del espesor de losa de concreto hidráulico de la Portland Cement Association para arterias mayores y calles industriales.

GRAFICA 1X3. GRAFICAS PROPUESTAS PARA DISEÑO DE ESPESORES DE SUB-BASE Y BASE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA CARRETERAS Y CALLES.
(INSTITUTO DEL ASFALTO — MANUAL SERIE MS-1)



INTENSIDAD DEL TRANSITO INICIAL EN UN SOLO SENTIDO, CONSIDERANDO TODO TIPO DE VEHICULOS	CURVA DE PROYECTO	ESPESOR MINIMO DE BASE GRANULAR NATURAL D.D.F.	ESPESOR MINIMO DE CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO D. D. F.
MENOS DE 400 VEHICULOS AL DIA	C	15 cm.	5.0 cm.
DE 400 a 1500 " "	B	15 cm.	7.5 cm.
DE 1500 a 3500 " "	A	15 cm.	7.5 cm.

INDICE.

CAPITULO:	Pag.
I. - INTRODUCCION.	1
II. - ANTECEDENTES.	2
III. - ¿ QUE ES UN ADOQUIN?	7
IV. - CUALIDADES DEL PAVIMENTO DE ADOQUINES DE CONCRETO HIDRAULICO.	11
V. - PRECEDENTES DE DISEÑO.	13
VI. - DISEÑO DE PAVIMENTOS DE ADOQUINES DE CONCRETO HIDRAULICO.	54
VII- ESPECIFICACIONES.	73
VIII. - CONTROL DE CALIDAD.	94
IX. - COSTOS COMPARATIVOS.	98
X. - CONCLUSION.	113
BIBLICGRA FIA.	114