



INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO

## XI SIMPOSIO COLOMBIANO SOBRE INGENIERÍA DE PAVIMENTOS

### DISEÑO DE PAVIMENTOS DE ADOQUINES DE CONCRETO PARA DIFERENTES CONDICIONES DE TRÁFICO

**Germán Guillermo Madrid Mesa, I.C.**

Ingeniero del Departamento Técnico

Instituto Colombiano de Productores de Cemento - ICPC

Ingeniero Civil de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad de Medellín, Ms.Sc. de la Universidad Carnegie-Mellon de Pittsburg, EUA. Se ha desempeñado como Director del Departamento Técnico del Instituto Colombiano de Productores de Cemento, ICPC desde 1981. Su labor se ha centrado en el desarrollo de la tecnología de pavimentación con adoquines de concreto y la prefabricación. Es miembro por Latinoamérica del Comité Internacional de Tecnólogos en Pavimentación con Pequeños Elementos - SEPT, y presidente del Comité de Prefabricados de Concreto del INCOTEC. Ha desarrollado una amplia actividad como conferencista y ponente en diferentes eventos a nivel nacional e internacional y posee un extenso número de publicaciones y documentos sobre temas que incluyen, además de los anteriores, la tecnología del concreto, la promoción y la utilización del cemento, etc.

#### 1. INTRODUCCION

##### 1.1 ¿ Por qué se caen los andenes ?

Cuando se recorre cualquiera de las ciudades colombianas, debería causar sorpresa, o al menos generar conciencia, el gran deterioro de la infraestructura vial principal (pavimento) y complementaria (bordillos, cunetas, andenes, amoblamiento, etc.); pero pareciera que lo habitual y generalizado no se nota .

Desde el punto de vista del ingeniero o el arquitecto colombiano, es de resaltar que se ha desarrollado la tecnología suficiente para diseñar grandes, altas y complejas estructuras, que se han comportado, de la manera esperada y adecuada, ante los eventos sísmicos y, aún, ante actos de terrorismo. Pero pareciera que se han olvidado, o nunca se ha aprendido, cómo proporcionarle a la comunidad una infraestructura vial adecuada, especialmente la complementaria . En otras palabras, " se nos caen los andenes " . Y si esto suena absurdo, es muy fácil salir a la calle y observar los andenes o zonas peatonales, plagados de hundimientos o huecos debido a diferentes causas, para no hablar de la fisuración imperante, la pérdida de los materiales que los constituyen (bordillos, losas y sus recubrimientos, sellos de juntas, losetas, adoquines, etc. ) e inclusive su desaparición total .-

Con miras a aportar elementos que ayuden a solucionar esta situación crítica, el Comité de Prefabricados de concreto del INCOTEC, ha desarrollado una norma marco sobre "bordillos, cunetas, y topellantas para vías urbanas " buscando racionalizar y elevar el nivel, tanto de las especificaciones como de la práctica constructiva, para estos elementos que están directamente en contacto con el tráfico. Dicha norma cubre tanto las alternativas prefabricadas como las vaciadas y colocadas con máquinas extendedoras. Además, presenta los diseños o perfiles básicos que se deben seguir para un adecuado comportamiento estructural de los elementos y para racionalizar su producción, dejando, al mismo tiempo, libertad para las entidades locales, que incluyan estos elementos dentro de sus especificaciones, puedan coordinar y definir ciertos parámetros que se deben cumplir dentro de su zona de influencia, de manera que sean los mismos para todas ellas.



Teniendo claridad sobre los bordillos y cunetas, aparece el tema del piso o pavimento supuestamente peatonal, como: andenes separadores de vías, zonas peatonales (calles, plazas, parques, etc.), que siempre se ha construido de manera intuitiva o con base en diseños preestablecidos, estáticos en el tiempo, sin someterlo al rigor de un diseño estructural. Y el problema parte que por todas estas zonas que se consideran peatonales " por definición ", eventual o rutinariamente transitan vehículos de diverso tipo o se tiene transgresión de las normas de tráfico por circulación no autorizada o estacionamiento en zonas peatonales. Y en este punto se cruza el umbral de " peatonal" a " tráfico liviano " .

En este documento se presentan guías para el diseño de pavimentos de adoquines de concreto para tráfico exclusivamente peatonal, tráfico peatonal y vehicular doméstico o sólo de automóviles y tráfico eventual de vehículos pesados, con base en los documentos elaborados por Cook (1) y Burtwell(2), presentados en la 5ª. Conferencia Internacional sobre Pavimentación con Adoquines de Concreto, llevada a cabo en Tel -Aviv, Israel, del 23 al 27 de junio de 1996, y que reflejan la solución a este problema planteado desde el punto de vista de la tecnología de los pavimentos en el Reino Unido.

Adicionalmente se ha tomado el método de diseño estructural de pavimentos construidos con adoquines de concreto o de arcilla del Reino Unido (3) y se ha tabulado de manera unificada con el anterior, de manera que la Tabla 4, resultante, se puede emplear para cualquier tipo de tráfico de vehículos pesados, desde 1 hasta 12.000.000 de ejes estándar.

Dado que en las Notas Técnicas del ICPC se ha utilizado un método similar para el diseño de pavimentos de concreto para vías urbanas, se incluye en esta publicación, tratando de establecer claramente los parámetros en los cuales coincide o difiere de los anteriores.

Con esto se quiere entregar un documento que sirva de guía para el diseño de pavimentos para tráfico peatonal y de vehículos livianos o pesados corrientes. Quedan excluidos los pavimentos para vehículos especiales, cargas puntuales altas, contenedores, etc. Los cuales se pueden diseñar con el método de Diseño estructural de pavimentos de tráfico pesado para puertos y otras industrias de la Federación Británica de Puertos (5), cuya tercera edición (12) ya se encuentra disponible.-

## **2. Diseño de Pavimentos de adoquines para tráfico exclusivamente peatonal (1,2)**

Dentro de la literatura técnica sobre diseño de pavimentos se tiene un gran vacío cuando se trata de pavimentos para tráficos livianos, entendiéndose por esto : pavimentos sin tráfico vehicular, con muy poco tráfico vehicular o para tráfico vehicular con cargas por ejes muy bajas. Debido a esto, con frecuencia se construyen estructuras deficientes desde el punto de vista de su capacidad de carga, con materiales cuya calidad es regular o insuficientes para las solicitudes y con niveles de control muy bajos , pues por su carácter se consideran estructuras " de poco riesgo o trascendencia " .Sin embargo, en algunos casos se va al extremo contrario , buscando la seguridad o por desconocimiento de un manejo racional del problema, construyendo estructuras cuya capacidad sobrepasa las necesidades reales.-

El diseño de pavimentos para andenes y zonas peatonales se ha vuelto crítico para las ciudades a medida que crecen y se congestionan, pues la falta de civismo, de observación de las reglas de tránsito y la casi total ausencia de control pasivo o restrictivo del mismo, ha llevado a que los vehículos se suben a ellos, causándoles un deterioro que se origina en métodos de diseño



y construcción insuficientes, en muchos casos no para el tráfico peatonal original pero sí para el vehicular invasor.

Rara vez el deterioro de los pavimentos peatonales se debe al uso que de ellos hacen los peatones. En la Tabla 1 se enumeran algunas de las causas de deterioro.

<b>Causa del deterioro Debidas a los peatones</b>	<b>TIPO DE DETRIORO</b>
Desgaste de la superficie por abrasión	Superación de la vida de diseño del material de superficie o deficiencia en el material especificado, cambio en el tipo de usuario (ej.: de peatones a carros de supermercado, patines, monopatines ), uso de calzados con elementos metálicos en la suela , etc.
Mancha o desgaste de la superficie por ataque químico.	Derrame de líquidos y sólidos agresivos o adherentes, acumulación de aguas sucias , deficiencia en las actividades de aseo.
<b>AJENA A LOS PEATONES</b>	
Diseño y especificaciones deficientes	Espesores inadecuados, confinamientos laterales inadecuados, ahuellamiento, hundimiento, fisuración de losetas, separación anormal entre elementos modulares de la superficie, drenaje insuficiente , protección insuficiente contra el congelamiento, ingreso de agua.
Construcción defectuosa	Materiales o métodos constructivos incorrectos, espesores insuficientes en las capas, regularidad superficial deficiente, compactación inadecuada, falta de especificaciones para compactación según el tráfico.-
Abuso (tráfico vehicular, trabajos en conducción,etc.)	Circulación de vehículos pesados, consolidación o hundimiento del lleno de brechas, ahuellamiento, fisuración, pérdida de trabazón entre elementos modulares de la superficie, fijación de tensores y postes , canalización superficial de líneas.
Intemperismo	Envejecimiento del asfalto, pérdida del agregado, fisuración, desgarramiento, degradación del material bituminoso, huecos, encogimiento de la arcilla ,subsistencia, fisuración longitudinal.
Daño debido a la vegetación	Crecimiento de hierba, aparición de raíces de árboles, embobamientos.
Desgaste de la superficie	Pérdida de la textura de la superficie, desgaste.
Daño de la superficie percibido por el usuario	Apariencia inaceptable de la superficie como descascaramiento, fisuración, materiales mal combinados.

**Tabla 1.** Causas de deterioro más frecuentes para pisos peatonales (parte de su contenido tomado de (2))

Lo anterior lleva a que los pavimentos elaborados con losetas grandes y delgadas o los pisos delgados de mortero (con o sin recubrimiento) se quiebren, y que los adoquines de concreto o de arcilla se ahuelen o se hundan, aumentando el descontento de los peatones e incrementando el número de accidentes y el costo que ellos acarrearán, amén de los costos de reconstrucción de las superficies.



La única manera de remediar esta situación es poner al día las prácticas de mantenimiento para los pisos existentes y adoptar prácticas de diseño y construcción racionales, para que los que vayan a construir en el futuro sean durables.

La categoría de diseño de Pavimentos de adoquines para tráfico exclusivamente peatonal sólo se debe asumir cuando " no exista riesgo alguno " de circulación de vehículos, incluyendo aún los carros limpiadores o barredores de pisos, los tractores para trabajos de jardinería , los vehículos livianos para entrega de mercadería, etc. La única excepción para considerar estos vehículos sería cuando no tenga importancia el deterioro del pavimento, lo que contradice las premisas de estabilidad y durabilidad.

Esta clasificación se limita casi exclusivamente al interior de edificaciones o zonas de difícil acceso para vehículos, delimitadas por desniveles con escalas, etc. En la Tabla 2 se presenta la estructura típica mínima para este tipo de pavimento, con tres opciones para el material de base : de suelo cemento (CBM1), de material granular para base (Categoría 1) o de material granular para subbase (Categoría 2) . Los factores de equivalencia para estos materiales están dados en la Tabla 5 y sus especificaciones en al Tabla 6.

PAVIMENTOS DE ADOQUINES PARA TRÁFICO EXCLUSIVAMENTE PEATONAL		
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO		
Adoquines de concreto		60 mm
Capa de arena		40 mm
Base (una de las tres)	Suelo cemento (CBM1)	75 mm*
	Material granular para base (categoría 1)	100 mm*
	Material granular para subbase (Categoría2)	125 mm*

\*Espesor constructivo mínimo para el material

**Tabla 2.** Estructura para pavimentos de adoquines de concreto para tráfico exclusivamente peatonal.

### 3. TRÁFICO PEATONAL Y VEHICULAR DOMÉSTICO, O DE SÓLO AUTOMÓVILES

Esta categoría cubre, fundamentalmente, el acceso a viviendas o a garages, áreas para el estacionamiento de vehículos de visitantes, etc., por fuera aún de las vías internas de una urbanización.

Se parte del principio que de todas maneras se debe tener alguna idea de calidad o capacidad portante del suelo. Para esto se propone un ensayo de suelo sencillo, consistente en hacer presión sobre el suelo, soportando el peso de un hombre sobre el extremo trasero del tacón de uno de sus zapatos y evaluar la profundidad de la huella generada en la subrasante. Dependiendo si dicha huella es profunda, poco profunda o no se deja huella, se entra en una de las columnas de la Tabla 3 y se obtiene, fundamentalmente, el espesor de la base para los siguientes materiales: de suelo cemento (CBM1), de material granular para base (Categoría 1) o de material granular para subbase (Categoría 2). Los factores de equivalencia para estos materiales están dados en la Tabla 5 y sus especificaciones en la Tabla 6.

Para cualquiera de las condiciones de suelo y material de base mencionados, se utiliza una rodadura con adoquines de 60 mm de espesor y una capa de arena cuyo espesor suelto constante no debe sobrepasar los 50 mm, y que preferiblemente debe ser de 40 mm.



PAVIMENTOS DE ADOQUINES PARA TRAFICO PEATONAL Y DE AUTOMÓVILES (SOLAMENTE)				
<b>EVALUACIÓN DE LA SUBRASANTE :</b> Al soportar el peso de un hombre sobre el extremo del tacón de un zapato se dejan....	<b>Huellas profundas</b>	<b>Huellas Poco profundas</b>	<b>No se dejan Huellas</b>	
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO				
<b>Adoquines de concreto</b>	<b>60 mm</b>	<b>60 mm</b>	<b>60 mm</b>	
<b>Capa de arena</b>	<b>40 mm</b>	<b>40 mm</b>	<b>40 mm</b>	
<b>Base</b> (una de las tres)	Suelo-Cemento (CBM1)	<b>110 mm</b>	<b>90 mm</b>	<b>75 mm</b>
	Material granular para base (Categoría 1)	<b>170 mm</b>	<b>135 mm</b>	<b>100 mm</b>
	Material granular para subbase (Categoría 2)	<b>250 mm</b>	<b>200 mm</b>	<b>150 mm</b>

**Tabla 3** Estructura para Pavimentos de adoquines de concreto para tráfico peatonal y de automóviles (solamente)

#### 4. DISEÑO DE PAVIMENTOS DE ADOQUINES PARA TRÁFICO EVENTUAL DE VEHÍCULOS PESADOS

Esta categoría no debe incluir aquellas vías o zonas aparentemente peatonales por las cuales van a entrar diariamente vehículos de entrega de mercancía, de transporte público, de atención de emergencias, etc. , las cuales se deben tratar como una vía vehicular, incluyendo los andenes en zonas donde pueden estar sometidos, potencialmente, a la circulación o al estacionamiento de vehículos .

##### 4.1 Evaluación del tráfico

Cuando se evalúa el tráfico eventual sobre el pavimento de una zona peatonal, normalmente es difícil obtener una cifra clara. El problema parte de que cuando el tráfico es de vehículos de entrega de mercancías, de vehículos que circulan muy lentamente por congestión de tráfico, o que se estacionan en lugares no diseñados para tal efecto, el daño o deformación que causan es mayor que el que ocasionarían si simplemente circularan a velocidad normal sobre dicho pavimento. Por esto la National Paving and Kerbing Association - NPKA (Asociación Nacional de Productores de adoquines y Bordillos) del Reino Unido, sugiere que cada paso de uno de estos vehículos equivalga a un eje estándar, y que se asuma que pasa, al menos, uno por día en zonas residenciales y cinco en zonas comerciales.

En general, para pavimentos de adoquines se recomienda que cuando se tenga tráfico canalizado, multiplicar el tráfico por tres. En carriles de ancho normal no se genera canalización, pero si se puede dar en pendientes o al llegar a cruces con semáforos. Cuando se espera tener velocidades de más de 50 km/h., se debe multiplicar el tráfico por dos para disminuir los efectos dinámicos de las cargas de los vehículos.

Retomando el tema de los andenes, aunque no es corriente encontrar políticas sobre su manejo, se aconseja asumir como vida útil 50 años para zonas residenciales (Como ejemplo se tiene la ciudad de Sheffield, en el Reino Unido, donde se tienen vidas útiles entre 50 y 65 años, marcadas por el momento cuando más del 65% del área del andén se ha deteriorado). Si se toma un eje por día para andenes en zonas residenciales, en 50 años se tendrán 18.250 ejes estándar y si se asume que estas pasadas van a estar canalizadas, resulta adecuado suponer un tráfico de 55.000 ejes.

Los seis primeros rangos de tráfico que aparecen en la Tabla 4 (1 a 1.500.000 ejes estándar ) son en los que más comúnmente se acomodan los pavimentos para tráfico eventual de vehículos. Los rangos restantes se utilizan para vías para tráfico vehicular corriente. El rango de



500.000 a 1.500.000 ejes estándar es un traslapo de la Tabla dados por Cook(1) para tráfico liviano y por Knapton (3,4) para tráfico vehicular corriente .Para efectos de congruencia se han armonizado y fundido en una sola Tabla, con ligeras correcciones para que la información salga de manera congruente.

## 4.2 Evaluación de la subrasante

Siempre se debe tratar de obtener el valor de CBR, pero para zonas peatonales, incluyendo los andenes, que normalmente tienen instalaciones o conducciones debajo, se debe utilizar un CBR del 2% que puede ser conservador pero que busca proteger contra dichas irregularidades.

## 5. DISEÑO DE PAVIMENTOS DE ADOQUINES PARA TRÁFICO VEHICULAR NORMAL

Se ha tomado la aproximación desarrollado por Knapton a través de diversas publicaciones (4) y que llevó a la publicación, en 1992 , de la norma BS 7533 Guía para el diseño estructural de pavimentos construidos con adoquines de concreto de arcilla.

Este es uno de los tantos métodos de diseño disponibles en la actualidad y su principal virtud radica en la sencillez de su aplicación. Parte de la consideración del tipo de subrasante existente, caracterizada mediante su CBR. Para subrasantes con CBR menor de 5, se especifica su mejora en espesores que van de 600 mm para CBR 1% a 250 mm para CBR del 4%, como aparece en la Tabla 4. Con esto se igualan las opciones a un CBR de más de 5%. Luego se especifica una subbase, dada en espesores para Materiales Granular para Base, Categoría 1 (aunque se puede transformar en espesor de Material Granular para Base, Categoría 2 (subbase)).Para los valores de CBR entre 6 y 10 se compensa en la subbase la no existencia de la subrasante mejorada. Esta subbase hace parte de la estructura del pavimento como tal.

Luego se entra a considerar si la vía va sobrellevar el peso del tráfico de construcción, según cuatro categorías, entre 1 y 5.000 ejes estándar, para los cuales hay que proveer un espesor adicional de material expresado en función de material granular para subbase Categoría 2 , entre 25 y 100 mm. Si las edificaciones vecinas ya están construidas no se coloca ningún material.

Luego de esto viene el cálculo del espesor de la estructura de base en función del número de ejes estándar que va a soportar el pavimento a lo largo de su vida útil, con categorías de 500.000 a 12.000.000 para tráfico vehicular corriente (3,4) y de 1 a 1.500.000 para tráfico vehicular liviano. Este espesor se ha dado para dos materiales diferentes y sumarlos a los : Granular para base, Categoría 1 o Estabilizado con Cemento, Categoría 1 (CBM1) .Estos a su vez se pueden transformar en varios espesores de diferentes materiales y sumarlos a los de la subbase primera y a la debida a los ejes durante la construcción. Para dichas conversiones se pueden utilizar los factores de conversión presentados en la Tabla 5 (4,5) dados como factor sugerido y un rango dentro del cual se puede mover el diseñador con confianza de que la mayoría de los casos el material va a estar dentro de él. Cada uno de estos materiales está remitido a una Cláusula o especificación correspondiente.

PAVIMENTOS DE ADOQUINES PARA TRÁFICO VEHICULAR								
CBR de la Subrasante	1	2	3	4	5	6 a 7	8 a 10	11 a 30
Subrasante mejorada	600	400	300	250	0	0	0	0
Subbase de : Material Granular Categoría 1	150	150	150	150	225	200	175	150



Ejes estándar durante la construcción	<b>De 1 A 50</b>	<b>De 51 A 200</b>	<b>De 201 A 500</b>	<b>De 501 A 5.000</b>
SUBBASE DE: Material granular Categoría 1	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>75</b>	<b>100</b>

RANGO	EJES ESTANDAR ACUMULADOS DURANTE SU UTILIZACIÓN (PERIODO DE DISEÑO)								
	<b>1 100*</b>	<b>101 1.000*</b>	<b>1001 10.000*</b>	<b>10.001 100.000*</b>	<b>100.001 500.000*</b>	<b>500.001 1.500.000*</b>	<b>1.500.001 4.000.000</b>	<b>4.000.001 8.000.000</b>	<b>8.000.001 12.000.000</b>
<b>Rodadura de :</b>									
Adoquines	60	60	60	80	80	80	80	80	80
Capa de arena	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Base de Material	Una de las siguientes, como espesor único o convertida en varios espesores de diferentes materiales								
Granular Categoría 1	150	200	310	380	480	530	590	670	720
Estabilizado con cemento Categoría 1 (CBM1)	100	150	190	230	290	320	350	400	430

\* Rangos usualmente designados como tráfico livianos.

**Tabla 4 .** Estructura para pavimentos de adoquines de concreto para tráfico vehicular.

FACTORES DE CONVERSIÓN PARA DIFERENTES MATERIALES PARA PAVIMENTOS			
Material	Cláusula	FACTOR DE CONVERSION	
		Sugerido	Rango
Concreto asfáltico compactado con rodillo	904	1.0	0.9 a 1.1
Macadam bituminoso denso	903	1.0	0.9 a 1.1
Concreto para pavimentos de Rc= 30 Mpa (28d)	1001/34	1.7	1.5 a 1.9
Rodadura de adoquines : 80 mm de adoquines de concreto + 40 mm arena =120		1.0	1.0 a 1.4
Rodadura de adoquines : 60 mm de adoquines de concreto + 40 mm arena =100		1.0	1.0 a 1.4
Estabilizado con cemento Categoría 1 Suelo-cemento de Rc=4.5 Mpa (7d.),CBM1	1036	0.4	0.2 a 0.6
Estabilizado con cemento Categoría 2 Grava-cemento de Rc=7.0 Mpa (7d.),CBM2	1037	0.5	0.3 a 0.7
Estabilizado con cemento Categoría 3 Concreto pobre de Rc=10 Mpa (7d.),CBM3	1038	0.7	0.5 a 0.9
Estabilizado con cemento Categoría 4 Concreto pobre de Rc=15 Mpa (7d.),CBM4	1039	0.7	0.5 a 0.9
Material granular para base, Categoría 1 , sobre material con CBR>5%	803	0.3	0.15 a 0.4
Material granular para base, Categoría 1 , sobre material con CBR≤5%	803	0.2	0.1 a 0.25
Material granular para base, Categoría 2 (subbase), sobre material con CBR>5%	804	0.2	0.1 a 0.25
Material granular para base, Categoría 2 (subbase), sobre material con CBR ≤5%	804	0.1	0.05 a 0.15
Macadam hidráulico o en seco	805	0.45	0.3 a 0.6
Macadam de textura abierta		0.7	0.5 a 0.9
Subrasante mejorada	613	0.1	0.05 a 0.15

\* Los valores sugeridos en esta Tabla se dan para materiales que cumplan las especificaciones de la Cláusulas correspondientes y se encuentren en condiciones normales . Sólo cuando se tengan razones particulares, como condiciones especiales, se utilizan valores diferentes a los sugeridos, pero rara vez se tienen que salir del rango. Estos valores se han adoptado de los desarrollados por el Instituto del Asfalto, para que se adapten a los espesores relativos dados en el TRRL Report 1132(8).

**Tabla 5.** Factores de conversión para diferentes materiales para pavimentos (3).

<b>CARACTERÍSTICA DE ALGUNOS MATERIALES PARA PAVIMENTO SEGÚN LAS ESPECIFICACIONES DEL DEPARTAMENTO DEL TRANSPORTE DEL REINO UNIDO (8,9)</b>		
<b>CLÁUSULA 613. SUBRASANTE Y SUBRASANTE MEJORADA (8)</b>		
Cuando se utilicen materiales estabilizados debe cumplir con las Cláusula 614 y 615 Los materiales deberán ser: material granular seleccionado (gradación fina o gruesa), material granular bien gradado estabilizado con cemento o material cohesivo estabilizado con cal .....		
<b>CLÁUSULA 803 . MATERIAL GRANULAR PARA SUBBSE, CATEGORÍA 1 (9) (SUBBASE)</b>		
Material triturado de roca, escoria, o concreto. Bien gradado, debe cumplir con la granulometría adjunta. La fracción que pasa el tamiza 425 $\mu$ m no será plástica. Se debe transportar, colocar y compactar sin que se seque o segregue. Debe tener un valor para el ensayo del 10% de finos (BS812) $\geq$ 50 kn, ejecutado sobre una muestra saturada, superficialmente seca, habiendo estado sumergida durante 24 hs, sin haberlo secado en horno antes de esto	<b>GRANULOMETRÍA</b>	
	<b>Tamiz</b>	<b>% que pasa el Tamiz</b>
	<b>75mm</b>	<b>100</b>
	<b>37.5mm</b>	<b>85 a 100</b>
	<b>9.5 mm</b>	<b>40 a 70</b>
	<b>4.75 mm</b>	<b>25 a 45</b>
	<b>600 <math>\mu</math>m</b>	<b>8 a 22</b>
<b>75 <math>\mu</math>m</b>	<b>0 a 10</b>	
<b>CLÁUSULA 804 . MATERIAL GRANULAR PARA SUBBASE, CATEGORIA 2 (9) (BASE)</b>		
Arenas naturales; grava ;roca, escorias o concreto triturados. Bien gradados, debe cumplir con la granulometría adjunta. La fracción que pasa el tamiz 425 $\mu$ m debe tener un índice de plasticidad < 6 . Se debe transportar, colocar y compactar con una humedad dentro de un rango de + 1% y - 2 % del contenido óptimo de humedad , sin que se seque o se segregue. Debe tener un valor para el ensayo del 10% de finos (BS 812) $\geq$ 50 kN ,ejecutado sobre una muestra saturada, superficialmente seca, habiendo estado sumergida durante 24 horas ,sin haberlo secado en horno antes de esto.	<b>GRANULOMETRÍA</b>	
	<b>Tamiz</b>	<b>% que pasa el Tamiz</b>
	<b>75mm</b>	<b>100</b>
	<b>37.5mm</b>	<b>85 a 100</b>
	<b>9.5 mm</b>	<b>40 a 100</b>
	<b>4.75 mm</b>	<b>25 a 85</b>
	<b>600 <math>\mu</math>m</b>	<b>8 a 45</b>
<b>75 <math>\mu</math>m</b>	<b>0 a 10</b>	
<b>CLÁUSULA 805 . MACADAM HIDRAÚLICO (9) (BASE)</b>		
Tanto el agregado grueso como el fino deben ser rocas o escorias trituradas. Debe cumplir con la granulometría adjunta. Debe tener un valor para el ensayo del 10% de finos (BS 812) $\geq$ 50 kN ,ejecutado sobre una muestra saturada, superficialmente seca, habiendo estado sumergida durante 24 horas ,sin haberlo secado en horno antes de esto. El índice de forma de las partículas (BS 812 : Sección 105.1) debe ser < 35.	<b>GRANULOMETRÍA</b>	
	<b>Tamiz</b>	<b>% que pasa el Tamiz</b>
	<b>50 mm</b>	<b>100</b>
	<b>37.5 mm</b>	<b>95 a 100</b>
	<b>19 mm</b>	<b>60 a 80</b>
	<b>9.5 mm</b>	<b>40 a 60</b>
	<b>4.75 mm</b>	<b>25 a 40</b>
	<b>2.36mm</b>	<b>15 a 30</b>
	<b>600 <math>\mu</math>m</b>	<b>8 a 22</b>
<b>75 <math>\mu</math>m</b>	<b>0 a 8</b>	
<b>Continua</b>		

**Tabla 6 .**Especificaciones para algunos materiales para pavimentos según el Departamento de Transporte del Reino Unido (8,9) (continua)



<b>CARACTERÍSTICA DE ALGUNOS MATERIALES PARA PAVIMENTO SEGÚN LAS ESPECIFICACIONES DEL DEPARTAMENTO DEL TRANSPORTE DEL REINO UNIDO (8,9)</b>		
<b>CLÁUSULA 903. MACADAM BITUMINOSO DENSO (9) (BASE)</b>		
<p>Debe cumplir con la BS 4987.</p> <p>Antes de ser mezclado, el agregado debe estar superficialmente seco, a no ser que el material se vaya a elaborar en una planta mezcladora de tambor, como se indica en la Cláusula 923.</p> <p>Cuando el agregado grueso es grava, se debe adicionar un equivalente al 2% de la masa en cemento Portland o cal hidratada y reducir el agregado fino en el mismo porcentaje. Si la grava es de caliza, no es necesario adicionar cemento o cal.</p> <p>El ligante debe ser asfalto de petróleo que cumpla con la BS 3690: Parte 1 o asfalto de alquitrán que cumpla con la BS 3690 : Parte 3. La penetración del asfalto debe ser de grado 100 pen o 200 pen.</p>		
<b>CLÁUSULA 904. CONCRETO ASFÁLTICO COMPACTADO CON RODILLO (9) (BASE)</b>		
<p>Debe cumplir con la BS 594: Parte 1 para mezcla para base.</p> <p>Cuando el agregado grueso es grava, se debe adicionar un equivalente al 2% de la masa en cemento Portland o cal hidratada y reducir el agregado fino en el mismo porcentaje. Si la grava es de caliza, no es necesario adicionar cemento o cal.</p> <p>El ligante debe cumplir con la BS 3690.</p>		
<b>CLÁUSULA 1036 . MATERIAL ESTABILIZADO CON CEMENTO CATEGORÍA 1 (9) (SUELO-CEMENTO)</b>		
<p>Debe tener una granulometría más fina que el límite adjunto.</p> <p>Se puede mezclar en planta o en el sitio, dosificar por volumen o masa y tener un contenido de humedad adecuado para obtener la resistencia y el acabado pedidos. Debe alcanzar una densidad <math>\geq 95</math> % de la del cubo de referencia.</p> <p>La resistencia a la compresión a los 7 días, evaluada para 5 cubos, debe ser para los valores individuales <math>\geq 2.5</math> Mpa. y <math>\geq 4.5</math> Mpa para el valor promedio.</p> <p>La resistencia a la compresión promedio de 5 especímenes preparados de acuerdo con la Cláusula 1040 no debe ser menor que el 80% de la resistencia promedio de 5 especímenes de control de ensayo mediante el ensayo 12 de la BS 1924.</p> <p>Después de 7 días de inmersión en agua, los especímenes no deben mostrar signos de fisuración o hinchamiento.</p>	<b>GRANULOMETRÍA</b>	
	<b>Tamiz</b>	<b>% que pasa el Tamiz</b>
	<b>50 mm</b>	<b>100</b>
	<b>37.5mm</b>	<b>95</b>
	<b>19 mm</b>	<b>45</b>
	<b>9.5 mm</b>	<b>35</b>
	<b>4.75 mm</b>	<b>25</b>
	<b>600 <math>\mu</math>m</b>	<b>8</b>
	<b>300 <math>\mu</math>m</b>	<b>5</b>
	<b>75 <math>\mu</math>m</b>	<b>0</b>
<b>CLÁUSULA 1037 . MATERIAL ESTABILIZADO CON CEMENTO CATEGORÍA 2 (9) (GRAVA-CEMENTO)</b>		
<p>Debe cumplir con la granulometría adjunta.</p> <p>Se puede mezclar en plantas o en el sitio, dosificar por volumen o masa y tener un contenido de humedad adecuado para obtener la resistencia y el acabado pedidos. Debe alcanzar una densidad <math>\geq 95</math> % de la del cubo de referencia.</p> <p>La resistencia a la compresión a los 7 días, evaluada para 5 cubos, debe ser para los valores individuales <math>\geq 4.5</math> Mpa. y <math>\geq 7.0</math> Mpa para el valor promedio.</p> <p>La resistencia a la compresión promedio de 5 especímenes preparados de acuerdo con la Cláusula 1040 no debe ser menor que el 80% de la resistencia promedio de 5 especímenes de control ensayados mediante el ensayo 12 de la BS 1924.</p> <p>Después de 7 días de inmersión en agua, los especímenes no deben mostrar signos de fisuración o hinchamiento.</p> <p>Debe tener un valor para el ensayo del 10% de finos (BS 812) <math>\geq 50</math>kn, ejecutado sobre una muestra saturada, superficialmente seca habiendo estado sumergida durante 24 horas, sin haberlo secado en horno antes de esto.</p>	<b>GRANULOMETRÍA</b>	
	<b>Tamiz</b>	<b>% que pasa el Tamiz</b>
	<b>50 mm</b>	<b>100</b>
	<b>37.5 mm</b>	<b>95 a 100</b>
	<b>19 mm</b>	<b>45 a 100</b>
	<b>9.5 mm</b>	<b>35 a 100</b>
	<b>4.75 mm</b>	<b>25 a 100</b>
	<b>2.36 <math>\mu</math>m</b>	<b>15 a 90</b>
	<b>600 <math>\mu</math>m</b>	<b>8 a 65</b>
	<b>300 <math>\mu</math>m</b>	<b>5 a 40</b>
<b>75 <math>\mu</math>m</b>	<b>0 a 10</b>	

**Tabla 6 .** (Continuación) Especificaciones para algunos materiales para pavimentos según el Departamento de Transporte del Reino Unido.(8,9)

<b>CARACTERISTICAS DE ALGUNOS MATERIALES PARA PAVIMENTOS SEGÚN LAS ESPECIFICACIONES DEL DEPARTAMENTO DEL TRANSPORTE DEL REINO UNIDO (8,9)</b>			
<b>CLAUSULA 1038 .MATERIAL ESABILIZADO CON CEMENTO CATEGORÍA 3 (9) (CONCRETO POBRE)</b>			
<p>El material debe ser agregados naturales o escoria de alto horno triturada o una combinación de ambos .</p> <p>Los agregados naturales deben cumplir con los requisitos de la BS 882</p> <p>La escoria debe cumplir con los requisitos de la BS 1047.</p> <p>El material debe cumplir con la granulometría adjunta.</p>	Tam-Max	40 mm	20 mm
	<b>GRANULOMETRÍA</b>		
<p>Se debe mezclar en planta ,dosificar por masa y tener un contenido de humedad adecuado para obtener la resistencia y el acabado pedidos.</p> <p>Debe alcanzar una densidad <math>\geq 95</math> % de la del cubo de referencia.</p> <p>La resistencia a la compresión a los 7 días, evaluada para 5 cubos, debe ser para los valores individuales <math>\geq 6.5</math> Mpa. Y <math>\geq 10</math> Mpa. Para el valor promedio.</p>	Tamiz	% que pasa el Tamiz	
	<b>50mm</b>	<b>100</b>	<b>-</b>
	<b>37.5 mm</b>	<b>95 a 100</b>	<b>100</b>
	<b>19 mm</b>	<b>45 a 80</b>	<b>95 a 100</b>
	<b>4.75 mm</b>	<b>25 a 50</b>	<b>35 a 55</b>
	<b>600 <math>\mu</math>m</b>	<b>8 a 30</b>	<b>10 a 35</b>
	<b>150 <math>\mu</math>m</b>	<b>0 a 8*</b>	<b>0 a 8*</b>
	<b>* 0 a 10 si es de roca triturada</b>		
<b>CLAUSULA 1039 . MATERIAL ESTABILIZADO CON CEMENTO CATEGORÍA 4 (9) (CONCRETO POBRE )</b>			
<p>El material debe ser agregados naturales o escoria de alto horno triturada o una combinación de ambos .</p> <p>Los agregados naturales deben cumplir con los requisitos de la BS 882</p> <p>La escoria debe cumplir con los requisitos de la BS 1047.</p> <p>El material debe cumplir con la granulometría adjunta.</p> <p>Se debe mezclar en planta ,dosificar por masa y tener un contenido de humedad adecuado para obtener la resistencia y el acabado pedidos.</p> <p>Debe alcanzar una densidad <math>\geq 95</math> % de la del cubo de referencia.</p> <p>La resistencia a la compresión a los 7 días, evaluada para 5 cubos, debe ser para los valores individuales <math>\geq 10</math> Mpa. Y <math>\geq 15</math> Mpa. Para el valor promedio.</p>	Tam-Max Nom.	40 mm	20 mm
	Tamiz	% que pasa por el tamiz	
	<b>50 mm</b>	<b>100</b>	<b>-</b>
	<b>37.5 mm</b>	<b>95 a 100</b>	<b>100</b>
	<b>19 mm</b>	<b>45 a 80</b>	<b>95 a 100</b>
	<b>4.75 mm</b>	<b>25 a 50</b>	<b>35 a 55</b>
	<b>600 <math>\mu</math>m</b>	<b>8 a 30</b>	<b>10 a 35</b>
	<b>150 <math>\mu</math>m</b>	<b>0 a 8*</b>	<b>0 a 8*</b>
	<b>0* a 10 si es de roca triturada</b>		

**Tabla 6** (Continuación). Especificaciones para algunos materiales para pavimentos según el Departamento de transporte del Reino Unido (8,9)

## **.6 DISEÑO DE PAVIMENTOS DE ADOQUINES PARA TRÁFICO URBANO (6,7)**

La metodología propuesta para la concepción y diseño de los pavimentos urbanos sigue los mismos principios del método de diseño para pavimentos en general, pero se presenta al diseñador de una manera tal que le sea más práctica y directa para utilizar.

### **6.1 Clasificación de las vías**



Dada la dificultad para realizar estudios de tráfico precisos en los medios urbanos, especialmente por la casi imposibilidad de obtener los pesos reales de los vehículos, se plantea una clasificación de las vías, por Categorías, en función del Número de Vehículos Comerciales por Día y por Carril -NVDCD que, como promedio diario, circulan por ellas o que se espera vayan a circular durante el primer año de utilización en el caso de tratarse de vías nuevas. En la Tabla 7 se presenta, para cada categoría de la vía, el NVDCD asignado, sus características especiales y las del tráfico que se espera.

CATEGORIA DE LA VÍA	NVDCD	TRAFICO DIARIO	CARACTERÍSTICAS
Vía de servicio secundaria	1 a 5	Máximo de 30 predios	Poca longitud, da acceso directo a edificaciones. No tienen circulación de Buses.
Vía de servicio primaria	6 a 20	Máximo de 150 predios	Reciben tráfico de varias vías de servicio secundarias. No tienen circulación de Buses.
Vía colectora	21 a 60	Puede ser de longitud considerable. Recogen el tráfico de las vías de servicio secundarias y primarias de un área y lo conducen a vías mayores. Tienen circulación de Buses	
Vía arteria	61 a 200	Hasta 6000 vehículos en ambas direcciones	Puede tener varios kilómetros de longitud .Canaliza el tráfico entre zonas residenciales, industriales y comerciales.
Vía regional	201 a 700	Hasta 30.000 vehículos en ambas direcciones	Atraviesan un área urbana. Soportan el tráfico intermunicipal.
Calles industriales	201 a 700	Se asume el de una vía regional	Hace parte de zonas industriales. Tiene volumen de tráfico relativamente bajo, pero básicamente de camiones
Calle Comercial	Por conteo directo	Hace parte de centros o áreas comerciales; se congestiona con frecuencia .Tiene velocidad de circulación baja, volumen de tráfico alto y número reducido de camiones.	
Autopistas	Mueven altos volúmenes de tráfico a velocidades altas, con sentidos de circulación separados. Requieren de un diseño cuidadoso, por fuera del alcance de este documento		
*NVDCD - Número de vehículos comerciales** por día y por carril: Se obtiene por conteos directo de tráfico en vías con características similares a las de las que se vayan a pavimentar, o se determina según las características de vías que aparecen en esta Tabla.			
** Vehículo comercial: Aquel con dos o más ejes (incluyendo el direccional); seis o más llantas (incluyendo las dos delanteras) ; y que pesa descargado 1.5 T. O más. Los buses no se consideran como vehículos comerciales pues ya se han tenido en cuenta, según la clasificación de las vías, y no entran en los conteos.-			

Tabla 7 . Clasificación de las vías urbanas en función del tráfico y del NVDCD (6,7)



## 6.2 Caracterización del tráfico.

El tráfico se ha concebido en función de los vehículos comerciales que circulan por la vía, partiendo de que un vehículo comercial es aquel con dos o más ejes (incluyendo el direccional); seis o más llantas (incluyendo las dos delanteras); y que pesa descargado 1.5 T o más.

En estos conteos no se incluyen los automóviles ni los buses pues aunque estos últimos se pueden ajustar a la definición anterior, ya se han tenido en cuenta, según cada categoría de la vía. Por ejemplo, se parte del principio que las vías de servicio secundarias y primarias no tienen circulación de buses, como si las tienen las demás de categoría mayor.

### 6.2.1. Sobrepesos

Dada la costumbre de sobrecargar los ejes por encima de las cargas legales, los vehículos pesados se han tomado con diferentes niveles de sobrepeso en función de la categoría de la vía (11), que aparecen en la Tabla 8.

PESO DEL EJE TRASERO t.	SENCILLO	TANDEM	TRIDEM
Vía de servicio Secundaria	8.2	15	18.2
Vía de servicio Primaria	9	17	20
Vía Colectora	10	18	22
Vía Arteria	11	20	24
Vía Regional	12	23	27

Tabla 8. Pesos por eje (sobrepesos) asumidos para cada categoría de vía (7,11).

### 6.2.2 Casos Especiales

#### 6.2.2.1 Urbanizaciones nuevas

Cuando se diseñan pavimentos para vías de urbanizaciones nuevas es necesario determinar si el pavimento se construirá antes o después que las viviendas o edificaciones, dado que el tráfico durante el período de construcción de las mismas puede ser aún mayor que el generado posteriormente durante la utilización normal de las vías. Por lo tanto puede ser necesario clasificarlas en una categoría más alta. Para esto se puede estimar, en toneladas, el peso de las edificaciones más el de la tierra que se va sacar o a traer a la urbanización para el acondicionamiento del terreno, dividirlo por 8,2 y obtener así el número de ejes equivalentes adicionales para los cuales hay que diseñar el pavimento.-

#### 6.2.2.2 Vías arterias

Cuando se tenga un buen sistema de administración de pavimentos, es necesario, al considerar las vías arterias, las vecinas o paralelas que, eventualmente, puedan servir como rutas de desvío de arteria y que necesitan de un diseño adecuado para soportar dicho tráfico adicional y que puede dar al traste con el pavimento existente en ellas en pocos días.

#### 6.2.2.3 Tráfico canalizado

Cuando se tengan zonas con tráfico canalizado, bahías para buses y plataformas de carga, se debe diseñar para un tráfico de, al menos, 2.000.000 de ejes estándar.



#### **6.2.2.4 Alteración de la circulación e impacto.**

Cuando se tengan cambios bruscos en la pendiente longitudinal o zonas de impacto como en rampas de acceso (sin las transiciones debidas), resaltos, etc. , se recomienda aumentar el espesor de diseño de la base en un 40% a lo largo de un tramo con una longitud de un vehículo antes y uno después del punto en cuestión. Si se trata de zonas de detención obligada de los vehículos como porterías, peajes y servicios al vehículo por taquillas, el tramo debe ser dos vehículos antes y uno después.

Cómo longitud de vehículo se tomará la del vehículo más pesado que circula por este punto.

#### **6.2.2.5 Cambio en la categoría o tipo del pavimento.**

Cuando se tengan cambios en la categoría de un pavimento (paso de una vía con mucho tráfico a otra de poco tráfico o viceversa) o del tipo de pavimento (paso de un pavimento de concreto o de asfalto a uno de adoquines o viceversa), se debe aumentar el espesor de la base en un 40% al menos en una franja de 1 m. de ancho antes de la línea de cambio, de la cual la mitad será una transición entre el espesor típico y el aumentado.

#### **6.2.2.6 Estaciones de servicio.**

Cuando la estación de servicio es fundamentalmente para automóviles, se debe diseñar para un tráfico de, al menos, 500.000 ejes estándar. Si es fundamentalmente para camiones, se debe diseñar para, mínimo, 2.000.000 de ejes estándar.

#### **6.2.3 Período de diseño.**

Para esto se partió de un período de diseño de 20 años, aconsejable para los pavimentos de adoquines, dado que no resulta práctico ni lógico construirle sobrecapas, como en los de asfalto, aunque se puede retirar la rodadura y reconformar o adicionar el nivel de la base; pero se podría calcular para períodos diferentes. Si la Tabla 10 se quiere utilizar para períodos diferentes sin recalcularla, se pueden corregir los espesores así : 4mm de incremento o reducción en el espesor de bases de suelo-cemento por cada 5 años de incremento o reducción, respectivamente, del periodo de diseño; y, de manera similar, 8 mm para base granulares.

#### **6.2.4 Parámetros para el cálculo de la Tabla 10.**

El diseño de la Tabla 10 se hizo de manera que las categorías de las vías, expresadas en NVDC y en ejes equivalentes de 8.2 T. , correspondieran cambios escalonados de los espesores resultantes y a las categoría mismas de las vías. Los niveles superiores de NVDC corresponden a 36.500, 326.310, 1.196.470, 13.969.280, 35.023.940 ejes equivalentes, respectivamente.

#### **6.3 Consideración del suelo.**

Se han asumido tres tipos básicos de suelo.

##### **6.3.1 De capacidad de soporte baja .**

Tienen altos contenidos de arcilla y limo; en estado húmedo son blandos y tienen un CBR menor o igual al 3% .Como representativo de esta franja se asume el 3% pero se debe tener claro que cuando se tienen suelos de inferior calidad es aconsejables efectuar un



reemplazo de la capa superior de la subrasante o mejorarla mediante se estabilización con cemento.-

### 6.3.2 De capacidad soporte intermedia.

Casi siempre son arenosos, con algún contenido de limo y arcilla; y moderadamente estables en estado húmedo; tienen un CBR mayor que el 3% y menor o igual al 15%. Como representativo de esta franja se asume el 8%. La mayoría de los suelos de las subrasantes se encuentran dentro de estos dos primeros tipos de suelo.-

### 6.3.3 De capacidad soporte alta.

Por lo general son arenas o gravas limpias o limosas, bien o mal gradadas, que son estables aún en estado de saturación. Tienen un CBR mayor que el 15% y como representativo de esta franja se asume el 20%.

## 6.4 Materiales de base

Dada la naturaleza flexible de la rodadura de los pavimentos de adoquines, es aconsejable utilizar bases estabilizadas con cemento para reducir la posibilidad de ahuellamiento. Sin embargo, es posible utilizar bases granulares o de cualquier otro tipo.

### 6.4.1 Factores de conversión .

Partiendo de los valores de diseño dados en la Tabla 10, los espesores y materiales de base se pueden cambiar, utilizando los factores de conversión o equivalencia que aparecen en la Tabla 5, cuyas características se describen en la Cláusula de la Tabla 6, y que son los utilizados comúnmente en el Reino Unido. Sin embargo, en cada región los materiales disponibles son diferentes y pueden caer su experiencia para asignarle un factor adecuado al material.

En Colombia se han utilizado tradicionalmente los siguientes factores: 0.77 para suelo-cemento para base; 0.5 para material granular para base y 0.4 para material granular para subbase. De esta manera, 10 mm de concreto asfáltico calculado se puede convertir, al dividirlo por dichos factores en : 13 mm de suelo-cemento , 20mm de base granular o 27 mm de subbase granular.

### 6.4.2. Espesores mínimos

Desde el punto de vista constructivo, se sugieren los siguientes espesores mínimos en función de la capacidad portante de la subrasante o capa inferior, tal como aparecen en la Tabla 9

ESPESORES CONSTRUCTIVOS MÍNIMOS PARA BASES		
TIPO DE MATERIAL	CBR de la subrasante o capa inferior, %	Espesor mínimo , mm.
Granular para subbase	$\leq 6$	200
	$> 6$	150
Granular para base	$\leq 6$	150
	$> 6$	100
Suelo-cemento	$\leq 6$	100
	$> 6$	75

Tabla 9. Espesores constructivos mínimos para bases.



### 6.5 Capa de rodadura de adoquines y arena.

Las primeras investigaciones de Knapton dieron como resultado que una capa de rodadura de adoquines de 80 mm. de espesor y 40 mm de arena tenía una capacidad de distribución de carga de 1.3 veces la de una capa de concreto asfáltico de 100 mm de espesor. Por esto se trabajó con un factor de conversión de 1.6 en las Notas Técnicas 4-19 y 4-20 del ICPC (6,7). Con el tiempo se ha reducido este factor a una cifra más cercana a 1 , con el fin de poder dar cabida a las imprecisiones de diseño, de caracterización de los materiales y constructivas que se puedan presentar.

Según este factor de 1 , la equivalencia es de 100 mmm de concreto asfáltico para adoquines de 60 mm y capa de arena de 40 mm de espesor, y de 120 mm de concreto asfáltico para adoquines de 80 mm y capa de arena de 40 mm de espesor.

Por esta razón, en la Tabla 10 se presentan unos espesores mayores que los de las publicaciones ya referidas.

### 6.6 Cálculo de los espesores.

Para el cálculo de los espesores se ha utilizado la fórmula del instituto del Asfalto en la cual con los valores del CBR de la subrasante y con el Número de Diseño relativo al Tráfico - NDT, se calcula el espesor total de asfalto que se colocaría directamente sobre la subrasante. El NDT expresa la carga del tránsito como el número de ejes estándar de 8.2 T. que pasarían por la vía en un día, asumiendo un período de diseño de 20 años. Se debe anotar que el total de ejes para los 20 años se puede obtener por diversos métodos, cuya descripción está por fuera del alcance de este documento.

$$\text{Todo Asfalto, mm} = (233.4 + 100 \log \text{NDT}) / \text{CBR}^{0.4}$$

Al valor del Todo Asfalto se le resta el aporte que hace la capa de rodadura de adoquines (como se indicó en el 6,5 ) y el resto se convierte a un único de material de base o a una combinación de un espesor de base y otro de subbase, como se indicó en el numeral 6.4 .

PAVIMENTOS DE ADOQUINES DE CONCRETO PARA TRÁFICO VEHICULAR URBANO						
CATEGORÍA DE LA VÍA	SERVICIO SECUNDARIA	SERVICIO PRIMARIA	COLECTORA	ARTERIA	REGIONAL	
Vehículos comerciales por Día y por Carril	De 1 A 5	De 6 A 20	De 21 A 50	De 51 A 200	De 201 A 700	
Número de ejes equivalentes de 8.2 T.	De 1 A 50.000	De 50.001 A 500.000	De 500.001 A 2.500.000	De 2.500.001 A 15.000.000	De 15.000.001 A 30.000.000	
<b>RODADURA</b>						
Adoquines	60	60	80	80	80	
Capa de Arena	40	40	40	40	40	
<b>BASE</b>	<b>CBR %</b>	Una de las siguientes, como espesor único o convertida en varios espesores de diferentes materiales				
Granular	$\text{CBR} \leq 3$	200	280	370	470	540
	$3 < \text{CBR} \leq 15$	150**	150**	160	220	290
	$\text{CBR} > 15$	100*	100*	100*	100*	130
Suelo-cemento	$\text{CBR} \leq 3$	150	210	290	360	420
	$3 < \text{CBR} \leq 15$	100**	100**	120	170	220
	$\text{CBR} > 15$	75*	75*	75*	75*	100

\* Espesores constructivos mínimos para el material, según la Tabla 9

\*\* Espesor mínimo dependiendo del valor del CBR de la subrasante, según la Tabla 9.



**Tabla 10** (continuación) . Espesores para pavimentos de adoquines de concreto para tráfico vehicular urbano (6,7).

Como ejemplo, para un pavimento con un tráfico esperado en 20 años de 5.000.000 ejes estándar y un CBR de 7 , se podrá tener : Según la Tabla Z, se clasificaría como una vía arteria y tendría una capa de rodadura de adoquines de concreto de 80 mm de espesor y 40 mm de capa de arena ; su base sería de 220 mm de material granular para base o 170 mm de suelo cemento. Si se quiere incorporar una subbase granular (lo que se debe evaluar económicamente ) , se podría optar por 100 mm de base granular y 160 mm de subbase granular; o 75 mm de suelo-cemento y 200 mm de subbase granular, partiendo de los espesores mínimos acostumbrados para los materiales de base.

## 7. Consideraciones Finales

Después de lo expuesto en este documento no se pretenden sacar conclusiones pues básicamente lo que se ha hecho ha sido coordinar los métodos de diseño de pavimentos de adoquines de concreto utilizados en el Reino Unido, para que se puedan aplicar de manera

práctica a las condiciones imperantes en cualquier localidad, con énfasis en la solución de la incógnita de ¿ Qué hacer con los pavimentos para tráfico muy liviano ? .Pero dado que en el país se han utilizado tradicionalmente el método propuesto por el ICPC (6,7) con base en el Instituto del Asfalto, se presenta este último con algunos cambios con respecto a las premisas de diseño imperantes en 1985, para que se puedan establecer comparaciones y los diseñadores tengan mayor número de herramientas con que trabajar .

La cuidadosa enumeración y el soporte brindado para los factores de conversión para los diversos materiales que se incluyen en la Tabla 5 y 6 (de uso corriente en el Reino Unido) , tiene como propósito el que se puedan comparar con ellos los materiales de uso corriente en cada localidad, o los especificados en las normas del Instituto Nacional de Vías o de otras oficinas viales, tanto en sus características como en los factores de conversión con que comúnmente se trabajan y se pueda así obtener un mejor aprovechamiento de los mismos, con resultados más acordes con los que deben ser las estructuras de los pavimentos para determinadas condiciones.

Aunque no resulta tan claro, los espesores de todo asfalto calculados por el método del Instituto del Asfalto dan espesores netos mayores que los de la Norma Británica. Pero al utilizar diferentes factores de conversión se obtiene una inversión de los espesores calculados, con diferencia mucho mayores, porcentualmente , que las obtenidas para los espesores de asfalto. De ahí la importancia del criterio del diseñador para determinar con que factores trabajar, pues se hace más crítica esta decisión que la elección de trabajar con uno u otro método de diseño o de definición del todo asfalto.

Pero estos no son los únicos métodos de diseño existentes. Casi cada país o institución ha desarrollado el suyo, por lo cual se invita a los diseñadores a investigar las múltiples opciones disponibles y ahondar en la difícil tarea de juzgar cuál es la más adecuada para el medio Colombiano.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. COOK , IAN D and KNAPTPON, JOHN . A design method for lightly trafficked and pedestrian pavements. - P. 339-348. //En : CONCRETE BLOCK PAVING : PAVE



**INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO**

- ISRAEL 96 : INTERNATIONAL CONFERENCE (5: 1996 : Tel Aviv ) . Proceedings - Tel Aviv : Technion, 1996 - 727p.
2. BURTWELL, MARILIN H. , ATKINSON, V and HAWKER, L UK footway design guidance - P 329-338 . // En: CONCRETE BLOCK PAVING : PAVE ISRAEL 96 : INTERNATIONAL CONFERENCE (5: 1996 : Tel Aviv ) . Proceedings - Tel Aviv : Technion, 1996 - 727p.
  3. BRITISH STANDARD INSTITUTION. Guide for a structural design of pavements constructed with clay or concrete block pavers. -- London : BSI, 1992 -- 17p. -- (BSI, BS 7533 : 1992 ).
  4. KNAPTON J. Design of concrete block roads .// En : Betonwerk und Fertigkeit - Technik -- Vol. 56, N° 8 (Aug., 1990) ; p. 71 - 76.
  5. BRITISH PORTS FEDERATION. The structural design of heavy duty pavements for ports and other industries. -- 2 ed. - London : B.P.F. , 1990 -- 80 p.
  6. INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO . Diseño de espesores para pavimentos de adoquines de concreto.-- Medellín: ICPC , 1985 -- 8p. -- (ICPC, Notas Técnicas 4-19-184 )
  7. ----- Diseño de pavimentos para vías urbanas . -- 2 ed. --Medellín : ICPC 1992 -- 6 p. -- (ICPC , Notas Técnicas 4-20-1040 )
  8. DEPARTAMENT OF TRANSPORTATION, SCOTTISH DEVELOPMENT DEPARTMENT, WELSH OFFICE . Specification for highway works. -- London : HMSO , 1986 -- 54p. -- (series : 500 drainage and service ducts ; 600 earthworks ).
  9. ----- .Specification for highway works. -- London : HMSO ,1986 -- 73p. -- (Series : 700 road pavements : general ; 800 road pavements : unbound materials ; 900 road pavements : bituminous bound materials; 100 road pavements : concrete and cement bound materials; 1100 kerbs, footways and paved areas).
  10. POWEL, W.D., POTTER, J.F and MAYTHEW H.C. The structural design of bituminous roads. -- Crowthorne : Transport and Road Research Laboratory , 1984 -- 63p. -- (TRRL Laboratory Research 1132 ).
  11. SUELOS Y PAVIMENTOS LTDA. Patología de los pavimentos en la ciudad de medellín. Medellín , S.e. , 1983 216p.
  12. BRITISH PORTS FEDERATION . The structural design of heavy duty pavements for ports and other industries -- 3 ed. -- London : B.P.F. - INTERPAVE , 1996 -- 92 p.