



27

24



**"ASPECTOS GENERALES DE PAVIMENTOS
CON ADOQUINES DE CONCRETO
HIDRAULICO"**

MARZO DE 1992

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

I.- INTRODUCCION

II.- DEFINICIONES, CONCEPTOS BASICOS Y CLASIFICACION GENERAL DE LOS PAVIMENTOS.

II.1 PAVIMENTOS.

II.2 ADOQUIN

II.3 ELEMENTOS DE LOS PAVIMENTOS CON ADOQUINES DE CONCRETO HIDRAULICO.

III.- PROPIEDADES DE LOS ADOQUINES.

III.1 TIPOS DE ADOQUINES

III.2 PROPIEDADES FISICAS

III.3 PROPIEDADES MECANICAS

IV.- DISEÑO DE PAVIMENTOS Y ADOQUINES DE CONCRETO

IV.1 DISEÑO

IV.2 CONSTRUCCION

IV.3 CONSERVACION

IV.4 EVALUACION Y RENOVACION DE PAVIMENTOS

V.- RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

I. INTRODUCCION

La herencia del imperio Romano, tanto técnica como cultural, es actualmente la base de nuestros conocimientos y desarrollo en materia de pavimentos, por lo menos en lo que respecta al mundo occidental, ya que en América Latina tenemos caminos desarrollados por las culturas Inca y Maya.

La historia de los pavimentos con bloques se inicia prácticamente con nuestra civilización, ya que hay que recordar que el hombre intuitivamente había constatado que sus pies no se hundían en el terreno mojado, cuando colocaba piedras una al lado de la otra.

Ya en el año 300 A.C. los romanos habían construido la vía Apia empleando bloques de piedra trabajados especialmente para obtener una superficie lisa.; Los pavimentos de las vías Cassia, Flaminia, Aurella, etc. que cruzaban toda Europa, ya en el primer siglo de nuestra

era, constituyen también ejemplos de caminos de piedras seleccionados y debidamente colocados sobre el terreno.

Sin embargo, no fue sino hasta varios siglos después que se tallaron piedras duras y geoméricamente bien definidas que permitirían realizar rasantes cada vez mas perfectas, donde los pesados carruajes no dejaban trazas de sus ruedas.

Visitando las viejas ciudades europeas y algunas americanas, se observa en las primeras que, desde la Edad Media el arte de pavimentar las calles empleando piedras talladas oportunamente, ha ido continuamente progresando y muchos adoquinados de esa época desafían todavía el paso de los años.

Históricamente los adoquines de concreto descienden de las piezas usadas en los caminos por las primeras civilizaciones humanas.

Sin embargo, a principios de este siglo, con la aparición del automóvil se desarrolló una tecnología para las mezclas asfálticas y el concreto hidráulico, que en el campo de los pavimentos desplazó al adoquín, inclusive se hizo creer que este tenía sus días contados.

No es sino hasta hace unas décadas, con la avanzada tecnología del concreto que los pavimentos de adoquín hidráulico han regresado triunfalmente, y no sólo en caminos, andadores, jardines, estacionamientos y calles privadas, sino que también en los puertos y aeropuertos.

Cabe señalar que actualmente en nuestro país se tiene un mal concepto del pavimento con adoquines de concreto hidráulico, ya que se piensa que no funcionan correctamente, lo cual no es cierto, puesto que ese mal prestigio se debe a un diseño erróneo, una mala supervisión y a los malos materiales que se emplean en su construcción, producto de falta de ética profesional por parte de contratistas y dirigentes del gobierno, pues existen obras tan importantes en el mundo como el puerto de Rotterdam, Holanda. donde se manejan 850,000 contenedores al año y el cual esta pavimentado con adoquines de concreto hidráulico, o el Aeropuerto Internacional de Luton, Inglaterra donde los adoquines han funcionado debidamente.

Es objetivo de esta Tesis dar a conocer los aspectos básicos de los pavimentos con adoquines de concreto hidráulico con el propósito de que exista el material que hable de los mismos de manera imparcial y

que sean los ingenieros de proyecto los que saquen sus propias conclusiones sin dejar de tomar en cuenta que estamos en un país cuyas condiciones económicas no son las mejores, donde se necesita dar oportunidad de trabajo al mayor número de ciudadanos aunque sea con el salario mínimo, que les permita mal vivir y esperar la natural evolución económica que nunca es inmediata, pero pienso que es mejor gastar en más mano de obra de trabajadores humildes que gastar en el alquiler de valioso equipo.

II. DEFINICIONES, CONCEPTOS BASICOS Y CLASIFICACION GENERAL DE LOS PAVIMENTOS.

II.1 PAVIMENTOS

II.2 ADOQUIN

II.3 ELEMENTOS DE LOS PAVIMENTOS CON ADOQUINES DE CONCRETO HIDRAULICO.

OBJETIVO:

Es propósito de este capítulo dar las definiciones tanto de pavimento como de sus componentes con el objeto de familiarizarnos con su terminología, haciendo énfasis en los que se refieren a los pavimentos de adoquines de concreto hidráulico.

II.1 PAVIMENTO.

Definimos como pavimento, al conjunto de capas de materiales seleccionados que reciben en forma directa las cargas de tránsito y las transmiten adecuadamente distribuidas a las capas inferiores, proporcionando la superficie de rodamiento en donde se debe tener una operación "rápida" y "cómoda".

II.1.1 TIPOS DE PAVIMENTOS.

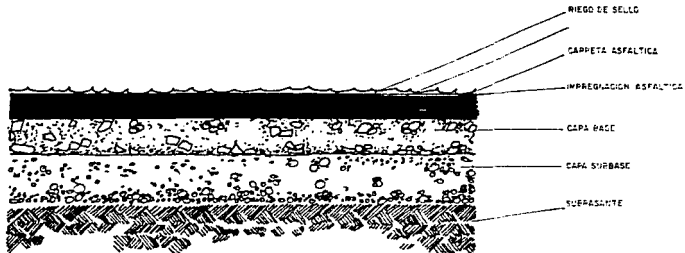
Existen dos tipos de pavimentos básicamente que son los flexibles y los rígidos, pero también existen los pavimentos con adoquines, que son a los que nos referiremos en esta tesis, y aún más los pavimentos empedrados.

II.1.1.1 PAVIMENTOS FLEXIBLES.

En estos pavimentos, la superficie de rodamiento es proporcionada por una carpeta asfáltica y la distribución de las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores se hace por medio de las características de fricción y cohesión de las partículas de los materiales.

Las capas que forman este tipo de pavimentos son base y subbase, las cuales se construyen sobre la capa subrasante.

(fig. 1)



CAPAS QUE FORMAN UN PAVIMENTO FLEXIBLE

II.1.1.2 PAVIMENTOS RIGIDOS.

La superficie de rodamiento de un pavimento rígido es proporcionada por losas de concreto hidráulico, que distribuyen las cargas de los vehículos, hacia las capas inferiores, por medio de toda la superficie de la losa.(fig. 2)

II.3.10. TRANSITO DIARIO PROMEDIO ANUAL (TDPA)

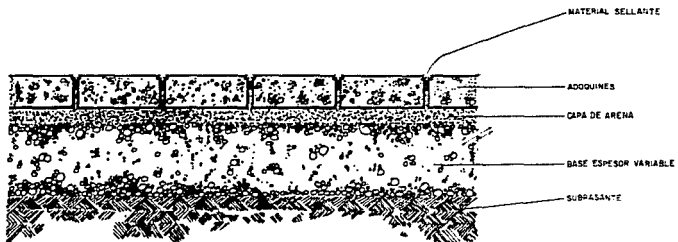
Se llama TDPA al número total de vehículos que transitan por una carretera en ambos sentidos durante un año, dividido entre 365 días.



CAPAS QUE FORMAN UN PAVIMENTO RIGIDO

II.1.1.3 PAVIMENTOS CON ADOQUINES.

Estos pavimentos estan compuestos en su mayoría por los siguientes elementos: subrasante, base, capa de rodadura (la cuál está integrada por la capa de arena, los adoquines y el sello de arena), confinamiento y drenaje.(fig.3)

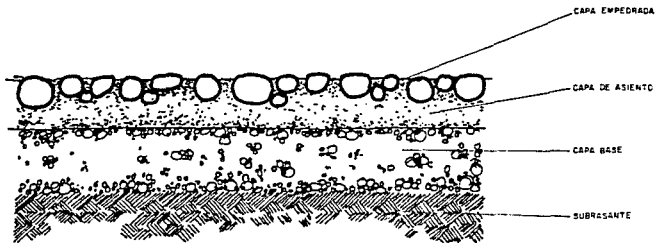


CORTE

CAPAS QUE FORMAN UN PAVIMENTO DE ADOQUINES DE CONCRETO HIDRAULICO

II.1.1.4 PAVIMENTOS EMPEDRADOS.

Definimos un pavimento empedrado como una capa de piedras (canto rodado o fracturada) colocadas a mano o en una capa de concreto pobre y ahogados en ella $\frac{2}{3}$ de su espesor, y que puede considerarse como una carpeta que recibe las cargas de los vehículos y las transmite a la siguiente capa.(fig. 4)



SECCION TRANSVERSAL TIPICA DE UN PAVIMENTO EMPEDRADO

II.2 ADOQUIN.

El adoquín es un bloque fabricado a base de un material resistente, de forma geométrica definida, de pequeñas dimensiones, que permite 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.

II.2.1 ADOQUIN DE CONCRETO HIDRAULICO.

Son elementos macizos, de concreto hidráulico, prefabricados, de espesor uniforme e iguales entre sí, con formas de prismas rectas tal que, al colocarlos sobre una superficie, encajen unos con otros dejando solamente juntas entre ellos.

Además, deben tener una resistencia adecuada para soportar las cargas, y en especial, el desgaste ocasionado por el tráfico.

II.3 ELEMENTOS DE LOS PAVIMENTOS CON ADOQUINES DE CONCRETO HIDRAULICO

II.3.1. CAPA DE RODADURA.

Es la superficie del pavimento que soporta directamente el tráfico, esta compuesta por la capa de arena, los adoquines y el sello de arena.

II.3.2. CAPA DE ARENA.

Es una capa de poco espesor (de 4 a 7 cm.) de arena gruesa y limpia, que se coloca directamente sobre la base, sirve de asiento a los adoquines y como de filtro para el agua que eventualmente puede entrar por las juntas entre éstos.

II.3.3. BASE.

Es la principal capa estructural del pavimento, colocada directamente bajo la capa de arena.

II.3.4. SUB-BASE.

Capa estructural localizada directamente bajo la base, algunas veces se puede prescindir de ella.

II.3.5. SUB-RASANTE.

Es la capa o terreno sobre el cual se construye el pavimento y que le sirve como cimentación. Puede ser un terreno natural o mejorado.

II.3.6. MATERIAL ESTABILIZADO.

Material al cual se le adiciona cemento, asfalto u otro ligante.

II.3.7. SELLO DE ARENA.

Está constituido por arena fina que se coloca como relleno de las juntas entre los adoquines; sirve como sello de los mismos y contribuye al funcionamiento como un todo de los elementos de la capa de rodadura.

II.3.8. CONFINAMIENTO.

Su función consiste en evitar que los adoquines se desplacen por el empuje horizontal que les ejerce el tráfico. Como estructura de confinamiento se pueden emplear bardillas, andenes, muros o la estructura de otro pavimento.

II.3.9. DRENAJE.

Como drenaje se entiende todo aquello que contribuya a la recolección, conducción y evacuación del agua, tanto de la superficie como del interior del pavimento. Al drenaje superficial corresponden los pendientes, tanto longitudinales como transversales, cuentas, etc., al subterráneo las redes de desagüe, filtros, etc.

III. PROPIEDADES DE LOS ADOQUINES.

III.1. TIPOS DE ADOQUINES.

III.2. PROPIEDADES FISICAS.

III.3. PROPIEDADES MECANICAS.

III.1. TIPOS DE ADOQUINES.

De nuestra investigación de mercado llegamos a la conclusión de que no todos los tipos que existen en el mercado internacional son fabricados en nuestro país y aún más, en lo que se refiere a su resistencia a la compresión, existen adoquines que resisten 1 ton/cm² y en los nacionales la resistencia máxima que alcanzan es de 350 kg/cm² además de que existen algunos articulados los cuales evitan desplazamientos horizontales y verticales.

En las siguientes paginas ilustraremos los diferentes tipos de adoquines que son producidos por nuestros fabricantes.

OBJETIVO:

Es propósito de este capítulo mencionar las propiedades físicas y mecánicas de los diferentes tipos de adoquines que existen en nuestro mercado y si éstos cumplen con las especificaciones que señala la Norma Oficial Mexicana en lo que se refiere a adoquines para su uso en pavimentos.

Método de Transport and Road Research Laboratory Inglaterra.

La estructura del pavimento se diseñó con la fig. 2 donde con el valor CBR de 5% no se necesita sub-base mejorada, y por tal motivo la sub-base debe ser gránulos de 22.5 cm. de espesor, con el número de ejes estándar se encuentra el diseño de una base de suelo cemento de 23 cm, una capa de arena de 3 cm y un espesor de adoquín de 8 cm. así el pavimento queda diseñado como sigue:

Sub-base granulado de 22.5 cm.

Base de suelo cemento 23.0 cm

Plantilla 3.0 cm.

Adoquines de concreto 8.0 cm.

56.0 cm.

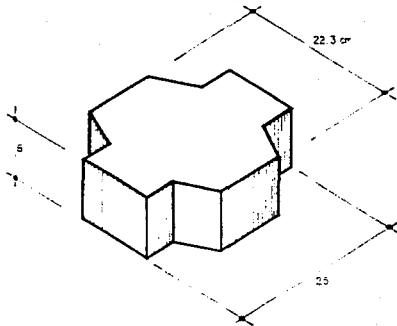
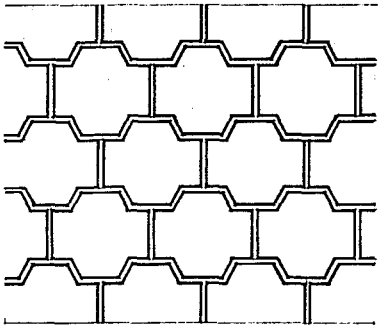
TABLE 2
Subbase Thickness for Lightly Trafficked Roads

Type of road	Design life (years) ^b	Subbase thickness (mm) for stated subgrade type ^a				
		Heavy clay	Silt clay	Silty clay	Sandy clay	Well-graded sand or sandy gravel
Cul-de-sac or other minor residential road	40	400 (550)	400 (550)	190 (300)	140 (230)	80 (80)
Through road or road carrying regular bus routes with up to 25 public service vehicles per day in each direction	40	450 (600)	450 (600)	220 (340)	170 (260)	150 (150)
Major through road carrying regular bus routes with 25-50 public service vehicles per day in each direction ^c	20	440 (590)	440 (590)	210 (340)	160 (260)	150 (150)

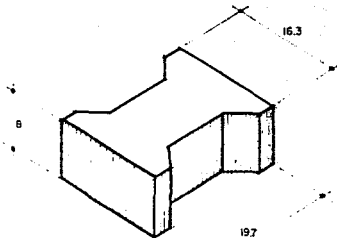
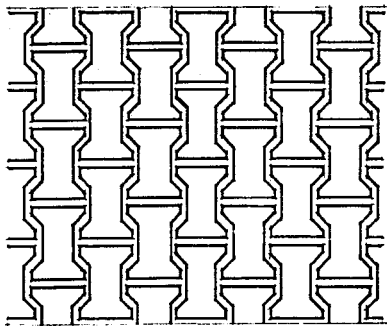
^a The figures in parentheses should be used if the water table is less than 600 mm below formation level.

^b If other design lives are to be considered, direct reference should be made to *Road Note 29*.^{4,7}

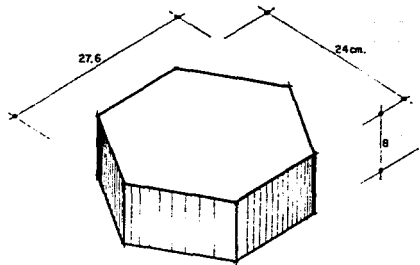
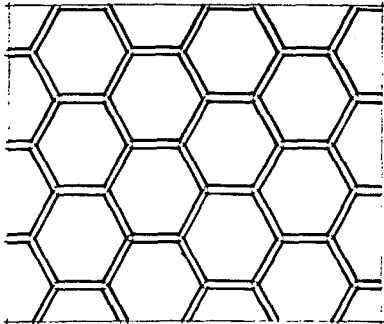
^c *Road Note 29* must be consulted if the subgrade is frost-susceptible.



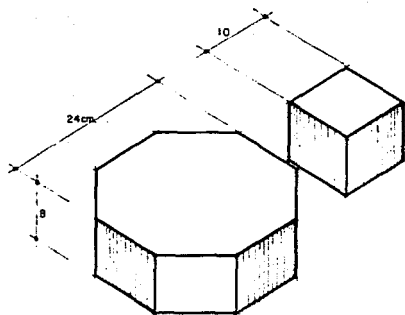
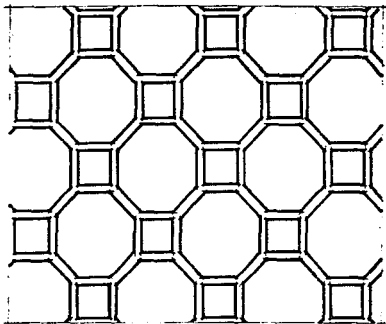
CRUZ



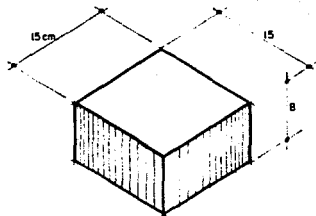
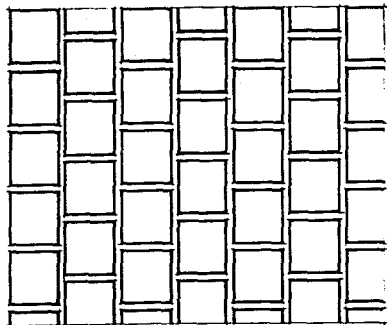
TIPO I



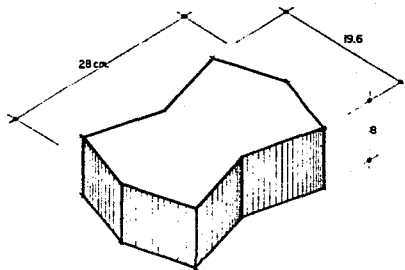
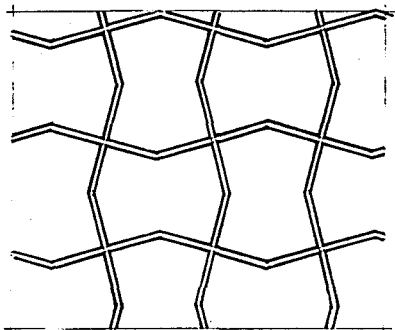
HEXAGONAL



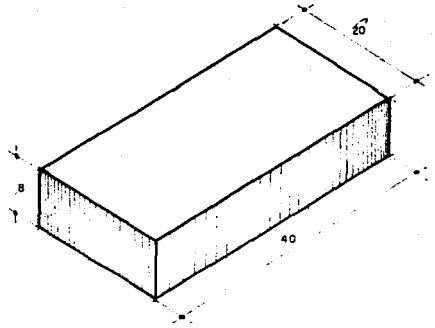
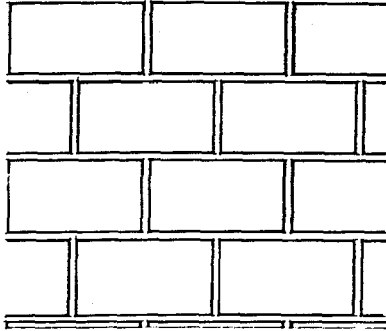
OCTAGONO



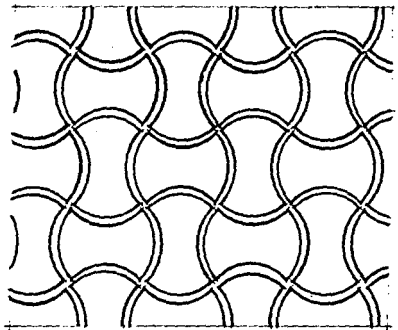
CUADRADO



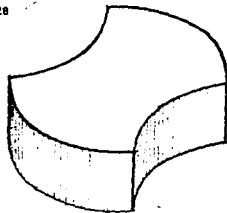
MOÑO RECTO



RECTANGULAR

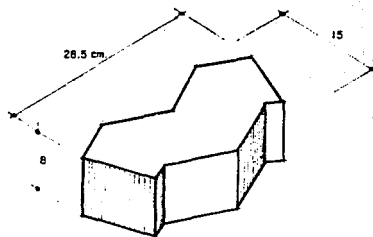
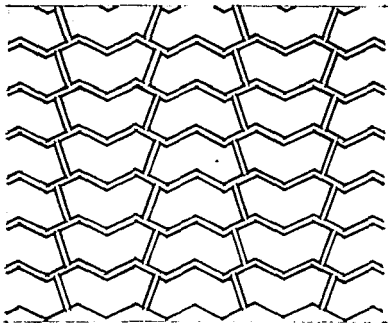


28

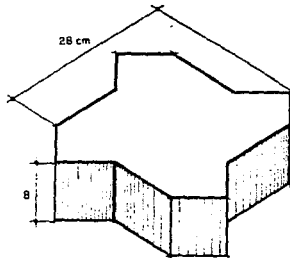
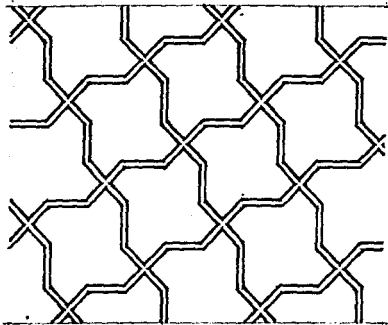


8

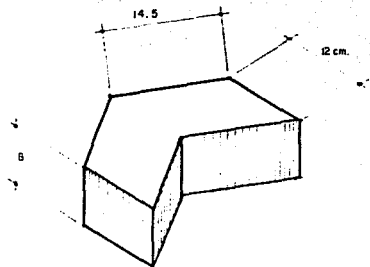
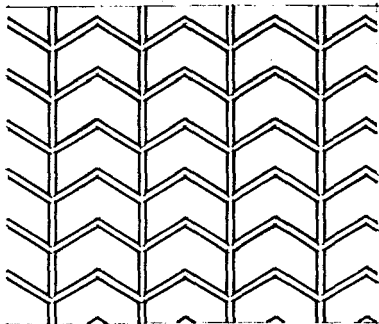
MOÑO CURVO



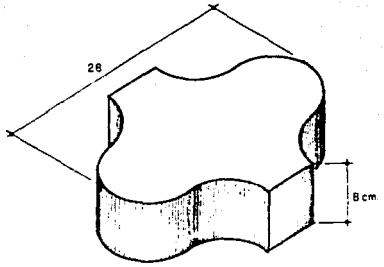
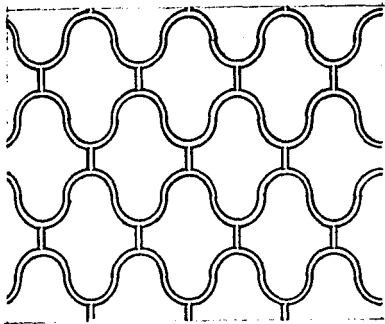
TIPO W

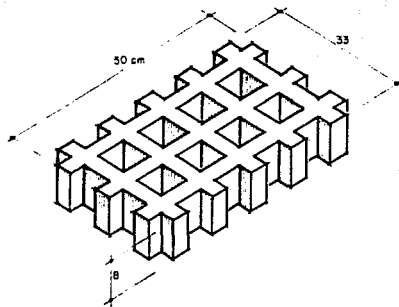
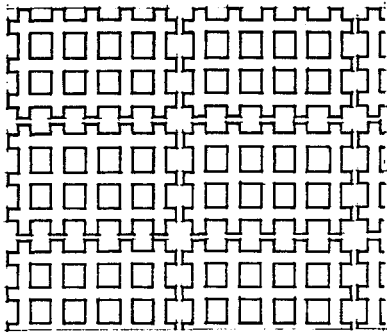


ESTRELLA

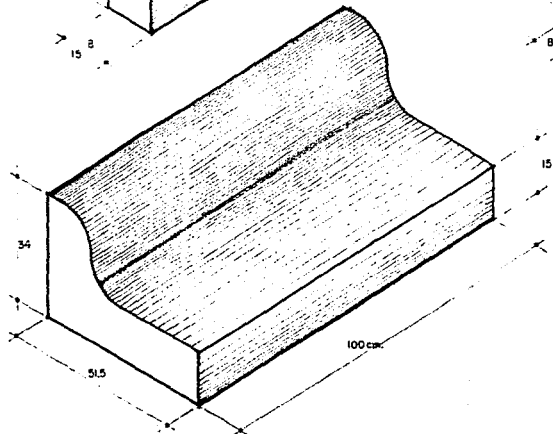
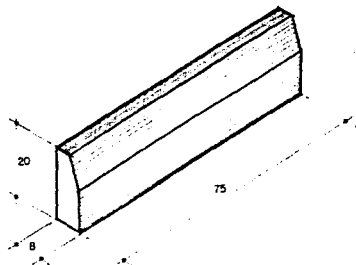
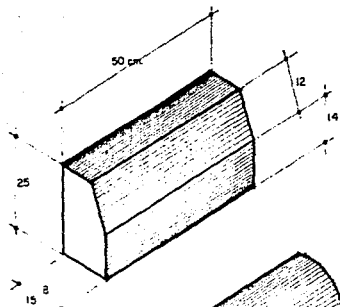


FLECHA

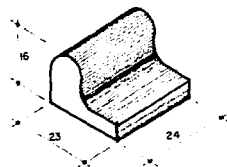




ADOCRETO PARA PASTO



GUARNICIONES



III.2. PROPIEDADES FISICAS.

En cuanto a las propiedades físicas de los adoquines de concreto hidráulico para pavimentos, estos deben de cumplir las especificaciones que marca la Norma Oficial Mexicana (NOM-C314-1986) que se refiere a los adoquines para uso en pavimento y que a continuación transcribimos.

III.2.1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION.

Esta Norma Oficial Mexicana 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 vibrocomprensión o compactación por impacto.

III.2.2. REFERENCIAS.

Esta norma se complementa con 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 Mosaicos.

**NOM-C-83 Industria de la Construcción - Concreto -
Determinación de la resistencia a la compresión de
cilindros de concreto.**

**NOM-C-109 Industria de la Construcción - Concreto
- Cabeceo de especímenes cilíndricos.**

**NOM-C-111 Industria de la Construcción -
Agregados - Especificaciones.**

NOM-C-122 Industria de la Construcción - Agua para concreto.

NOM-C-175 Cemento Portland de escoria de alto horno.

NOM-C-199 Nomenclatura de aditivos químicos para concreto.

NOM-C-200 Aditivos inclusores de aire para concreto.

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

III.2.3. DEFINICIONES.

Para los efectos de ésta norma se establecen las definiciones siguientes:

III.2.3.1. ADOQUIN.

Unidad de concreto precolado de forma prismática, cuyo diseño permite la colocación de piezas en forma contínua para formar pavimentos.

III.2.3.2. TRANSITO LIGERO.

Es aqu el que tiene un número de vehículos acumulados equivalente a ejes sencillos de 8.2 toneladas, a la edad de diseño, menor de 5×10^5 .

III.2.3.3. TRANSITO MEDIO.

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

III.2.3.4. TRANSITO 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 x 10⁶.**

III.2.4. CLASIFICACION.

Los productos objeto de esta norma se clasifican en cuatro tipos, como se indica en la tabla 1 de acuerdo al uso a que se destina el adoquín.

III.2.5. ESPECIFICACIONES.

III.2.5.1. MATERIALES.

III.2.5.1.1. CEMENTO.

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

III.2.5.1.2. AGREGADOS.

Los agregados finos y gruesos empleados para la fabricación de adoquines deben cumplir los requisitos establecidos en la NOM-C-111, en función del uso a que se destinen.

El tamaño máximo nominal no debe ser mayor de 20 mm.

III.2.5.1.3. AGUA.

El agua utilizada en la fabricación de adoquines de concreto, debe cumplir con los requisitos establecidos en la norma NOM-C-122.

III.2.5.1.4. PIGMENTOS.

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

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

III.2.5.1.5. ADITIVOS.

En la elaboración del concreto para adoquines pueden usarse, a la elección del fabricante o a solicitud del comprador, aditivos que mejoren las propiedades del producto.

III.2.5.1.6. OTROS MATERIALES.

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

III.2.5.2. PROTECCION Y CURADO.

Inmediatamente después de fabricados los adoquines, deben protegerse para evitar el secado por la acción de los rayos del sol, viento, deterioro por frío o lluvia se deben curar en cámara húmeda, de vapor, sistema de aspersión o cubriéndolos apropiadamente con una funda de polietileno por el tiempo necesario para alcanzar la resistencia requerida.

III.2.5.3. GEOMETRIA.

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

III.2.5.3.1. DIMENSIONES.

El ancho de la sección mínima de los adoquines no debe ser menor de 80 mm. ni mayor de 250 mm.; la relación largo-ancho

debe ser entre 1.0 y 2.0 y la relación espesor-largo no debe ser menor de 0.20 ni mayor de 0.50.

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

III.2.5.3.2. TOLERANCIAS DIMENSIONALES.

Las dimensiones de cada pieza no deben diferir de las nominales en más de 2 mm. en el largo o ancho ni más de 3 mm. en el espesor.

III.2.5.4. FISICAS.

De acuerdo a las características del diseño y del uso a que se destinen, los adoquines deben satisfacer los requisitos físicos que

aparecen en la Tabla 1 a la entrega del producto.

III.2.6. MUESTREO.

III.2.6.1. CRITERIO DE SELECCION.

Para propósito de aceptación del comprador o su representante autorizado se debe efectuar un muestreo aleatorio de todo el lote según lo indica en

III.2.6.2. NUMERO DE MUESTRAS:

**III.2.6.2.1. EL MUESTREO DEBE SER
ALEATORIO Y EL TAMAÑO
DE LA MUESTRA DEBE SER
COMO SIGUE:**

Tamaño del lote No. de piezas

hasta 10,000 10

10,001-25,000 20

25,001-50,000 30

50,001-100,000 40

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

III.2.6.2.2. LA VERIFICACION DE REQUISITOS GEOMETRICOS DEBE EFECTUARSE ALEATORIAMENTE EN CUANDO MENOS LA CUARTA PARTE DE LAS

PIEZAS MUESTRADAS SEGUN

III.2.6.2.1

III.2.6.3. IDENTIFICACION DE LAS MUESTRAS.

Cada muestra debe marcarse de tal forma que pueda ser identificada en cualquier momento sin dañar la pieza.

III.2.7. METODOS DE PRUEBA.

Los adoquines objeto de esta norma, se deben probar de acuerdo con los métodos dados a continuación.

III.2.7.1. RESISTENCIA DE LA COMPRESION.

Para probar la resistencia a la compresión en los adoquines, se obtienen con cortes con discos de diamantes o carburo de silicio, de la zona central de la pieza cuyas dimensiones en los lados deben ser igual al

espesor de la pieza, deben ensayarse en la posición de servicio y cabecearse previamente de acuerdo a la NOM-C-109.

Antes del ensaye las piezas se secan en horno hasta lograr masa constante.

La máquina y la velocidad de ensaye deben cumplir las especificaciones que indica la NOM-C-83.

III.2.7.2. ABSORCION.

Las piezas se deben secar totalmente y determinar su masa; después se deben sumergir en agua a temperatura ambiente por un periodo de 24 horas; terminando este período se sacan, se elimina el agua

La diferencia en el rendimiento entre métodos de fabricación reside en la maquinaria escogida: hay comunidades que pueden trabajar con equipo muy sencillo, para producir 500 adoquines diarios para sus calles y otras instalaciones industriales que producen 20 a 40 veces más en el mismo tiempo.

superficial con un paño y se calcula la masa inmediatamente a la pieza.

$$\text{Absorción} = \frac{MH - MS}{MS} \times 100$$

MS

En Donde:

MH = Masa húmeda

Ms = Masa seca

III.2.8. REQUISITOS DE ACEPTACION.

III.2.8.1. Para que un lote de adoquines sea aceptado, debe satisfacer los requisitos establecidos en el inciso III.2.5.3 y en la tabla 1.

III.2.8.2. Para cumplir los requisitos establecidos en la Tabla 1, el promedio consecutivo de cinco ensayos a compresión del mismo lote, debe ser igual o par al valor requerido y ningún valor individual debe ser menor del 0.85 de la resistencia requerida.

III.2.8.3. ACEPTACION EN LA OBRA.

Para su aceptación en la obra los adoquines deben estar libres de defectos visibles que afecten su colocación adecuada o que perjudiquen sus características de resistencia, así mismo no deben existir diferencias notables en colocación.

Los poros superficiales no deben considerarse motivo de rechazo.

TABLA 1

REQUISITOS FISICOS				
TIPO	ESPESOR MINIMO EN CM.	ABSORCION EN AGUA POR 24 HRS (% MAX)	RESISTENCIA A LA COMPRESION EN N/mm² (Kgf/cm²)	APLICACION
A	4 a 6	8	24.0 (250)	Andadores, plazuelas, banquetas y cocheras.
B	8	8	24.0 (250)	Tránsito ligero en zonas residenciales.
C	8	8	29.0 (300)	Tránsito medio en calles y estacionamientos de servicios.
D	8 ó más	8	34.0 (350)	Tránsito pesado.

III.2.9 FABRICACION

En la fabricación del adoquín se emplean dosificaciones ricas en cemento y agregados con granulometrías perfectamente seleccionadas y clasificadas, con el fin de obtener concretos compactos y resistentes al desgaste.

El mezclado con relaciones; agua - cemento bajas, en las cuales se incluyen pigmentos integrales para dar el color.

El proceso de moldeo se hace en maquinaria especial para moldear estas piezas, mediante vibro-compactación; obteniéndose en esta forma adoquines con alta resistencia a la compresión, flexotensión, impacto, desgaste por fricción e intemperismo.

Una vez terminado el proceso de fabricación siguen los adoquines un ciclo de curado, con el cual se acelera la resistencia final de la pieza.

Por otro lado estudios realizados en Centro América nos dicen que:

No hay secreto especial para fabricar adoquines: basta solamente emplear buenas mezclas de concreto de más de 250 kg/cm² a los 28 días, todas las otras normas para realizar buenos concretos de prefabricación son las que deben aplicarse. El acabado y el aspecto del adoquín es relativamente importante, a pesar que incide bastante en los costos: Casi siempre depende de las buenas granulometrías empleadas.

III.3. PROPIEDADES MECANICAS.

La documentación disponible sobre este tema es bastante limitada y no existen estudios formales a nivel nacional que nos definan el comportamiento mecánico de los adoquines utilizados en un pavimento, sin embargo, a nivel internacional existen una serie de recomendaciones sobre la materia, de los cuales me permito mencionar algunas.

III.3.1. CARGAS A LAS CUALES ESTA SOMETIDO EL ADOQUIN.

Partiendo del esquema básico de conformación de un pavimento de adoquines, se asume que un adoquín está sometido a tres tipos de cargas: climáticas, de agentes externos y estructurales.

III.3.1.1. CARGAS CLIMATICAS.

En éstas, son considerados los ciclos de dilatación y contracción térmicos. Se sabe que el coeficiente de expansión térmica lineal del concreto varía entre 11×10^{-6} y

20×10^{-6} por $^{\circ}\text{C}$. Esto implica que para una variación extrema de $+15^{\circ}\text{C}$ de la temperatura a la cual fueron colocados los adoquines, de tal manera que, para una longitud de 20 cm., medida común para los adoquines rectangulares, se tendría una variación en la longitud aproximada de $+6 \times 10^{-3}$ cm, magnitud despreciable comparada con las juntas que existen entre los adoquines, normalmente con valores entre 2 y 5 mm.

Adicionalmente el adoquín se diseña como una pieza maciza con pocas salientes y entrantes (en algunos casos), de manera que no se inducen esfuerzos por dilatación o contracción diferenciales dentro del mismo adoquín.

En lo que se refiere a posibles ciclos de humedecimiento y secado, éstos no alteran de manera considerable el adoquín y dado su poco espesor y su rigidéz, no se presentan problemas por secado diferencial entre la cara superior libre y la inferior en contacto con la base.

El congelamiento y el descongelamiento es un problema serio para los países situados más allá del paralelo 30, con un régimen severo de estaciones pero vale la pena mencionar que el agua que se infiltra dentro de la masa del concreto al congelarse se expande y produce esfuerzos tales que sobrepasan la resistencia o la tracción del concreto, fisurando el adoquín. Para disminuir este problema es

recomendable incorporar aire dentro del volumen de concreto, de manera que con la interrupción de los capilares se disminuya la entrada del agua y a la vez se cree un espacio libre que pueda ocupar el agua congelada. Otra manera de evitar este efecto es tener relaciones agua/cemento de aproximadamente 0.5.

III.3.1.2. AGENTES EXTERNOS.

Se entiende como agentes externos, aquel tipo de solicitaciones diferentes a los climáticos y a los puramente estructurales (cargas producidas por el tráfico).

La abrasión ocasionada por el paso de las llantas se puede convertir en un problema cuando se tienen concretos sumamente débiles. Para abrasión de llanta neumáticos

y tráfico peatonal intenso se recomienda aumentar la resistencia a la compresión y así aumentamos la resistencia a la abrasión y también al desgaste de la pasta y de los agregados.

Otra sollicitación importante en los pavimentos es el ataque químico por derrame de substancias sobre el pavimento. Los derrames más frecuentes de aceite y gasolina y disel no afectan los adoquines de manera considerada más allá del color de su superficie. Es importante señalar que mientras menor sea la relacion agua/cemento y la porosidad, menor posibilidad se tendrá de ataques por agentes externos.

III.3.1.3. CARGAS ESTRUCTURALES.

Antes de considerar las cargas que soporta un adoquín se le debe definir como estructura.

III.3.1.3.A. CONSIDERACIONES FUNDAMENTALES.

Puesto que cada adoquín funciona como una pieza independiente ligado a los demás sólo a través de la fricción que se pueda generar en las juntas rellenas, se asume su funcionamiento al de un bloque aislado sometido, como una viga, a cargas verticales sobre su cara superior y con unas condiciones de apoyo que se pueden asumir desde simplemente apoyado en sus extremos hasta considerarlo como una viga sobre una capa elástica; su condición de apoyo continuo sobre la cara inferior

contra la base de arena hace suponer que este análisis sea el que mas se asemeje a la realidad.

III.3.1.3.B. PARAMETROS.

Dentro del análisis estructural de un adoquín es necesario estandarizar sus dimensiones tomándose los siguientes espesores en los cuales coinciden casi todas las normas: 6 cm. (tráfico peatonal), 8 cm (tráfico vehicular normal) y mas de 10 cm. (tráfico vehicular pesado, patios de carga, puertos, etc.).

Como adoquín típico se ha tomado el prismático o alguna de sus variantes de 20 cm de longitud por 10 cm. de ancho que es aceptado universalmente por su tamaño, peso y posibilidad de colocación.

En lo que se refiere a las cargas que recibe un adoquín, podemos suponer que si la huella de una llanta tiene una longitud de 27 cm. y un ancho de 15 cm aproximadamente, sobre un adoquín se pueden tener diferentes estados de carga, desde una superficie totalmente libre hasta totalmente cubierta por la huella de la llanta, que se asume como una carga uniformemente distribuída con una magnitud, equivalente a la presión de inflado.

III.3.1.3.C. ANALISIS ESTRUCTURAL.

Puesto que en el diseño y construcción de pavimentos se considera como fundamental la homogenidad de las capas que conforman su estructura, no existe fundamento alguno para considerar otro

tipo de viga con extremos libres apoyada en toda una cara inferior sobre el terreno, en este caso la base.

Sin embargo, se considera además la posibilidad de tener un apoyo perimetral por fricción con los otros adoquines a través de la junta, determinar esta fricción es casi imposible; a los adoquines se les permiten tolerancias de fabricación de + 2 mm. en su longitud y ancho y generalmente se especifica una junta que varía entre los 3 y 5 mm., rellena de un material que aún hasta la fecha los expertos en la materia no han logrado especificar ya que hay quienes recomiendan sellos de arena, bentonita o cemento asfáltico.

Pero lo que se reconoce es la importancia de mantenerla pequeña y bien rellena, para garantizar la transmisión de fuerza entre adoquines.

La diferencia que existe entre la solución de la viga como articulada y apoyada sobre la base, y la solución estática como simplemente apoyada es muy pequeña dada la condición de viga corta que tiene el adoquín, pero ambos son muy diferentes a la solución con extremos libres que siempre da como resultado momentos máximos menores, con desplazamientos verticales considerables.

Si se tomara en cuenta la fricción, el momento resultante provendría de la

combinación de una parte de la carga sostenida por el adoquín como viga libre, y el resto como viga simplemente apoyada o articulada. Puesto que en ambos casos la solución es una función directa de la carga y siempre es mayor para la condición simplemente apoyada, se deduce que al tomar en cuenta la fricción resultaría una sollicitación mayor para el adoquín. Es importante que esta sollicitación adicional sea cubierta por un factor de seguridad.

Para el análisis de las cargas sobre los adoquines hay que considerar como ya se ha dicho para el caso de carga máxima que es posible de terminar y es el de la llanta cruzando el adoquín transversalmente.

Puesto que el análisis como viga con extremos libres da como resultado la ausencia del momento cuando el adoquín está totalmente cubierto por la llanta (cruce longitudinal) y el máximo se encuentra para un ancho de carga igual a la mitad del claro sólo en un adoquín de 30 cm de largo se tendría la condición más desfavorable para los 15 cm del ancho de una llanta.

Puesto que los esfuerzos de compresión en la cara superior y los de tracción en la cara inferior generados son iguales, y la resistencia a la tracción del concreto es aproximadamente un décimo de la resistencia a la compresión, el adoquín fallará por tracción en su cara inferior de

modo que el cemento debe tener unas características tales que resistan dicha carga.

Como los adoquines están sometidos a cargas repetidas, se presenta la posibilidad de falla por fatiga, lo cual no es tan grave como en los pavimentos con losas de concreto pues el comportamiento de un adoquín partido por el centro es casi idéntico al de los adoquines con la mitad del área de cada uno; sin embargo no es deseable tener al final de la vida útil del pavimento de adoquines gran cantidad de estos fisurados, Si se quiere evitar la falla por fatiga es necesario introducir un factor de seguridad de carga, el cual varía entre 2 y 2.5.

IV. DISEÑO DE PAVIMENTOS CON ADOQUINES

IV.1. DISEÑO

IV.2. CONSTRUCCION

IV.3. CONSERVACION

IV.4. EVALUCION Y RENOVACION DE PAVIMENTOS

IV. DISEÑO DE PAVIMENTOS DE ADOQUINES DE CONCRETO.

IV. DISEÑO

Este es uno de los capítulos más difíciles, en virtud de la poca información que existe a nivel nacional e internacional, pero podemos decir que se han hecho investigaciones muy importantes en países como Alemania, Austria, Dinamarca, Holanda, Inglaterra, Israel, inclusive uno de los estudios más completos sobre pavimentos de adoquines de concreto es el realizado en Australia. Dentro del continente americano, existen experiencias en Argentina, Nicaragua, Colombia.

En general podemos decir que los métodos de diseño para este tipo de pavimentos los podemos clasificar en:

IV.1 Los metodos posibles para el diseño de pavimentos de adoquines pueden ser divididos en:

IV.1.1. Diseño en base a la experiencia.

IV.1.2. Diseño modificando los procedimientos existentes para pavimentos flexibles o rígidos.

IV.1.3. Diseño basado en pruebas de tráfico.

IV.1.1. Diseño en base a la experiencia.

Este método se apoya en la experiencia como su nombre lo dice, pero tiene grandes inconvenientes, como, el ser muy local, es decir, un país puede desarrollar un buen método que le sea útil para ellos pero no para otros países debido a que existen diferentes condiciones geográficas, climáticas, de tráfico de materiales, etc.

IV.1.2. Diseño modificando los procedimientos existentes para pavimentos flexibles y rígidos.

Algunos autores consideran que este tipo de pavimentos pueden ser diseñados utilizando los métodos tradicionales para pavimentos flexibles o rígidos^h haciendo algunas consideraciones como son las siguientes:

- En Argentina el espesor de la sub-base es equivalente a 2.5 veces el espesor del adoquín, incluyendo la capa de arena.

- En Inglaterra establecen una equivalencia de que 80 mm de adoquín y 50 mm de base equivalente estructuralmente a 160 mm de asfalto.

Los mejores ejemplos de diseño para adoquines basados en la equivalencia fueron publicados en Inglaterra por la Cement and Concrete Association, incorporando mediciones del esfuerzo de la subrasante a través del C.B.R.

Para camino de tráfico ligero los Australianos, suponen que la capa de adoquin y de arena equivalen a la carpeta asfáltica: por lo tanto lo único que se tiene que diseñar es la sub-base a través de la Road

Note 29. Dichos resultados se muestran en la tabla no. 2 cabe señalar que esa equivalencia nunca será menos a 150 mm.

Para caminos de tráfico pesado se presupone la existencia de una base que sostiene a los adoquines y la capa de arena, dicha base puede ser de concreto pobre o concreto asfáltico, la cual se diseña utilizando el C.B.R. de la subrasante; este espesor no será menor de 100 mm.

IV.1.3. Mecanismo de diseño.

Diseño basados en pruebas de tráfico al igual que para el diseño de los pavimentos flexibles como los realizados en Ottawa, Canada. Para este tipo de pavimentos la University of New South Walles a través de la Cement and Concrete Association realizo

un estudio de tráfico acelerado cuyos resultados hasta la fecha son cuestionables.

EJEMPLO: (Utilizando el método Australiano)

Un pavimento industrial deberá soportar 100 movimientos de un vehículo triaxial por día, dos de los ejes cargan 8,000 kg c/u y el tercero 7,500 kh. En otros vehículos de 2 ejes cada uno, cada eje carga 10,000 kg y utilizan el pavimento 260 veces al día.

Se proyecta una duración de 20 años y se tomarán en cuenta 310 días hábiles por año. El NAF se encuentra 1m. debajo del nivel de excavación; y la capa subrasante es una arcilla limosa con un CBR = 5%

El espesor de la sub-base se determina en base al CBR de la subrasante en la fig. 6a. de la Road Note 29.

Espesor de la subbase = 28 cm.

De la fig. 6b. de las mismas notas se obtiene el espesor de la base

base = 10 cm concreto baja resistencia

finalmente el pavimento queda estructurado así:

Adoquinado 8.0 cm

Plantilla 5.0 cm concreto baja resistencia

Base 10.0 cm

Sub-base 28.0 cm

51.0 cm

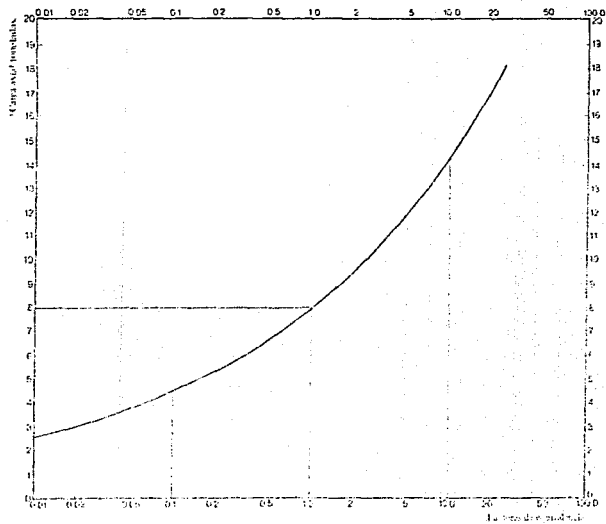


Figura 3. La influencia desfavorable relativa de las diferentes cargas axiales.

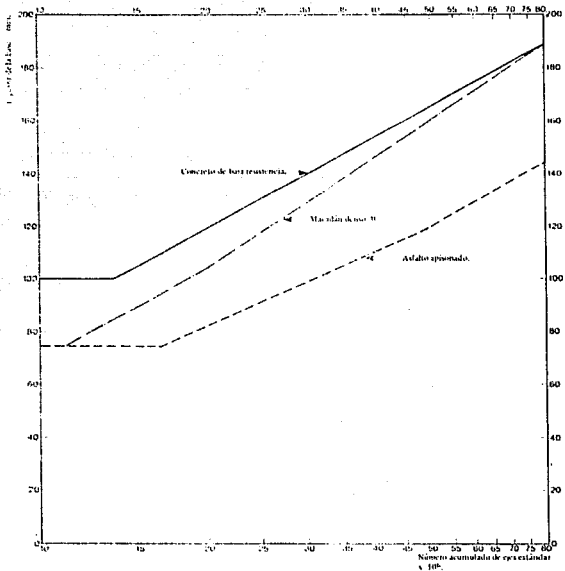
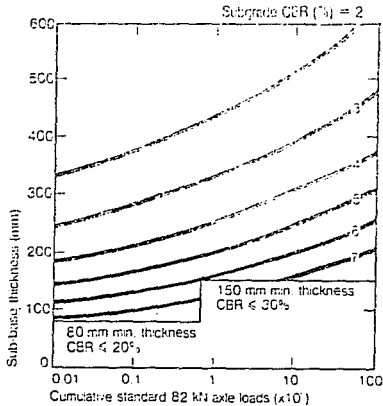


Figura 4. Los espesores de base, requeridos bajo los adoquines, en pavimentos que soportan hasta 80 millones de cargas axiales estándar.

FOR BLOCK THICKNESS = 80 mm

(a) SELECTION OF SUB-BASE THICKNESS



(b) SELECTION OF BASE THICKNESS

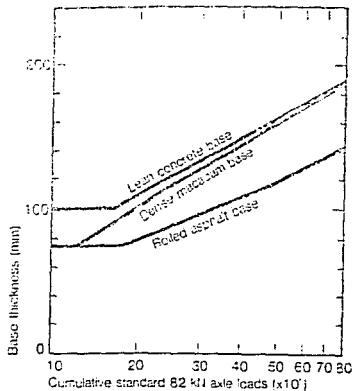


FIG. 6. British block pavement designs for heavy traffic.^{46,47}

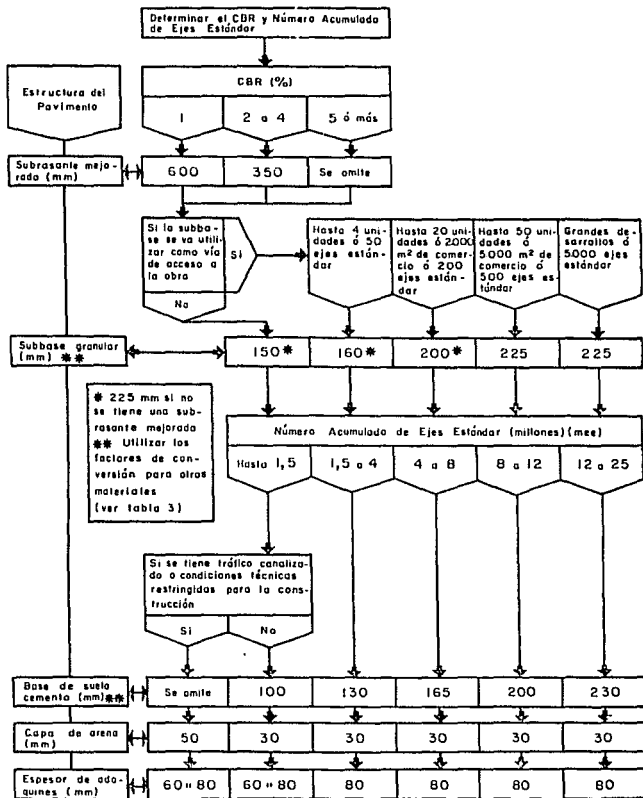


Figura 2. Procedimiento de diseño de un pavimento

IV.2. CONSTRUCCION

Se sabe que la construcción de pavimentos con adoquines de concreto es un proceso simple, el cual es necesario realizarlo con precisión en cada una de sus etapas para su correcto comportamiento. Como ya hemos dicho anteriormente, un pavimento de este tipo esta constituido por el subrasante, la base, la capa de rodadura, el confinamiento y drenaje.

IV.2.1. SUBRASANTE

Es el terreno natural o mejorado sobre el cual se construye el pavimento y le sirve de cimentación; en el caso de utilizar el terreno natural como subrasante, se recomienda dejar los 30 cm. más superficiales y compactarlos con la humedad adecuada para evitar posibles asentamientos irregulares a futuro.

A esta capa se le dará el mismo perfil especificado para la superficie de adoquines, de tal manera que al colocar la base y la capa de arena, ambos con un espesor uniforme, se llegue a las cotas de diseño.

IV.2.2. BASE

Consiste en una capa de material grueso que debe ser compactada convenientemente; al igual que para otros tipos de pavimentos, el espesor de la base depende de lo compactado de carga subrasante, de la calidad de la base misma, y el tráfico que va a recibir el adoquinado; una buena recomendación para la selección del espesor de la base puede ser apartir del espesor que se emplearía para un pavimento asfáltico en condiciones similares, ya que dicho espesor puede ser reducido a la mitad o a las dos terceras partes, inclusive en casos muy especiales y cuando las condiciones de tráfico y de la calidad de

la subrasante o del terreno natural lo permitan, la capa de base puede ser eliminada.

Una alternativa como material de base es el suelo-cemento que, además de proporcionar una alta capacidad de carga, alta impermeabilidad y adecuada duración, y que en muchos casos resulta más económico que los materiales convencionales para bases.

IV.2.3. CAPA DE RODADURA

CAPA DE ARENA

La arena que se utilice como material de la capa sobre la cuál se van a colocar los adoquines, será limpia y tendrá granulometría continua; se almacenará de tal manera que se pueda manejar sin contaminarla y se deberá proteger de la lluvia para

que su contenido de humedad sea el menor y lo más uniforme posible. Antes de utilizarla se revolverá para buscar su uniformidad.

Desde que se tamiza (en caso de ser necesario) la arena hasta la colocación de los adoquines sobre la capa de arena ya conformada, ésta no sufrirá ningún proceso de compactación. Para que se pueda garantizar una densidad uniforme en toda la capa, ésta se colocará con un espesor uniforme en toda el área del pavimento, por lo cual no se podrá utilizar para compensar irregularidades o deficiencias en el nivel de la base.

El espesor suelto de la capa de arena será tal que una vez compactado el pavimento, dicha capa de arena quede con un espesor de 3 cm., lo cual se logra con un espesor suelto constante de 4 o 5 cm.

Si la arena ya colocada sufre algún tipo de compactación se le dará varias pasadas con un rastrillo para devolverle la soltura y se enrasará de nuevo. No se permitirá colocar adoquines sobre una capa de arena que haya soportado lluvia, lo que implicará tener que levantarla, devolverla a la zona de almacenamiento y reemplazarla por otra.

ADOQUINES.

Los adoquines que se utilizarán para este tipo de pavimentos deberán de cumplir con las especificaciones que marca la Norma Oficial Mexicana (NOM-C314-1986).

El transporte y manejo de los adoquines desde la planta de fabricación hasta la obra se hará de manera ordenada, por métodos manuales o mecánicos que no alteren el acabado de las piezas,

así mismo, al transporte de los adoquines dentro de la obra se hará también cuidando la calidad de los mismos.

La colocación de los adoquines seguirá un patrón uniforme que se controlará con hilos para asegurar su alineación transversal y longitudinal.

El patrón de colocación está regido por la forma de los adoquines que podemos clasificar en tres principales categorías.

CATEGORIA UNO.- Adoquines rectangulares, con una relación largo y ancho igual a dos; con un ancho de 10 ± 1.5 cm. Para que se puedan tomar con una sola mano; con bordes rectos, que se puedan colocar en hileras o siguiendo el patrón "Espina de pescado".

CATEGORIA DOS.- Adoquines con tamaño y proporciones a las de la categoría uno, pero que sólo se pueden colocar en hileras.

CATEGORIA TRES.- Adoquines con un tamaño mayor al de las anteriores, con formas características y que sólo se pueden colocar siguiendo un patrón, que no siempre conforma hileras fácilmente identificables.

Para la categoría uno se preferirá el patrón "Espina de pescado", dispuesto en cualquier ángulo sobre la superficie pues no tiene un sentido preferencial de circulación. En vías con sentido de circulación definido y adoquines de la categoría uno se podrán colocar en hileras, siempre y cuando éstos sean perpendiculares a dicho sentido de circulación.

Para la categoría uno el patrón de colocación "Espina de pescado" se podrá seguir de manera continúa sin necesidad de alterar su rumbo al doblar esquinas o seguir trazas curvas. Si los adoquines se colocan en hileras estos deberán cambiar de orientación para respetar siempre la perpendicularidad al sentido preferencial de circulación.

Para la categoría dos, los adoquines se colocarán preferiblemente en hileras perpendiculares al sentido preferencial de circulación.

Si se tienen adoquines de la categoría tres, que se puedan colocar en hileras, estos quedarán, de ser posible, perpendiculares a la dirección preferencial de tráfico.

Por otra parte los adoquines se colocarán directamente sobre la capa de arena ya enrasada. Se colocarán al tope de tal manera que las caras laterales generen juntas que no excedan los 5 mm. No se deben nivelar individualmente.

En zonas y calles con pendiente bien definidas, la construcción de pavimentos y en particular la colocación de los adoquines se hará preferentemente de abajo hacia arriba.

Una vez que se haya terminado de colocar los adoquines que quepan enteros dentro de la zona de trabajo, se colocarán ajustes en los espacios que hayan quedado libres contra las estructuras del drenaje o de confinamiento.

Dichos ajustes se harán, preferentemente, partiendo adoquines en piezas con la forma necesaria en cada caso o bien con piezas especiales que algunas veces ya son fabricadas por los proveedores y también con concreto hidráulico; para los espacios, con una área equivalente a 0.25 o menos de un adoquín, se harán después de la compactación inicial e inmediatamente antes de comenzar el sellado de las juntas, llenándolos con una mezcla de cemento, arena y agua.

COMPACTACION.

Para la compactación de la capa de adoquines se utilizará una máquina vibro compactadora de placas.

Para adoquines de 6 cm. de espesor se recomienda que el equipo tenga una placa con una área entre 0.2

y 0.4 m^2 y para adoquines de 8 cm. o más el área deberá estar entre 0.25 Y 0.5 m^2 .

Cuando se terminen los ajustes con piezas partidas, se procederá de inmediato a la compactación inicial de la capa de adoquines mediante, al menos, dos pasadas desde diferentes direcciones, con la máquina vibro compactadora de placa. Si no se dispone de este equipo se podrán utilizar rodillos manuales, duplicándose el número de pasadas.

El área adoquinada se compactará hasta un metro del borde de avance de la obra o de cualquier borde no confinado. Al terminar la jornada de trabajo, los adoquines habrán recibido, al menos, la compactación inicial, excepto la franja de un metro ya descrita.

Después de la compactación inicial pueden resultar algunos adoquines partidos, los cuales todavía son fáciles de extraer en esta etapa de construcción y deben ser reemplazados en el pavimento ya terminado. Solamente se admitirá un 1% de adoquines partidos y ninguno exhibirá fractura múltiple.

Inmediatamente después de la compactación inicial se procederá al sellado de las juntas entre adoquines y la compactación final, previa ejecución de los ajustes con mortero.

Durante la compactación final, cada punto del pavimento recibirá al menos cuatro pasadas con el equipo recomendado, preferentemente desde distintas direcciones. En cada pasada se cubrirá toda el área en cuestión antes de repetir el proceso.

Será deseable que la superficie del pavimento de adoquines ya terminada, evaluada con la regla de tres metros sobre una línea que no esté afectada por cambios de pendiente, no se separara de la regla más de 1 cm., medido siempre sobre la superficie de los adoquines.

EL SELLO DE ARENA

La arena que se utilice para sellar las juntas entre adoquines estará lo más limpia de materia orgánica y contaminantes como se pueda y tendrá una granulometría continúa. En el momento de su utilización, la arena para el sellado de las juntas estará lo suficientemente seca y suelta para que pueda penetrar, por barrido, dentro de las juntas. Para que la arena penetre por las juntas es necesario barrerla con una escoba o cepillo de cerdas largas y duras, repetidamente y en distintas direcciones, dicho barrido se repetira antes de o simultaneamente

con cada pasada del equipo vibro compactador y al final de la operación de manera que las juntas queden totalmente llenas.

Se dejará, durante al menos dos semanas, un sobrante de arena esparcida sobre toda la superficie del pavimento de adoquines ya terminado de manera que el tráfico y las probables lluvias ayuden a acomodar la arena y con esto a que el sello se consolide. Si esto no fuera así, el constructor regresará a las dos semanas y efectuará un barrido de más arena para rellenar los espacios que se hayan abierto por acomodamiento de arena dentro de las juntas.

Por otro lado no se permitirá el lavado de pavimento con chorro de agua a presión, ni inmediatamente después de su terminación, ni a edades posteriores;

dicho método puede desalojar material de las juntas, con el consiguiente perjuicio. Se aconseja la limpieza por barrido o cepillado. La utilización de manguera, como aquella para lavado de automóviles o regado de plantas y jardines, no es perjudicial siempre y cuando no se trate de lavar las juntas con el chorro de agua.

IV.2.4. CONFINAMIENTO.

El confinamiento será una estructura capaz de impedir el desplazamiento lateral de la capa de adoquines debido al empuje del tráfico vehicular, y además deberá resistir directamente dicho empuje. El confinamiento rodeará completamente el área del pavimento de adoquines, bajo una o varias de las siguientes formas: muros, banquetas, estructuras de drenaje,

bardillas, la estructura completa de otro pavimento, o similares. Estas estructuras de confinamiento podrán sobresalir o estar por debajo de la superficie del pavimento sin que en ningún caso se vea afectada la capa de arena.

La estructura de confinamiento se construirá preferentemente antes de colocar la capa de rodadura. De no ser así se tendrá un cuidado especial para no perturbar los adoquines del borde, ni antes de, ni durante dicha actividad. Cuando se construyan guarniciones o bardillas, colados en sitio o prefabricados, y que no vayan a tener ninguna estructura de soporte al lado contrario del pavimento, se le construirá un contrafuerte de concreto

que le ayude a contrarrestar el posible empuje y evitar su volcamiento dejando así de cumplir su función para lo cual fueran diseñados.

IV.2.5. DRENAJE.

DRENAJE SUPERFICIAL

Es muy importante en este tipo de pavimentos, asegurar que el flujo de las aguas superficiales hacia las estructuras del drenaje sea lo más eficiente posible ya que la presencia constante de agua (charcos) podría dañar el pavimento; la pendiente transversal a uno o ambos lados de la calle será al menos del 3% la cuál conducirá el agua hacia cunetas elaboradas con concreto vaciado o prefabricados. En el caso de construir cunetas con adoquines, la transición entre estos y la superficie

del pavimento podrá ser continua, o escalonada en no más de 3 cm. Si la pendiente longitudinal es menor del 1% las cunetas se construirán de concreto.

Por otro lado, el diseñador determinará para la superficie del pavimento, unas cotas tales que después de selladas y compactadas quede al menos 1.5 cm por encima del nivel de cualquier estructura existente dentro del pavimento. El constructor tendrá especial cuidado con este requisito.

DRENAJE SUBTERRANEO.

Sería deseable que el nivel freático esté al menos 40 cm. por debajo de la subrasante. En los casos en que esto no fuera posible, se abatirá mediante la construcción de las estructuras de drenaje necesario (filtros).

Cuando se tengan bases no drenantes o se coloque la capa de arena directamente sobre el terreno natural, se construirá en la parte más baja del pavimento un sistema de filtros que garantice la evacuación de agua que pueda penetrar a través de las juntas.

IV.3. CONSERVACION.

El mantenimiento de un pavimento de adoquines de concreto es muy reducido y consiste en:

IV.3.1. MANTENIMIENTO DEL SELLO DE ARENA.(Conservación preventiva)

Al menos una vez al año se revisará el estado del sello de las juntas y la existencia de vegetación dentro de estos; si así fuerá, se retirará el material vegetal y se rellenará dichas juntas nuevamente con arena, como se explicó en el parrafo IV.2.3.

IV.3.2. RENIVELACION DE LA SUPERFICIE

(Conservación correctiva)

Cuando se tengan hundimientos localizados o huellas en aquellos puntos por donde se tiene circulación canalizada, pero no se presenta alteración generalizada en toda la superficie del pavimento, se procederá a reparar la zona dañada retirando los adoquines, la capa de arena y corrigiendo el nivel superior de la base. En caso de tener que adicionar material a la base se escarificará y se utilizará un material con las mismas propiedades que el existente, compactándolo con el equipo adecuado. Cuando el área a compactar sea muy reducida se levantarán algunos adoquines adicionales para permitir la utilización de la máquina vibro compactadora de placa y al mismo tiempo ensanchar el área donde se va a nivelar la arena, y poder ajustar de nuevo, en el espacio

disponible, los adoquines que se retiraron previamente. Para la ejecución del trabajo de nivelación se tiene que tomar en cuenta los sobreespesores necesarios, tanto en la base como en la capa de arena, para que una vez terminado el trabajo, las zonas niveladas tengan las cotas adecuadas.

IV.4. EVALUACION, REPARACION Y RENOVACION.

IV.4.1 EVALUACION

Cuando un pavimento de adoquines de concreto presenta huellas pronunciadas aproximadamente de 3 cm. en zonas de menor tráfico, y estos no corresponden a problemas localizados como cambios de materiales o deficiencias en el drenaje, y además van acompañados de irregularidades, son un indicador de que el pavimento ha llegado al final de su vida útil.

IV.4.2. REPARACION

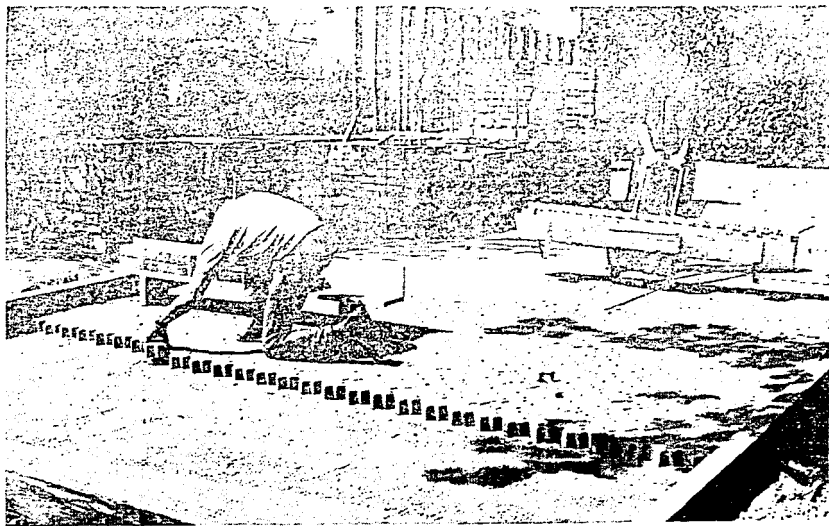
Algunas veces se presentan daños por mala compactación de las capas que conforman el pavimento, por el mal funcionamiento de las redes de servicios o quizás, porque se necesite ejecutar trabajos como tendido o cambio de los mismos. En estos casos se harán las reparaciones necesarias, pero solamente sobre el área específica; antes de emprender la reparación de un pavimento, se verificará la cota donde se encuentre el nivel freático, el adecuado funcionamiento del sistema de drenaje subterráneo (si se dispone de él), y ^{de la} necesidad de modificar o no el esquema de drenaje superficial en cuanto a pendientes, estructuras y filtros.

En una reparación sólo será indispensable incorporar materiales nuevos para reemplazar materiales defectuosos (base, adoquines), algunas

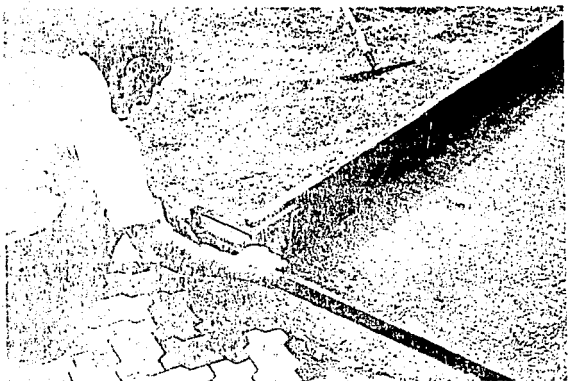
piezas que haya sido necesario destruir para comenzar o desarmar la capa de adoquines, el material de base complementario y la arena para el sello y la capa de arena.

IV.4.3. RENOVACION

Una vez que un pavimento ha llegado al final de su vida útil, es necesario hacer una reconstrucción, a escala mayor, de toda su estructura. Esto implica levantar los adoquines y la arena, retirar el material de base, si este no es apto para ser utilizado, o adicionar material nuevo, mezclándolo con el existente y construirlo nuevamente según las especificaciones de diseño para ese momento ya que las condiciones de tránsito pueden haber cambiado.



Organización en la obra. El trabajador toma los adoquines de una tabla, mientras otro hombre transporta una tabla en la carretilla.

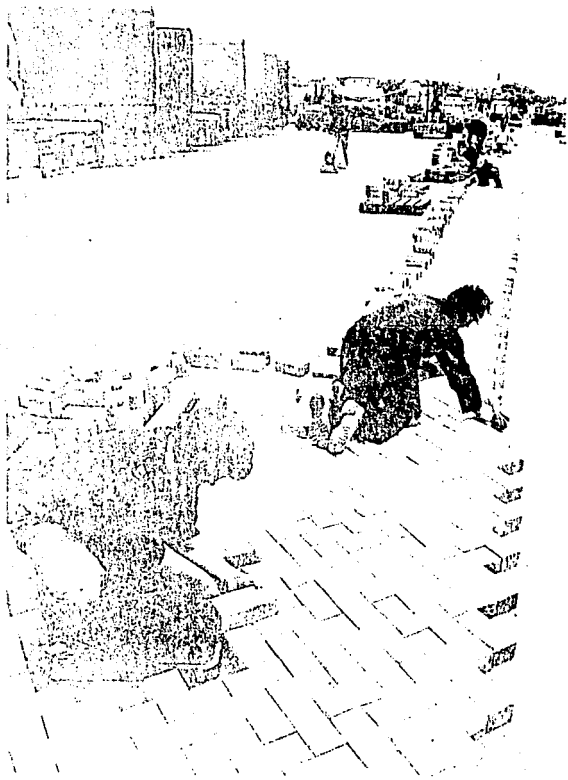


Enrasado entre rieles temporales de enrase.



Colocación de los adoquines.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA



Una superficie extensa de colocación en una terminal de carga y descarga.



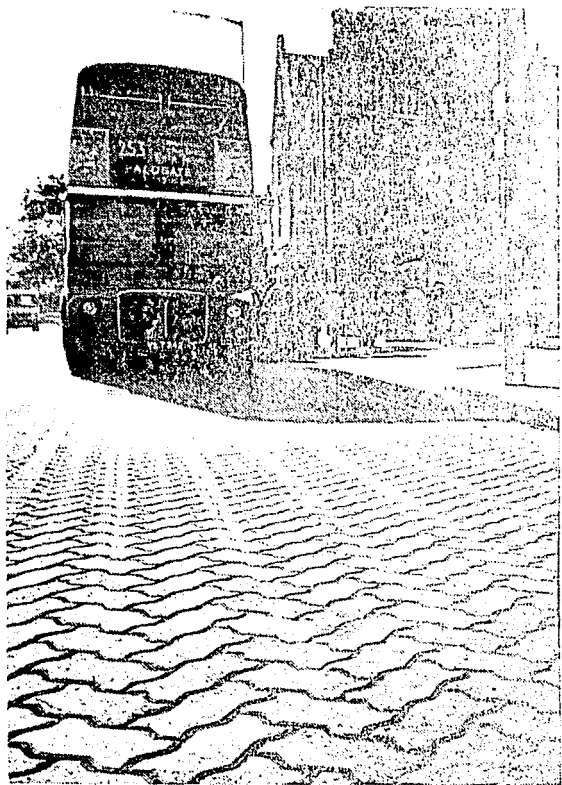
Uso de una placa vibradora para compactar el adoquinado.

Adoquines de concreto



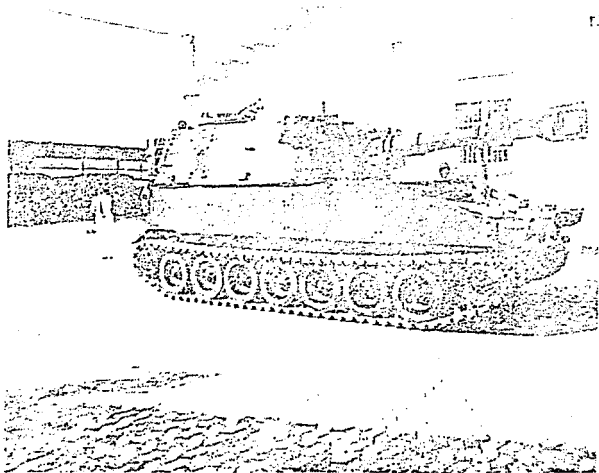
Area de servicio de una gasolinera.

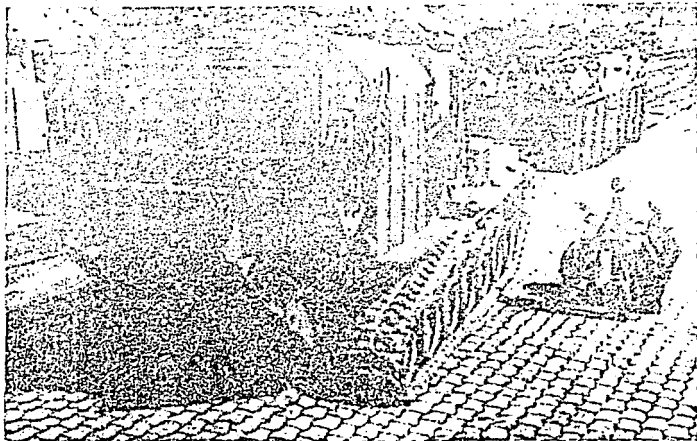
Adoquines de concreto



Parada de autobuses.

El pavimento de bloques es apto también para soportar las grandes cargas en zonas militares.





El pavimento «Trief» en la playa de movimiento para vehículos blindados de gran tonelaje en una base militar de los EE.UU. en Alemania

V.RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

En este capítulo resumiremos lo referente a los pavimentos con adoquines de concreto hidráulico con el propósito de resaltar sus características y así dar una recomendación y una conclusión final.

PAVIMENTO.

Los pavimentos con adoquines tienen un gran valor por sus propiedades estéticas en el urbanismo.

APLICACIONES.

Las encontramos en aceras, andadores, camellones, plazas, jardines, portales, garages, estacionamientos, gasolineras, andenes, zonas residenciales, avenidas, puertos, y aeropuertos.

ECONOMIA.

Debido a un mínimo de imprevistos en su construcción y a su bajo costo de mantenimiento en su vida útil, los hace sumamente económicos.

RAPIDEZ.

La fácil y rápida colocación es producto de su manejabilidad

DURACION.

Ilimitada, pues el adoquín es inerte, resiste a la compresión, flexión, fricción e intemperismo, lo cual lo hace resistente, firme durable y con una calidad garantizada.

PERDIDAS

Debido a la calidad con que se fabrica, y a la existencia de piezas especiales, pueden considerarse nulas las pérdidas por este concepto.

RECUPERABILIDAD

Se pueden quitar piezas para hacer reparaciones sin dejar huella ni maltratarse, pudiendo ser también usadas en pavimentos provisionales, por lo que su recuperabilidad es muy alta.

SEGURIDAD.

Este tipo de pavimento es antiderrapante en seco o mojado; no produce desprendimiento de polvo, no se agrieta y facilita la adherencia de las llantas, de los vehículos en el arranque y frenado.

ESTETICA.

Su forma es decorativa, original y homogénea, con medidas exactas y con colores diferentes.

Como podemos ver existen muchas ventajas físicas y mecánicas de este tipo de pavimentos sobre los de cemento hidráulico y asfáltico, pero carecen de una fundamentación teórica y hacia este punto enfocamos nuestra principal recomendación.

En los últimos 10 años nuestro país se ha visto sujeto a una gran cantidad de problemas económicos, por lo que la investigación en institutos y universidades hacia nuevos productos es prácticamente nula, llevándonos a una dependencia tecnológica casi total, si no en el área de ingeniería civil, si en muchas otras. Pero en estos momentos en los que finalmente las políticas

económicas están siendo modificadas, es factible hacer este tipo de investigaciones a través de las universidades y de la iniciativa privada.

Hace algunos meses nuestro gobierno concecionó la construcción de caminos y puentes a los particulares.

Recomendamos y proponemos que para generar toda una teoría de diseño para los pavimentos con adoquines de concreto hidráulico, se construyan tramos de prueba en los caminos a su cargo, donde los ingenieros, puedan estudiar su comportamiento y, quizás en cierto momento este tipo de pavimentos ocupe el lugar que les corresponde con respecto a los otros.

CONCLUSION FINAL.

En estos momentos el diseño de pavimentos con adoquines es tan empírico como lo fueron en su momento, y lo siguen siendo, el diseño de los pavimentos con cemento asfáltico e hidráulico. Por lo consiguiente, este tipo de trabajos pretenden ayudar de una manera muy modesta a que continúe la evolución de la ingeniería en este ramo.

Bibliografía:

Krapton, J. The Desing of Concrete Block Roads Technical Report Cement and Concrete Association Inglaterra No. 42, 515 mayo 1976 6p.

Lilley A.A. and Krapton J. Concrete Block Paving for Roads The Indian Concrete Journal India Vol. 51 No. 1 Enero 1977 p. 11-15 y p17

Paving The Way for Bussiness. Precest Concrete Inglaterra Vol 7 no. 12 diciembre 1976 p. 612 - 614

Recommended code of Prectice: Interlacking Concrete Paving for Heaving Vehicular Traffic. N.Z. Concrete Construction Nueva Zelanda Vol. 22 abril 1978 p.25-26

Revetements de Sols Extérieurs en Béton: Les Pavés. Bétons Industriels Francia año 12 no. 46 segundo trimestre 1974 p 79-80

Wettern John h. Interlocking Paving Blocks for Highway Construction Precast concrete Inglaterra Vol. 7 no.2 Febrero 1976 p. 80-82

Baber S.D. Structural Design of Block Pavements for Ports. Concrete works International Inglaterra No. 6 1982 p. 225-237.

IB 27 Design of Interlocking Concrete Block Paving for Heavy Industrial Traffic N-2 Concrete Construction Junio 1989 p. 3-10

Interlocking Paving New Zealanda Concrete Manual 1986 6 p.

**Estructuración de vías terrestres. México . Ing Fernando
Olivera B. CECSA. 1991.**