ALCALDÍA DE
GACHETÁ



Resumen

DISEÑO DE PAVIMENTO EN ADOQUIN CARRERA 3ª Y CARRERA 4 ENTRE CALLE 5 A CALLE 7

AUTOR: ING. WILLIAM URREGO VELASQUEZ

2025

ALCALDÍA DE GACHETÁ

DISEÑO DE PAVIMENTO ARTICULAD (ADOQUIN) VIAS URBANAS GACHETA - CUNDINAMARCA

Contenido

1 INTRODUCCIÓN 6
1 OBJETIVOS 7
1.1 Objetivo general. 7
1.2 Objetivos específicos 7
2 FUNDAMENTO TEÓRICO 8
2.1 Historia 8
2.1.1 Orígenes antiguos 8
2.1.2 Edad Media y Revolución Industrial 8
2.1.3 Surgimiento de los adoquines de hormigón 8
2.1.4 La era moderna: Losas entrelazadas 9
2.2 Vía 11
2.3 Adoquín de concreto: 11
2.4 Definiciones 11
2.4.1 Definiciones generales 11
2.4.2 Partes de un pavimento articulado 14
2.5 Proceso Constructivo 15
2.5.1 Colocación y nivelación de la capa de arena 15
2.5.2 Colocación de los adoquines 16
2.5.3 Ajustes 16
2.5.4 Compactación inicial 17
2.5.5 Sello de juntas y compactación final 17
2.5.6 Confinamiento 17
2.5.7 Limitaciones en la ejecución 18
2.5.8 Apertura al tránsito 18
2.5.9 Conservación 18
2.6 SITUACION PARTICULAR PARA EL MUNICIPIO DE GACHETA 18
2.6.1 Condiciones y preparación del concreto existente. 19
2.6.2 Pasos para la instalación. 19
2.6.3 Consideraciones clave 20

2.6.4 Normatividad 20
2.6.5 Materiales 21
2.6.6 Ventajas 26
2.6.7 Ventajas debido al proceso constructivo 28
2.6.8 Ventajas relativas a la durabilidad 30
2.6.9 Ventajas relativas al costo de construcción 30
2.6.10 Limitantes 30
2.6.11 Funcionamiento 31
2.7 PATRONES PARA INSTALACION DE ADOQUINES 32
2.7.1 Tipos de PATRONES para pavimentos 32
3 DISEÑO DE PAVIMENTO 37
4 DISEÑO EVALUADO 43
4.1 DISEÑO DE LA ASSHTO 43
4.2 PARAMETROS DE DISEÑO 49
4.2.1 Espesor de los adoquines de concreto 50
4.2.2 Tráfico 50
4.2.3 Clima 51
4.2.4 Subrasante 51
4.2.5 Materiales granulares no tratados 51
5 ANÁLISIS DE RESULTADOS 52
5.1 Diseño con el método de la ASSHTO 52
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 53
7 REFERENCIAS 58
8 ANEXO 1 59

Lista de ilustraciones.

Ilustración 1 Pavimento de adoquines de piedra tipo Romano 9

Ilustración 2 Pisos en piedra – método antiguo de adoquín 10

Ilustración 3 Adoquín moderno 10

Ilustración 4 Elementos estructurales de un pavimento de adoquines (ASCE 2010) 14

Ilustración 5 Patrones de colocación típicos 36

Ilustración 6 Procedimiento de diseño empírico de un pavimento articulado 42

Ilustración 7 Convenciones diseño ASSHTO 45

Lista de Tablas

Tabla 1. Requisitos de calidad para adoquines de concreto 21

Tabla 2 Granulometría de la arena para soporte de los adoquines 22

Tabla 3 Requisitos de calidad de la arena para la capa de soporte y para el sello de juntas de los adoquines 23

Tabla 4 Granulometría de la arena para el sellado de juntas 24

Tabla 5 Espesores para los adoquines, la capa de arena y la capa de base en función del tráfico 40

Tabla 6 Factores de conversión entre CACC y otros materiales para base y subbase 41

Tabla 7 Factor de Confiabilidad de diseño 44

Tabla 8 Nivel de confiabilidad recomendado en función del TPD 44

Tabla 9 Correlaciones para calcular el coeficiente de capa 46

Tabla 10 Coeficiente de drenaje mi para materiales granulares 47

Tabla 11 Clases de tráfico 49

DISEÑO DE PAVIMENTO ARTICULAD (ADOQUIN) VIAS URBANAS GACHETA - CUNDINAMARCA

Lista de anexos.

Anexo 1. NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC 2017. ADOQUINES DE CONCRETO PARA PAVIMENTOS

ALCALDÍA DE GACHETÁ

DISEÑO DE PAVIMENTO ARTICULAD (ADOQUIN) VIAS URBANAS GACHETA - CUNDINAMARCA

1 INTRODUCCIÓN

En el municipio de Gachetá se evidencia el estado de deterioro de algunos pavimentos y la ausencia de ellos en algunas partes del municipio. Esto se debe no sólo a deficiencias en los diseños del plan maestro de acueducto y alcantarillado, o a alteraciones en las premisas de los mismos, como el tiempo de ejecución, sino a un déficit económico de la administración municipal para llevar a cabo el adecuado mantenimiento de los pavimentos existentes o reparaciones que implican altos costos.

Los pavimentos articulados tienen una serie de ventajas que pueden ser aprovechadas, ya que han sido ampliamente utilizados desde plazas y andenes hasta aeropuertos y puertos. Se plantea como una solución de pavimentación económica pues no requiere equipos especializados para su construcción y mantenimiento; y también se han desarrollado soluciones de sobre capas con adoquines de concreto que resultan más económicas que la remoción y reconstrucción del pavimento. Sin embargo, no han sido muy difundidos para tráfico vehicular medio y alto, pues no hay reglamentación adecuada, ni una metodología de diseño racional explícita para colocarlos al nivel en que se encuentran actualmente los otros tipos de pavimentos.

Este proyecto pretende mostrar las ventajas y debilidades de un pavimento articulado, estudiar su comportamiento y desarrollar una metodología de diseño racional para este tipo de pavimentos. Es importante anotar que en este documento se le llama pavimento articulado reconociendo que este no es un término adecuado para este tipo de estructuras, pues no define su comportamiento.

DISEÑO DE PAVIMENTO ARTICULAD (ADOQUIN) VIAS URBANAS GACHETA - CUNDINAMARCA

1 OBJETIVOS

1.1 Objetivo general.

Establecer criterios técnicos y financieros para el análisis del proceso de mejoramiento de vías urbanas por pavimentación con adoquines de concreto.

1.2 Objetivos específicos.

-Identificar los lineamientos establecidos actualmente para el diseño y ejecución de obras viales con adoquines de concreto, como la resistencia de los adoquines, espesores de capas base y subbase y los métodos constructivos; y en particular que se colocara el adoquín sobre una estructura ya consolidada como lo es sobre una capa de concreto instalada hace 30 años pero que aún presenta buen estado de servicialidad, donde muy poca es la que ha presentado perdida superficial de áridos y su espesor se encuentra entre 20 y 22 cms, pero por múltiples proceso de rotura para instalación de alcantarillado ha sido fragmentada; capa colocada sobre una subbase de espesor de 15 cm.

- Realizar un diagnóstico de la estabilidad de los suelos y la exploración de campo en las zonas a intervenir.

- Caracterizar limitaciones y potencialidades del proceso constructivo de pavimentación con adoquines de concreto con relación a otros sistemas de pavimentación.

- Identificar problemáticas técnicas y económicas asociadas a la ejecución de la obra con adoquines de concreto en el municipio

2 FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 Historia

La historia de los pavimentos articulados se remonta a las civilizaciones antiguas, que utilizaban bloques de piedra para construir caminos duraderos. Con el tiempo, los materiales y las técnicas evolucionaron, culminando en la producción moderna de adoquines de hormigón y otros bloques modulares.

2.1.1 Orígenes antiguos

- **Antigua Mesopotamia (aprox. 3000 a. C.):** Los sumerios utilizaban asfalto natural como mortero para unir bloques de piedra, creando pavimentos rudimentarios y otras estructuras.
- **Antigua Roma:** Los romanos perfeccionaron el uso de bloques de piedra, colocando elementos unitarios muy ajustados para crear sus famosas calzadas. La robustez de sus pavimentos se debía a una base sólida de capas compactadas. El término "adoquín" tiene sus raíces en esta tradición, derivado del árabe *al-dukkān*, que significa bloque.

2.1.2 Edad Media y Revolución Industrial

- **Empedrados medievales:** Durante la Edad Media, los adoquines, a menudo recogidos de lechos de ríos o canteras, se usaban para pavimentar calles en ciudades y pueblos de Europa. Este tipo de superficie era más resistente que la tierra o el barro y ayudaba a evitar la formación de surcos.
- **Revolución Industrial (siglo XIX):** El crecimiento urbano y el aumento del tráfico demandaron pavimentos más resistentes. Esto impulsó la estandarización y la producción en masa de bloques de piedra (granito, arenisca) para pavimentación.

2.1.3 Surgimiento de los adoquines de hormigón

- **Adoquines de hormigón (siglo XX):** Con el desarrollo del hormigón y las técnicas de prefabricado, comenzaron a producirse adoquines de hormigón a gran escala. Estos bloques, moldeados en fábrica, ofrecían mayor uniformidad, resistencia y rapidez de instalación en comparación con la piedra natural.

- **Pavimentos de losas de hormigón (mediados del siglo XX):** En la construcción de carreteras, la adopción de pavimentos de hormigón rígido fue un avance significativo. Inicialmente, las losas eran más largas, pero con el tiempo se redujo su tamaño para mitigar el agrietamiento por tensiones y mejorar la durabilidad.

2.1.4 La era moderna: Losas entrelazadas

- **Adoquines entrelazados (finales del siglo XX y siglo XXI):** La innovación más importante fue el desarrollo de adoquines con formas geométricas que se entrelazan. Estos bloques, colocados sobre una base de arena, transfieren las cargas a las losas circundantes, creando una estructura más fuerte y flexible.
- **Ventajas modernas:** Los pavimentos articulados actuales, fabricados con hormigón de alta resistencia, son versátiles, duraderos y permiten una fácil reparación o acceso a las instalaciones subterráneas. Esto los hace ideales para zonas peatonales, carriles de tráfico y usos paisajísticos.



Ilustración 1 Pavimento de adoquines de piedra tipo Romano



Ilustración 2 Pisos en piedra – método antiguo de adoquín

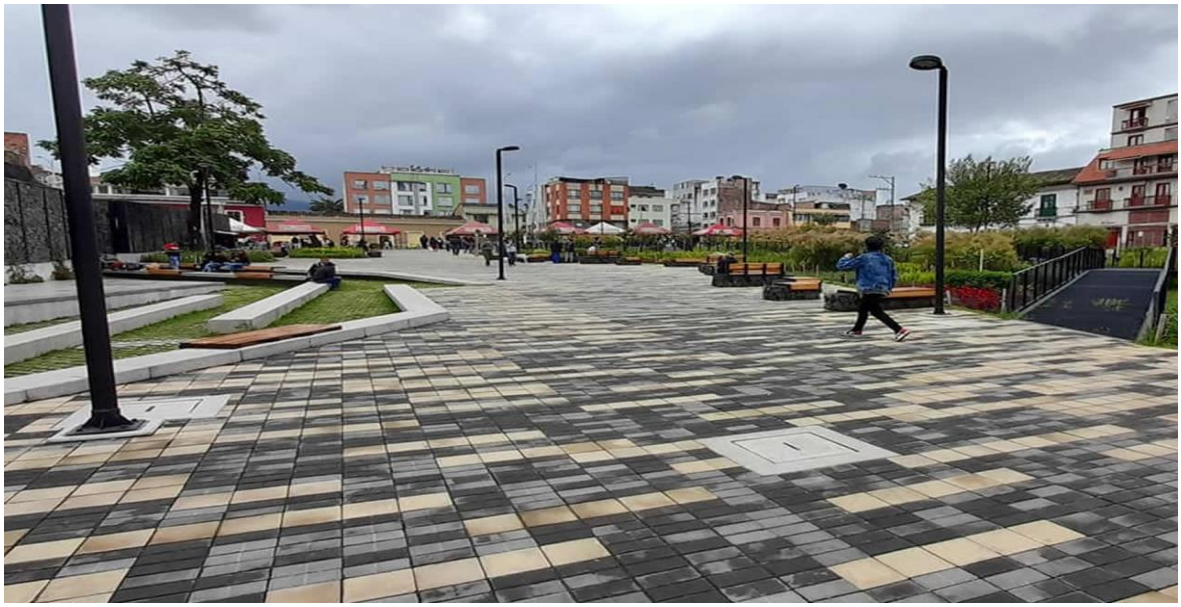


Ilustración 3 Adoquín moderno

En Colombia, aunque hubo alguna producción de adoquines durante los años cincuenta y sesenta, solo después de 1975 se comenzaron a utilizar realmente los pavimentos de adoquines.
Las investigaciones y desarrollos más destacados que le han dado al pavimento de adoquines un soporte técnico sólido, comenzaron en la década de los setenta. [3]

2.2 Vía

Es un espacio que puede ser de carácter público o privado cuya función es el tránsito de vehículos, personas o animales (Ministerio de Transporte, 2002). Se puede definir a las vías como un "sistema estructural de transporte que permite la circulación de vehículos en condiciones de continuad en el espacio y el tiempo y que requieres de cierto nivel de seguridad, rapidez y comodidad" (Ospina, J.J.A.2002).

Estas estructuras permiten el flujo de vehicular y/o peatonal, se pueden encontrar en diferentes materiales como, tierra o afirmado, pavimento rígido, pavimento flexible, o combinaciones de materiales de acuerdo a las necesidades de cada población y la existencia de recursos humanos y económicos para la ejecución de dichas estructuras. 4

2.3 Adoquín de concreto:

Es un elemento estructural prismático recto, macizo, prefabricado en concreto, que dispuestos en forma articulada entre elementos forman superficies de rodadura o de tránsito peatonal. Las partes de este elemento se pueden identificar como: - Cara de desgate del adoquín: Parte superior expuesta del elemento donde se soportarán los pasos peatonales o vehiculares. - Cara de apoyo: Es la parte interna del elemento que estará en contacto con la capa de arena de soporte - Caras laterales: Son las caras verticales del elemento que estarán en contacto con otros adoquines a través de las juntas (ICONTEC, 2013)

2.4 Definiciones

2.4.1 Definiciones generales

PAVIMENTO

Un pavimento es una estructura construida con múltiples capas de materiales superpuestos, diseñada para proporcionar una superficie duradera, resistente y segura para el tránsito vehicular y peatonal. Su función principal es distribuir las cargas del tráfico a la subrasante (el suelo natural), protegiéndola del desgaste y las condiciones ambientales.

ALCALDÍA DE GACHETÁ

DISEÑO DE PAVIMENTO ARTICULAD (ADOQUIN) VIAS URBANAS GACHETA - CUNDINAMARCA

Propósitos principales

- **Capacidad de carga:** Distribuir el peso de los vehículos para que no exceda la capacidad de soporte del suelo subyacente.

- **Seguridad:** Ofrecer una superficie con una fricción adecuada que prevenga derrapes, incluso en condiciones de lluvia.

- **Comodidad:** Proporcionar una superficie de rodadura suave y cómoda para los usuarios.
- **Durabilidad:** Resguardar la estructura inferior de los efectos del agua y otros factores climáticos.

Tipos de pavimentos

- Existen varios tipos de pavimentos, que varían según los materiales utilizados y su diseño estructural:

- **Pavimentos flexibles (asfálticos):** Están compuestos por una mezcla de áridos (grava y arena) y un material bituminoso, como el asfalto. Tienen cierta plasticidad, lo que les permite absorber impactos y adaptarse a las deformaciones del terreno. Se usan comúnmente en carreteras con alto volumen de tráfico.

- **Pavimentos rígidos (de concreto):** Se construyen con losas de hormigón de cemento Portland. Son muy resistentes y duraderos, ideales para zonas de tránsito pesado, como aeropuertos y carreteras con gran flujo de camiones.

- **Pavimentos semirrígidos:** Combinan características de los pavimentos flexibles y rígidos.

- **Otros materiales:** También se pueden utilizar adoquines, empedrados y bloques de concreto para crear superficies de tránsito en áreas urbana

Pavimento articulado

Un pavimento articulado es una estructura de pavimento flexible compuesta por elementos de hormigón prefabricados, como adoquines, que se colocan sobre una capa de arena niveladora. Estos bloques, al unirse, se transfieren las cargas entre sí para trabajar de manera conjunta, creando una superficie resistente, adaptable y permeable.

ALCALDÍA DE GACHETÁ

DISEÑO DE PAVIMENTO ARTICULAD (ADOQUIN) VIAS URBANAS GACHETA - CUNDINAMARCA

Características

- **Elementos modulares**: Se compone de bloques uniformes de hormigón que encajan entre sí, en lugar de una superficie continua de asfalto o concreto.

- **Flexibilidad**: A diferencia del pavimento rígido de concreto, esta estructura permite la adaptación a pequeños movimientos o asentamientos del suelo subyacente sin que se generen fisuras en la superficie.

- **Permeabilidad**: Muchos diseños de pavimentos articulados permiten la infiltración del agua de lluvia, lo que reduce la escorrentía superficial y ayuda a recargar los mantos acuíferos.

- **Resistencia y durabilidad**: Los adoquines de concreto son muy densos y resistentes, por lo que pueden soportar cargas vehiculares pesadas si el diseño es adecuado.
-
- **Fácil reparación**: Si un bloque se daña, puede ser reemplazado fácilmente sin tener que demoler grandes secciones del pavimento, lo que reduce los costos de mantenimiento.
-
- **Instalación rápida**: Al ser un sistema modular, se puede usar para el tráfico casi de inmediato después de su instalación, sin necesidad de esperar largos periodos de curado.

Usos comunes

- **Zonas peatonales y estacionamientos**: Su resistencia y diseño estético lo hacen ideal para áreas de alto tráfico peatonal y vehicular.

- **Calles y vías urbanas**: Se usa en vías con tráficos medios y altos donde se busca una mayor durabilidad y menor costo de mantenimiento.

- **Protección contra la erosión**: En zonas con grandes flujos de agua, los bloques articulados (a menudo conectados por cables) protegen el suelo de la erosión en canales de drenaje o riberas.

Un pavimento articulado está compuesto por una capa de rodadura de adoquines de concreto; la capa de base y la de subbase cuando la anterior exista y opcionalmente una capa de mejoramiento de la

subrasante. Es importante que este tenga unas restricciones laterales de confinamiento adecuadas. Estructura típica se muestra en la Figura 1.

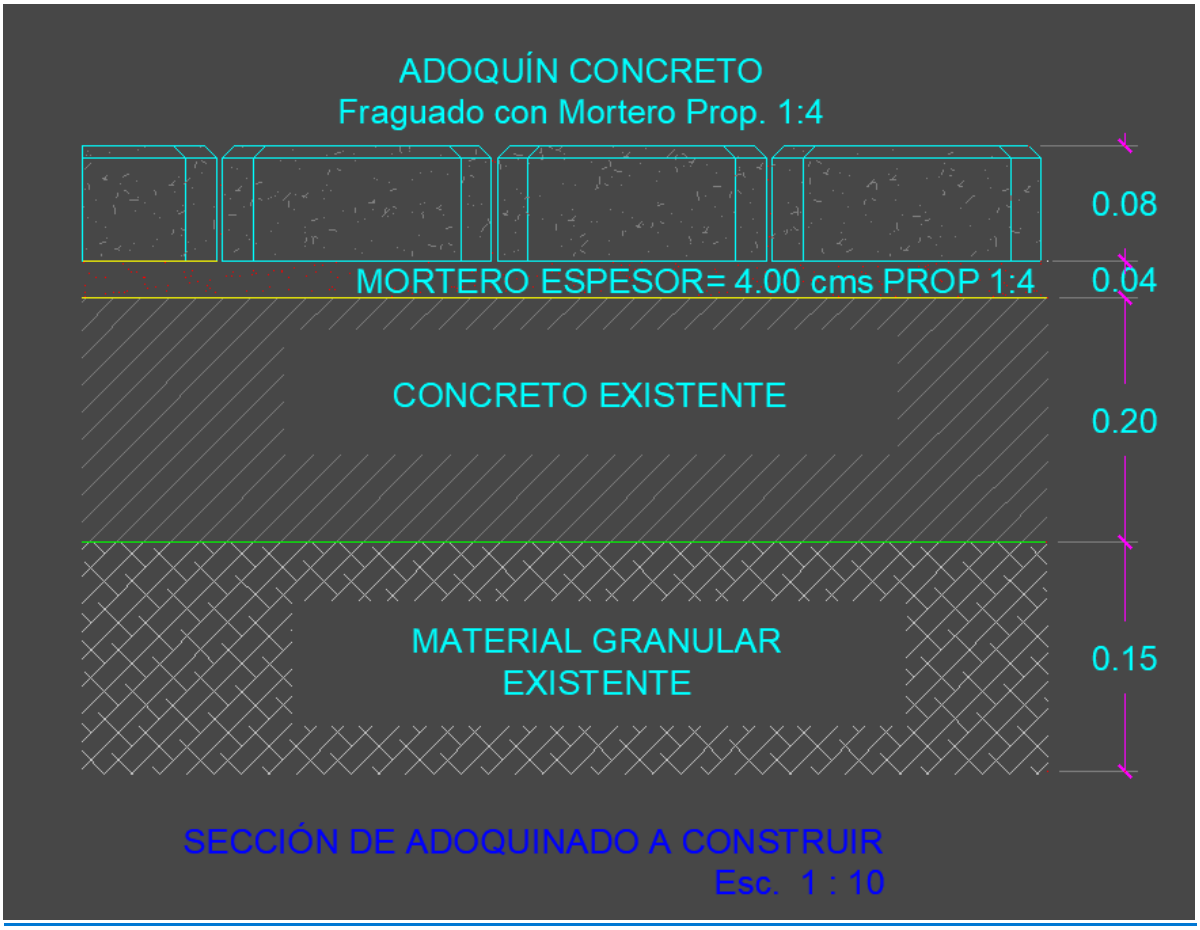


Ilustración 4 Elementos estructurales de un pavimento de adoquines PROPUESTO

2.4.2 Partes de un pavimento articulado

Componentes de un pavimento articulado

- **Adoquines de concreto:** Son los bloques prefabricados que conforman la superficie de rodadura del pavimento. Trabajan en conjunto para distribuir las cargas del tráfico y son altamente resistentes al desgaste y la intemperie.
- **Junta de arena:** Es la arena fina que se coloca entre los adoquines. Cumple una función crucial en el Inter trabado de los bloques, permitiendo la transferencia de carga entre ellos y ayudando a sellar las juntas para evitar la entrada de suciedad y agua. Puede ser un mortero liviano proporción 1:4
- **Bordillo de confinamiento:** Es una estructura lateral (generalmente de concreto) que confina y restringe el movimiento lateral de los adoquines y de la base granular, asegurando la estabilidad y el buen desempeño del pavimento.
- **Capa de arena niveladora:** Es una capa de arena que se coloca justo debajo de los adoquines. Su función es proporcionar una superficie uniforme y estable para la colocación de los bloques, asegurando la correcta nivelación del pavimento. Puede ser un mortero liviano proporción 1: 4
- **Base granular compactada:** Una capa de material granular (grava triturada) que se compacta para proporcionar estabilidad y distribuir las cargas del tráfico de manera más uniforme hacia las capas inferiores.
- **Subbase granular compactada:** Otra capa de material granular que se coloca entre la base y la subrasante. Proporciona estabilidad adicional y mejora las propiedades de drenaje del sistema, especialmente en suelos menos resistentes.
- **Subrasante:** Es el suelo natural o mejorado que sirve de cimiento para toda la estructura del pavimento. Su capacidad de soporte es fundamental para el diseño y rendimiento del pavimento articulado.

2.5 Proceso Constructivo

El proceso a adelantar para la construcción de la capa de adoquines de concreto se lleva a cabo de la siguiente manera:

2.5.1 Colocación y nivelación de la capa de arena o mortero

Se coloca la arena seca o mortero proporción 1:4, sobre la capa de base, para este caso sobre concreto existente; con un espesor uniforme tal que, al ser compactada la capa de rodadura, tenga un espesor

entre 30 y 40 mm. Si la arena ya colocada sufre algún tipo de compactación antes de colocar los adoquines, se le debe devolver su carácter suelto con ayuda de un rastrillo y se enrasa de nuevo.
La capa de arena debe irse extendiendo coordinadamente con la colocación de los adoquines, de manera que no quede expuesta al término de la jornada de trabajo.

2.5.2 Colocación de los adoquines

Los adoquines se colocan directamente sobre la capa de arena nivelada, al tope unos con otros, de manera que generen juntas que no excedan 3 mm.

La colocación debe seguir un patrón uniforme, el cual se controlará con hilos para asegurar su alineamiento transversal y longitudinal. Si los adoquines son rectangulares con relación largo/ancho de 2/1, el patrón de colocación será de espina de pescado (figura 3), dispuesto en cualquier ángulo sobre la superficie, patrón que se sigue de manera continua, sin necesidad de alterar su rumbo al doblar esquinas o seguir trazados curvos. Si los adoquines se colocan en hileras, se debe cambiar de orientación para respetar la perpendicularidad a la dirección preferencial de circulación.
Los adoquines de otras formas se tratan de colocar en hileras perpendiculares a la dirección preferencial de circulación, pero sin cambiarles el sentido al doblar esquinas o seguir trazados curvos.
Los adoquines no se nivelan individualmente, pero sí se podrán ajustar horizontalmente para conservar el alineamiento.
Para zonas en pendiente, la colocación de los adoquines se hace preferiblemente de abajo hacia arriba.

2.5.3 Ajustes

Una vez colocados los adoquines que quepan enteros dentro de la zona de trabajo, se colocan ajustes en las áreas que hayan quedado libres contra las estructuras de drenaje o de confinamiento.
Estos ajustes se hacen, preferiblemente, partiendo adoquines en piezas con la forma necesaria. Los ajustes cuya área sea inferior a la cuarta parte del tamaño de un adoquín, se hacen, después de la compactación final, empleando un mortero compuesto por una
(1) parte de cemento, cuatro (4) de arena y poca agua.

2.5.4 Compactación inicial

Una vez terminados los ajustes con piezas partidas, se procede a la compactación inicial de la capa de adoquines, mediante la pasada de una vibrocompactadora de placa, cuando menos dos (2) veces en direcciones perpendiculares.

El área adoquinada se compacta hasta un metro (1 m) del borde del avance de la obra o de cualquier borde no confinado. Al terminar la jornada de trabajo, los adoquines tendrán que haber recibido, al menos, la compactación inicial, excepto en la franja de un metro (1 m) recién descrita.
Todos los adoquines que resulten partidos durante este proceso deberán ser extraídos y reemplazados.

2.5.5 Sello de juntas y compactación final

Inmediatamente después de la compactación inicial, se aplica la arena de sello sobre la superficie en una cantidad equivalente a una capa de 3 mm de espesor y se barre repetidamente y en distintas direcciones, con una escoba o cepillo de cerdas largas y duras. En el momento de su aplicación, la arena debe encontrarse lo suficientemente seca para penetrar con facilidad por las juntas.
Simultáneamente, se aplica la compactación final, durante la cual cada punto del pavimento debe recibir al menos cuatro (4) pasadas del equipo (vibrocompactadora de placa), preferiblemente desde distintas direcciones.
Si el Interventor lo considera conveniente, la compactación se completará con el paso de un rodillo neumático o uno liso de rodillos pequeños, con el fin de reducir las deformaciones posteriores del pavimento.

2.5.6 Confinamiento

Los pavimentos de adoquines deben tener una estructura de confinamiento que impida su desplazamiento lateral a causa del empuje del tránsito vehicular.
Las estructuras de confinamiento deben rodear completamente el área pavimentada y deben penetrar, por lo menos, quince centímetros (15 cm) en la capa de base que se encuentre bajo la capa de arena y su nivel superior cubrirá, como mínimo, la mitad del espesor del adoquín después de compactado.

2.5.7 Limitaciones en la ejecución

Ninguna de las operaciones que forman parte de la construcción del pavimento de adoquines se realizará en momento de lluvia. Si la capa de arena que sirve de apoyo a los adoquines ha soportado lluvia o agua de escorrentía, deberá ser levantada y reemplazada por una arena suelta de humedad baja y uniforme.
Si se tenían adoquines colocados sin compactar ni sellar, el Interventor investigará si el agua ha producido erosión de la arena por debajo de las juntas y, en caso de que ello haya sucedido, el Constructor deberá retirar los adoquines y la capa de arena y repetir el trabajo, a su costa.

2.5.8 Apertura al tránsito

El tránsito automotor no se permitirá hasta que el pavimento haya recibido la compactación final y esté completamente confinado.

2.5.9 Conservación

Durante un lapso de cuanto menos dos (2) semanas, se dejará un sobrante de arena esparcido sobre el pavimento terminado, de manera que el tránsito y las posibles lluvias ayuden a acomodar la arena en las juntas.
No se permitirá lavar el pavimento con chorro de agua a presión, ni recién terminada su construcción, ni posteriormente.

2.6 SITUACION PARTICULAR PARA EL MUNICIPIO DE GACHETA

Como es posible instalar adoquines sobre una base de concreto existente, siempre y cuando esta se encuentre en buen estado estructural. Este método es más económico, genera menos desorden que excavar y permite aprovechar una superficie ya compactada y medianamente organizada.

Los fundamentos se describen en el **menor impacto social, a**l no tener que presentar grandes excavaciones, **mejora la calidad de vida** de los usuarios al presentar una alternativa mas amigable con el entorno.

2.6.1 Condiciones y preparación del concreto existente.

- **Evaluar la base de concreto:** Antes de comenzar, se debe inspeccionar la losa de concreto para detectar grietas o deterioros significativos. La base debe ser sólida y estable.
- **Verificar la pendiente:** Una de las situaciones más importante es que debe crear una capa de drenaje (1 pulgada de arena de lecho como minimo) debajo de los adoquines. Al hacerlo, permite que el agua se drene de los adoquines y de la losa de concreto (recuerde, cuanto más delgada sea la capa de lecho, mayor será el riesgo de dañar los adoquines). Esta capa de drenaje de arena gruesa también debe ser retenida por algún tipo de borde alrededor del perímetro para que no se lave con el tiempo. Una vez que los adoquines estén instalados y cuidadosamente compactados, y todas las juntas estén enderezadas (ajuste las líneas torcidas con un destornillador o una palanca pequeña), rellene las juntas de los adoquines como lo haría con cualquier otro instalación de adoquines. Dado que sus adoquines están sobre concreto, le recomendamos que use una arena polimérica no permeable para rellenar las juntas.
- **Limpiar y reparar:** Limpie a fondo la superficie de concreto, eliminando escombros, grasa o suciedad. Repare las grietas y huecos existentes.

2.6.2 Pasos para la instalación.

1. **Instalar un borde de contención:** Cree un borde alrededor del perímetro de la zona a pavimentar para evitar que la arena de cama se desplace con el tiempo. Puede utilizar adoquines especiales para bordes, o bien un borde de plástico o metal, asegurado con estacas si es necesario.
2. **Agregar una capa de drenaje:** Coloque una capa de arena gruesa de aproximadamente 2,5 cm de espesor sobre el concreto limpio. Esta capa permitirá que el agua drene y servirá como lecho para los adoquines.
3. **Nivelar la arena:** Utilice una regla y una compactadora de placas para nivelar y compactar la capa de arena, creando una base uniforme para los adoquines.

4. **Colocar los adoquines:** Coloque los adoquines sobre el lecho de arena siguiendo el patrón de diseño deseado. Asegúrese de mantener las juntas uniformes a medida que avanza.
5. **Ajustar y compactar:** Utilice un mazo de goma para asentar los adoquines en su lugar. Luego, use una compactadora de placas para compactar firmemente toda la superficie.
6. **Rellenar las juntas:** Vierta arena polimérica sobre los adoquines y barra el exceso para que llene las juntas. La arena polimérica es la más recomendada para este tipo de instalación, ya que evita el crecimiento de maleza y el desplazamiento de la arena.
7. **Sellar la arena:** Siga las instrucciones del fabricante para humedecer la arena polimérica y activarla. El agua hará que se endurezca, sellando las juntas de forma efectiva.

2.6.3 Consideraciones clave

- **Tipo de adoquín:** Asegúrese de usar adoquines con un grosor adecuado para el uso previsto. Para tráfico vehicular, los adoquines de 50 mm o más gruesos son los más recomendados.
- **Drenaje:** Si bien los adoquines permiten cierto drenaje, no son completamente permeables cuando se instalan sobre una base de concreto. Por eso, una buena pendiente en el concreto es fundamental.
- **Durabilidad:** Los adoquines son más resistentes que el concreto decorativo y pueden soportar los ciclos de congelación y descongelación sin agrietarse, lo que los hace una opción muy duradera.

2.6.4 Normatividad

Las “Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras” del INVIAS contempla los pavimentos articulados en el capítulo V titulado “Pavimentos de concreto”, Artículo 510 “Pavimentos de adoquines de concreto”. Allí se da una descripción de los materiales y de la ejecución de los trabajos, se dan las condiciones para el recibo de los trabajos y la medida y forma de pago de este tipo de pavimentos.

2.6.5 Materiales

A continuación, se describen las características que deben tener los materiales para la capa de rodadura de adoquines de concreto.

2.6.5.1 Adoquines

Los adoquines de concreto deben cumplir todos los requisitos establecidos en la NTC 2017, junto con los requisitos de calidad que se presentan en la Tabla 510 — 1. Estos requisitos reemplazan los establecidos en la NTC 2017 para porcentaje máximo de absor ción de agua y resistencia a la abrasión. Cuando en los documentos del proyecto no se especifique las dimensiones de los adoquines, estos deben ser rectangulares biselados de veinte centímetros (20 cm) de largo, diez centímetros (10 cm) de ancho, incluyendo separadores y ocho centímetros (8 cm) de espesor. Para los niveles de tránsito NT1, NT2 y NT3 (clasificación según el artículo 100, Ámbito de aplicación, términos y definiciones), y según la NTC 2017, el espesor mínimo puede ser de seis centímetros (6 cm). Para tránsito peatonal, se pueden emplear adoquines con espesores de cuatro centímetros (4 cm) como medida mínima. Sin embargo, se debe garantizar que no haya ningún tipo de tránsito vehicular que pueda deteriorar el pavimento. El interventor debe aprobar esta dimensión, de acuerdo con las características del proyecto.

ESPESIFICACIÓN 510 — 1

Tabla 1. Requisitos de calidad para adoquines de concreto

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito	
		Valor promedio de 5 elementos	Valor individual
Resistencia a la compresión a veintiocho días (28 d), mínimo (MPa)	E-426	55 MPa (Ver nota) 50 MPa (Ver nota) Absorción, máximo (%	50 MPa (Ver nota)
Absorción, máximo (%)	E-427	5	7

Resistencia a la abrasión mediante chorro de arena: - Coeficiente de pérdida de volumen por abrasión, máximo (cm3/cm2)- Pérdida promedio de espesor, máximo (mm)	E-425	15/50 3	- '-

Nota: Requisito exigible sólo para vías NT2 y NT3

2.6.5.2 Arena para capa de soporte

La arena utilizada para la capa de apoyo de los adoquines, será de origen aluvial, sin trituración, libre de polvo, materia orgánica y otras sustancias objetables. Deberá, además, satisfacer los siguientes requisitos:

- *Granulometría*

La arena por emplear deberá ajustarse a la siguiente gradación:

Tabla 2 Granulometría de la arena para soporte de los adoquines

Tamiz (mm / U.S. Standard)		Porcentaje que pasa
Normal	Alterno	
9.5 mm	3/8"	100
4.75 mm	No. 4	90 - 100
2.36 mm	No. 8	75 - 100
1.18 mm	No. 16	50 - 95
600 m	No. 30	25 - 60
300 m	No. 50	10 -30
150 m	No. 100	0 - 15
75 m	No. 200	0 - 5

ESPESIFICACION 510 — 2.

Calidad

La arena para la capa de soporte de los adoquines debe cumplir los requisitos de calidad especificados en la Tabla 510 — 3.

2.6.5.3 Arena para el sello

La arena utilizada para el sello de las juntas entre los adoquines debe ser de origen aluvial, sin trituración, libre de polvo, materia orgánica y de cualquier sustancia contaminante. Esta debe ser aprobada por el interventor y además debe cumplir los rangos granulométricos establecidos en la ESPESIFICACION 510 — 4.

En cuanto a calidad, la arena para sello debe cumplir los requisitos establecidos en la ESPESIFICACION 510 — 3[1]:

ESPESIFICACION 510 — 3. Requisitos de calidad de la arena para la capa de soporte y para el sello de juntas de los adoquines

Tabla 3 Requisitos de calidad de la arena para la capa de soporte y para el sello de juntas de los adoquines

Característica	Norma de ensayo INV	REQUISITO
Dureza (0)	E-245	8
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%).		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de sodio, máximo (%).	E-220	7
Geometría de las partículas (F)		
Partículas subangulares y sobre redondeadas combinadas, mínimo (%)	E-102	60
Limpieza (F)		
Índice de plasticidad	E-125 y E-126	N.P
Equivalente de arena, mínimo (%).	E-133	60

ESPESIFICACION 510 – 4.

[1] https://www.invias.gov.co/index.php/normativa/politicas-y-lineamientos/documentos-tecnicos/19173-articulos-egcc-2022/file

Tabla 4 Granulometría de la arena para el sellado de juntas

Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S. Standard)					
	2,36	1,18	0.600	0,300	0,150	0,075
	Nro. 8	Nro. 16	Nro. 30	Nro. 50	Nro. 100	Nro. 200
	Pasa tamiz (%)					
Única	100	90 – 100	60 – 90	30 – 60	5 – 30	0 – 15

2.6.5.4 Confinamiento y drenaje

Para evitar el daño de la capa de rodadura, el pavimento debe contar con un confinamiento tanto externo (elementos que rodean el pavimento) como interno (elementos que rodean las estructuras que se encuentran dentro del pavimento), para impedir su desplazamiento a causa del empuje del tránsito vehicular. Estos elementos de confinamiento deben ser construidos antes de la colocación de la arena de soporte y los adoquines.

2.6.5.5 Confinamiento externo

El confinamiento externo para un pavimento de adoquines en concreto debe estar conformado por bordillos o concreto fundido en sitio. Estos deben cumplir las especificaciones detalladas en el artículo 672, Bordillos en concreto, para garantizar buena capacidad mecánica y la estabilidad de la estructura

Cuando se requiera el empalme de un pavimento de adoquines con un pavimento de concreto, asfalto o sin capa de rodadura, que presenten bordes irregulares o fracturados, se deben construir bordillos en concreto, para el correcto confinamiento y para marcar la transición entre estructuras.

El sistema de confinamiento debe rodear completamente el área pavimentada y debe penetrar, por lo menos, quince centímetros (15 cm) en la capa de base que se encuentre bajo la capa de arena y su nivel superior debe cubrir, como mínimo, la mitad del espesor del adoquín, después de compactado.

2.6.5.6 Drenaje de confinamiento externo

Para evitar la acumulación de agua y el deterioro de la base o la subbase, la capa de arena de soporte se debe drenar, por medio de la construcción de un sistema que conduzca el agua por fuera de la

estructura de pavimento, a través de tubos verticales.

Se recomienda que el diámetro sea de al menos dos coma cincuenta y cuatro centímetros (2,54 cm) (1 pulgada). Los drenajes se deben ubicar donde se prevea concentración de aguas. Este debe atravesar la estructura desde la base hasta la parte baja de la arena de capa de soporte y se deben llenar de un material granular de igual tamaño. La entrada del sistema de drenaje debe ser cubierto con un parche de geotextil no tejido para evitar la migración de la arena.

De manera alternativa, se pueden utilizar drenajes horizontales que atraviesen el confinamiento de uno coma veintisiete centímetros (1,27 cm) (1/2 pulgada) de diámetro, ubicados en la parte inferior de la capa de soporte, con el objetivo de evacuar el agua del pavimento. De igual manera, se debe cubrir la entrada del tubo con un parche de geotextil no tejido, para evitar la migración de la arena. Cualquier diseño propuesto se debe llevar a evaluación y se debe comprobar su eficiencia. Para la implementación, el interventor debe aprobar el sistema.

2.6.5.7 Confinamiento interno

Cuando existan estructuras dentro del pavimento como sumideros, cámaras de inspección o cualquiera que interfiera con una sección continua de la capa de rodadura de adoquines de concreto, se debe construir un recubrimiento de concreto (prefabricado o vaciado en obra) alrededor de estas estructuras. Se debe colocar confinamiento transversal en el sentido del flujo (peatonal o vehicular) cada cierta distancia. El interventor debe aprobar esta distancia.

2.6.5.8 Drenaje de confinamiento interno

El confinamiento interno debe contar con drenajes horizontales que atraviesen el confinamiento, de uno coma veintisiete centímetros (1,27 cm) (1/2 pulgada) de diámetro y alineados con la parte inferior de la capa de arena de soporte cada cuarenta centímetros (40 cm).

Un parche de geotextil no tejido debe cubrir la entrada del tubo, para evitar la migración de la arena y para garantizar un flujo eficiente del agua a través de la estructura, evitando así el estancamiento del agua. Se puede usar de otro sistema para drenar, por medio del confinamiento interno. Este se debe evaluar y se debe comprobar su eficiencia. Para su implementación, el interventor debe aprobar el sistema.

2.6.5.9 Drenaje subterráneo

Para evitar acumulaciones de agua y el deterioro de la base o subbase, se pueden implementar geotextiles que permitan la impermeabilización entre la capa de arena de soporte y la capa base de la estructura, de manera que se permita dirigir, de manera más eficiente, el agua hacia los drenajes en el confinamiento interno y externo. El interventor debe aprobar este geotextil

2.6.5.10 Drenaje superficial

Para evacuar el agua superficial, reducir su penetración por las juntas y conducirla hacia a las estructuras de drenaje, el pavimento debe contar con las pendientes y los mecanismos de recolección adecuados. El constructor debe proponer este sistema de drenaje, que, además debe cumplir la normativa correspondiente para cada estructura de drenaje escogida y pendientes para un correcto bombeo.

2.6.5.11 Equipo

El equipo necesario para la construcción de una capa de rodadura de adoquines en concreto consiste en herramientas para el transporte ordenado de los adoquines que impidan la alteración de la calidad de las piezas, equipos de corte de adoquines, vehículos para el trasporte de la arena, una vibrocompactadora y herramientas manuales como rieles, reglas, enrasadores, palas, llanas, escobas, etc. La vibrocompactadora debe ser de placa con un área entre cero coma veinte y cero coma cincuenta metros cuadrados (0,20 m2 – 0,50 m2). No se recomienda utilizar placas más grandes, ya que pueden llegar a fisurar los adoquines, especialmente los adoquines de seis centímetros (6 cm) de espesor. Para la instalación se pueden utilizar, también, equipos mecánicos adecuados para este propósito. Se debe demostrar su correcto funcionamiento, antes de su uso en obra y el interventor los debe aprobar.

2.6.6 Ventajas

Los pavimentos de adoquines o articulados poseen unas características particulares que se traducen en ventajas sobre los otros tipos de pavimentos en varios aspectos específicos, estas son:
Existen numerosas ventajas al colocar adoquines, entre las que destacan su durabilidad, facilidad de mantenimiento y atractivo estético. Este tipo de pavimento ofrece una alternativa versátil y resistente

para una gran variedad de proyectos, desde patios y entradas de vehículos hasta calles y plazas públicas.

2.6.6.1 Durabilidad y resistencia

- **Larga vida útil:** Los adoquines son extremadamente duraderos y pueden soportar el tráfico vehicular y las inclemencias del tiempo, con una vida útil que puede superar los 40 o 50 años con el mantenimiento adecuado.
- **Flexibilidad:** A diferencia del concreto o el asfalto, un pavimento de adoquines es flexible, lo que le permite adaptarse a los cambios del terreno y a las variaciones de temperatura sin agrietarse.
- **Alta resistencia al desgaste:** Cuentan con una elevada resistencia a la abrasión superficial, lo que los hace ideales para zonas de mucho tránsito.

2.6.6.2 Mantenimiento y reparación

- **Reparaciones sencillas:** En caso de que un adoquín se dañe o se necesite acceder a tuberías subterráneas, es posible levantar y reemplazar solo las piezas afectadas sin necesidad de demoler toda la superficie, a diferencia de lo que ocurre con el asfalto o el concreto.
- **Bajo costo de mantenimiento:** El mantenimiento general es mínimo y de bajo costo. Por lo general, solo se requiere un barrido regular y, ocasionalmente, un lavado a presión para eliminar manchas o suciedad.

2.6.6.3 Estética y diseño

- **Versatilidad de diseño:** Los adoquines están disponibles en una amplia gama de materiales (hormigón, piedra natural, arcilla), formas, tamaños, texturas y colores, lo que permite crear diseños personalizados y visualmente atractivos.
- **Aumento del valor de la propiedad:** La mejora estética de un área adoquinada puede aumentar el valor y el atractivo de la propiedad.
- **Mejora paisajística:** Contribuyen a embellecer los entornos urbanos y rurales, aportando un toque de elegancia y orden.

2.6.6.4 Sostenibilidad y seguridad

- **Mejor drenaje:** Existen adoquines permeables diseñados para permitir el paso del agua de lluvia al subsuelo, lo que ayuda a reducir la escorrentía superficial y a recargar los mantos acuíferos.
- **Sostenibilidad ecológica:** Algunos adoquines están fabricados con materiales ecológicos, como el hormigón reforzado, lo que los convierte en una opción sostenible.
- **Reducción del calor:** Absorben menos calor que el asfalto y se enfrían más rápido, lo que ayuda a mitigar el efecto de "isla de calor" en verano.
- **Mayor seguridad:** La rugosidad de su superficie mejora la tracción y reduce la distancia de frenado, lo que los hace más seguros en climas húmedos

2.6.7 Ventajas debido al proceso constructivo

- Los adoquines que conforman la capa de rodadura son elementos prefabricados que llegan listos al lugar de la obra; por lo tanto, su calidad se controla en fábrica. Estos ya vienen con protocolos de calidad establecidos, con base en el espesor y la resistencia del adoquín según lo especificado.
- En el terminado de la capa de rodadura de adoquines de concreto interviene procesos térmicos ni químicos, ni periodos de espera. Sin embargo en lluvia moderada a fuerte se deben suspender los trabajos.
- Como se trabaja con pequeñas zonas a la vez cualquier área se puede adoquinar por etapas con lo cual no se altera ninguna economía de escala.
- Dependiendo del proceso constructivo se puede requerir el empleo de poca maquinaria.
- Así como la labor de colocación de las piezas puede ser mecánica, ha sido fundamentalmente artesanal. Se utiliza mano de obra que según se organice el proceso constructivo se puede multiplicar al crear varios frentes de trabajo simultáneamente.
- Como los adoquines son piezas pequeñas que no están unidas rígidamente unas con otras el pavimento de adoquines se adapta a cualquier variación en el alineamiento horizontal o vertical de la vía sin necesidad de elaborar juntas de construcción.

2.6.7.1 Ventajas debido al manejo del pavimento

- Como la base estructural la capa de base granular no se utilizara el componente se realiza

sobre un pavimento rígido de espesor variable de 20 cm a 22 cms existente. Por lo tanto la superficie no presentara fallas como hundimientos o saturación de agua, por lo tanto se se espera que aumente el rendimiento en la instalación

- Cuando se tiene un pavimento de adoquines la capa de rodadura es recuperable en su gran mayoría, pues como no van pegados unos con otros se pueden retirar y almacenar para reutilizarlos luego. Esta ventaja es útil cuando se presenta una falla en el pavimento o cuando hay que instalar o reparar las redes de servicios que pasan por debajo de la vía.
- El mantenimiento de los pavimentos de adoquines es muy simple. Además de la reparación de las zonas que por problemas constructivos puedan presentar algún hundimiento, el pavimento de adoquines solo requiere que se le retire la vegetación que pueda aparecer dentro de las juntas y de llenado de mediante barrido de arena fina de las juntas que se hayan vaciado.

2.6.7.2 Ventajas debidas a su apariencia

- Por estar conformado por muchas piezas iguales el pavimento de adoquines induce un cierto sentido de orden en la vía.
- Además, la existencia de las juntas entre los adoquines elimina la monotonía que presenta la superficie continua de otros pavimentos.
- Los adoquines se pueden fabricar de diferentes colores adicionando colorantes minerales a la mezcla y utilizando cemento gris o cemento blanco. Con algunos adoquines de color diferente al del resto, se pueden incorporar en la superficie del pavimento señales y demarcaciones tan duraderas como éste, pero que a la vez pueden ser removidas fácilmente; se pueden colorear zonas para diferenciar su utilización o incorporar dibujos decorativos.
- Igualmente, la armonía en su instalación puede venir precedida de el uso de varios colores en los adoquines.

2.6.7.3 Ventajas relativas a la seguridad

- Los pavimentos de adoquines de concreto se prestan para incorporar señales o se pueden colocar en medio de otros pavimentos sirviendo como zonas de aviso para disminución de velocidad o zonas permanentes de velocidad restringida.
- Por su rugosidad, los pavimentos de adoquines tienen una distancia de frenado menor que otros tipos de pavimentos, lo que se traduce en seguridad tanto para los peatones como para quienes

se desplazan en los vehículos.

2.6.8 Ventajas relativas a la durabilidad

- La calidad que se le exige a los adoquines de concreto garantiza su durabilidad de manera que sean resistentes a la abrasión del tráfico de llantas, a la acción de la intemperie y al derrame de combustibles y aceites.
- Un adoquín como tal tiene una vida casi ilimitada. Aunque la estructura del pavimento puede sufrir algún deterioro después de estar en servicio por más de 20 años con una reparación menor el pavimento de adoquines puede alcanzar una vida útil de más de 40 años.

2.6.9 Ventajas relativas al costo de construcción

- La construcción de un pavimento de adoquines no requiere necesariamente de mano de obra especializada.
- Para la fabricación de los adoquines y para la compactación del pavimento se utiliza maquinaria de la cual existe producción nacional de buena calidad y rendimiento.
- Los materiales que se requieren para su construcción se consiguen en cualquier parte del país y con excepción de que se construya con una base asfáltica, no consume derivados del petróleo.
- Toda labor, desde la fabricación de los adoquines hasta el terminado del pavimento puede incorporar gran cantidad de recursos comunitarios y mano de obra local. Esto hace que sea realmente económico en planes de acción comunal o patrocinada por entidades de fomento.

2.6.10 Limitantes

- De la misma manera que con los otros tipos de pavimentos, la estructura del pavimento de adoquines se debe apartar del nivel freático del terreno y requiere cuidadosas medidas de drenaje.
- Si la capa de adoquines queda bien colocada, sellada y compactada no debe perder su sello y su estabilidad ante la caída de lluvias, por copiosas que estas sean; pero nunca se debe poner a trabajar un pavimento de adoquines como canal colector de aguas que pueda llegar a soportar corrientes voluminosas y rápidas tipo arroyo.

- Los pavimentos de adoquines nuca deben ser sometidos a la acción de un chorro de agua a presión, esto podría ocasionar la perdida de material de sello de juntas.
- Por estar compuesto por un gran número de piezas el tráfico sobre un pavimento de adoquines genera más ruido que sobre los otros tipos de pavimento e induce mayor vibración al vehículo; por estar razones no es aconsejable para velocidades superiores a los 80 Km/hora.

2.6.11 Funcionamiento

En la capa de adoquines de concreto los adoquines no trabajan de forma independiente sino enlazada. Esto se logra debido al entrabado vertical horizontal y rotacional que se genera entre ellos (Figura 2). El entrabado vertical se logra por la transferencia de cortante a las unidades vecinas a través de la arena en las juntas. Para que se mantenga el entrabado rotacional los adoquines debe tener un espesor suficiente, deben ser colocados cerca entre si y restringidos por un bordillo de las fuerzas laterales de las llantas de los vehículos. El entrabado rotacional también se puede lograr si hay una leve corona en la sección transversal del pavimento. Además de facilitar el drenaje la corona permite que las unidades se aprieten levemente con la aplicación de las cargas y se logre asentamientos menores del pavimento entero, incrementando así la capacidad estructural.

- **Distribución de carga:** Cuando se aplica peso (por ejemplo, el de un vehículo) sobre una superficie de adoquines, la presión se transfiere eficientemente de un adoquín al otro y se distribuye a través del lecho de arena de la base.
- **Flexibilidad:** El sistema de adoquines es flexible, lo que le permite moverse con los cambios del terreno y las variaciones de temperatura. A diferencia del hormigón, esta flexibilidad evita que se agriete.

2.7 PATRONES PARA INSTALACION DE ADOQUINES



2.7.1 Tipos de PATRONES para pavimentos

Es posible afirmar que casi todo patrón es posible con los adoquines de hormigón. En disposición simples rectas y alineadas. De forma diagonal, con patrones más complejos. Por supuesto en diferentes colores, formas, texturas y tamaños que permitan dotar de personalidad propia al pavimento que queramos crear.

2.7.1.1 Espina de pez

La formación en espina de pez **es ideal para aquellas calles que cuentan con pendientes.** Es un tipo de patrón a 45º del sentido de la calzada (también es posible en el sentido de la calzada) que resulta muy estable garantizando una gran adherencia gracias a su reparto uniforme de los adoquines. Suele utilizarse en accesos de garajes. Es la opción de adoquines más adecuada para el tráfico rodado, y superficies con pendiente.

Su diseño interconectado no solo dispersa efectivamente las cargas, reduciendo el riesgo de desplazamientos del pavimento, sino que también mejora la fricción, asegurando mayor tracción y estabilidad, especialmente en accesos a garajes.

Además de su robustez, la espina de pez es visualmente atractiva y permite personalizaciones mediante el uso de adoquines de variados colores, texturas y tamaños. Esto hace que sea una opción versátil para combinar seguridad y estilo en el diseño urbano o residencial, proporcionando un acabado dinámico y con carácter a cualquier pavimento.

2.7.1.2 En hilera

Una de las formaciones más clásicas y habituales. Para componerla se utilizan adoquines de forma cuadrada o rectangular alineadas en líneas paralelas. Su colocación es tremendamente sencilla y no requiere de piezas de ajuste, lo que agiliza y abarata el proceso de instalación. Su disposición recta o desplazada permite un ensamblaje rápido y una apariencia ordenada, ideal para grandes áreas que requieren uniformidad como calles, aceras, y plazas.

Además, este patrón ofrece una excelente **estabilidad y durabilidad**, adecuado para zonas de alto tráfico. Aunque simple, permite variaciones estéticas a través de la combinación de diferentes colores y texturas de adoquines, facilitando la creación de patrones visuales que pueden delimitar áreas, dirigir flujos peatonales o añadir detalles decorativos a un espacio. Por tanto, el patrón en hilera no solo destaca por su practicidad y economía, sino también por su capacidad para integrarse estéticamente en diversos contextos urbanos y residenciales.

2.7.1.3 Diagonal

Como su nombre indica es la disposición de adoquines en sentido diagonal. Muy similar a la formación en espina de pez. **También se aplica a 45º del sentido de la calzada** pero con una disposición más uniforme y menos entrelazada. Esta técnica no solo añade dinamismo visual al pavimento, sino que también mejora la estabilidad y distribución del peso sobre la superficie, lo que es particularmente beneficioso en áreas con tráfico vehicular o peatonal pesado.

La instalación en diagonal facilita el manejo de las cargas y reduce el desgaste irregular, lo que prolonga la vida útil del pavimento. Además, este patrón permite variaciones creativas mediante el uso de adoquines de diferentes colores o texturas, ofreciendo así la posibilidad de diseñar espacios únicos y estéticamente atractivos.

La disposición diagonal es ideal para aquellos proyectos que buscan combinar funcionalidad con un atractivo visual sobresaliente, haciendo de cada espacio pavimentado una obra de arte funcional y duradera.

2.7.1.4 En bloques o tipo parqué

En este tipo de aparejo el dibujo imita el diseño de un parqué, con agrupaciones de dos o tres adoquines alrededor de una pieza central. Permiten numerosas posibilidades de diseño, además se crea un diseño que recuerda a un mosaico. Este estilo no solo es visualmente atractivo sino que también permite una gran flexibilidad en el diseño, ofreciendo múltiples posibilidades para personalizar espacios mediante la variación de colores, texturas y tamaños de los adoquines utilizados.

Este tipo de aparejo es particularmente popular en áreas donde se busca un impacto estético significativo, como plazas, patios, o caminos peatonales. Además de su valor decorativo, el patrón en bloques proporciona una superficie robusta y durable, adecuada para soportar tanto el tráfico peatonal como el rodado. Su capacidad para integrar diferentes materiales y colores permite a los diseñadores y arquitectos experimentar con diseños creativos, transformando pavimentos funcionales en elementos de diseño clave en proyectos urbanísticos y residenciales.

2.7.1.5 Formas circulares

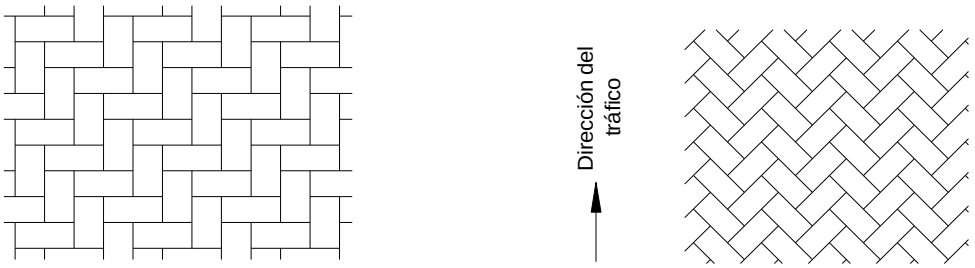
A la hora de realizar diseños especiales para pavimentos que así lo requieran es muy frecuente el aparejo en forma circular de los adoquines rectangulares, lo cual necesita de alternancia de adoquines colocados a soga (a lo largo) con los colocados de tizón (a lo ancho). Lo que requiere una planificación detallada y una colocación precisa para mantener la uniformidad y simetría del diseño.

tipo de aparejo es ideal para destacar áreas específicas, como rotondas, plazas o entradas, y añade un elemento visualmente llamativo al paisaje. La disposición circular no solo tiene un **alto valor estético**, sino que también puede funcionar como guía visual para el tráfico peatonal y vehicular, mejorando la orientación y la seguridad.

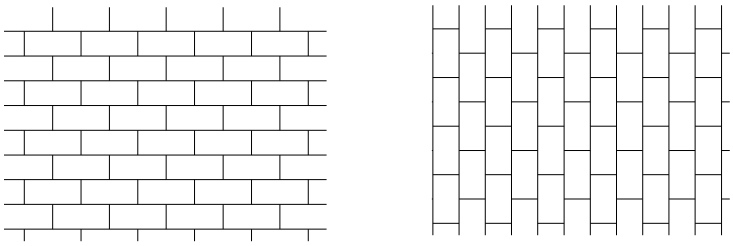
Además, permite integrar diferentes colores y texturas de adoquines, enriqueciendo el diseño final y ofreciendo la posibilidad de personalizar completamente el espacio. Su complejidad y belleza hacen que el patrón de formas circulares sea una opción preferida para proyectos que buscan un **impacto visual significativo con funcionalidad agregada**.

2.7.1.6 Las posibilidades estéticas de los adoquines de hormigón para pavimentos

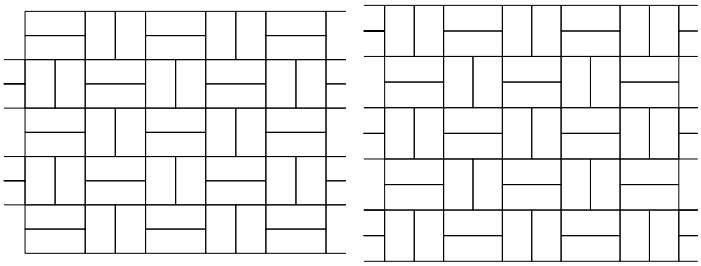
Por su adaptabilidad a diferentes geometrías y dibujos, así como las diferentes ventajas que ofrecen, como su durabilidad, permanencia del color, un mantenimiento económico, larga vida útil, l**os adoquines de hormigón son una excelente opción para usar en pavimentos.**



Espina de pescado



Lineal



Tejido de canasta



Ilustración 5 Patrones de colocación típicos

Todo lo anterior lleva a que cuando un adoquín es sometido a una carga parte se transmite a las unidades vecinas y parte a la capa de arena subyacente y que los adoquines al rotar generen suficiente palanca entre ellos para arrastrarse unos a otros y no simplemente girar y salirse de su lugar.

3 DISEÑO DE PAVIMENTO

En el mundo existen un alto porcentaje de carreteras que no están pavimentadas y las que si lo están tienen una superficie de rodadura, compuesta por materiales asfálticos, bien sea un concreto asfáltico o un tratamiento superficial. Colombia no es ajena a esta situación, razón por la cual los tipos de pavimentos tradicionales en el país han sido el asfáltico (o flexible) y concreto (o rígido). Aunque el costo inicial de un pavimento asfaltico es relativamente bajo implica un adecuado y costoso mantenimiento cada año, en cambio un pavimento en concreto significa una inversión inicial alta, por su larga vida útil prácticamente exenta de mantenimiento, lo que representa un costo cada año muy bajo. Es importante tener en cuenta que el proceso constructivo de la pavimentación de una vía implica el uso de equipos especiales, que impactan directa o indirectamente el ambiente. El pavimento de concreto tiene su justificación en la elección de construcción, ya que la suma de los costos durante la construcción y mantenimiento a largo plazo, son inferiores a los de otras alternativas de pavimentación. Se ha demostrado que el costo de operación de los vehículos que circulan por un pavimento rígido es menor que el que se tiene cuando se transita sobre una superficie de rodadura 4 flexible, debido a que el consumo de los combustibles es menor en los pavimentos rígidos y las distancias de frenado son más cortas.

En los últimos años la decisión de pavimentar una carretera o vía en asfalto o concreto se ha basado en la parte económica, es decir en los costos que se incurre durante la construcción, el mantenimiento y la operación de los vehículos, así como de las condiciones locales para la producción de los insumos, las políticas sobre utilización de personal de obra capacitado o no y de otros aspectos que dependen de las condiciones del área de influencia directa e indirecta.

Por lo anterior se explica el por qué las soluciones convencionales son con frecuencia antieconómicas para: vías residenciales, calles de pueblos, zonas de parqueaderos, patios de estacionamientos de fábricas, entre otros, ya que no se tienen de los medios para construir o mantener debidamente un pavimento tradicional.

Es ahí donde el adoquín de concreto se considera como una solución interesante al problema, porque su colocación no requiere de ningún equipo especial y su mantenimiento es económico. Estudios realizados por la Cement and Concrete Association (Reino Unido) han concluido que un pavimento de adoquines se comporta de manera similar a uno flexible; así las cosas, este articulo busca proponer a partir de una revisión bibliográfica, al pavimento de adoquín de concreto como alternativa ambiental en la construcción de la infraestructura vial en Colombia.

ALCALDÍA DE
GACHETÁ

DISEÑO DE PAVIMENTO ARTICULAD (ADOQUIN) VIAS URBANAS GACHETA - CUNDINAMARCA

El diseño de pavimentos se origina en la necesidad de brindarle a esta estructura, las características necesarias para que cumpla con su objetivo básico, cual es, proporcionar una superficie sobre la que se puedan desplazar personas o vehículos, con un nivel de servicio adecuado, durante un período determinado, en condiciones seguras y económicas.

En las primeras investigaciones se encontró que la rigidez de una capa de rodadura de adoquines de 80 mm de espesor, con una capa de arena de 50 mm de espesor, debidamente sellada y compactada, era equivalente a la de una capa de 160 mm de concreto asfáltico. Esta relación inicial (1,3 aproximadamente) se ha discutido y verificado ampliamente en diversas investigaciones, involucrando variantes en la forma, tamaño, patrón de colocación y características de los adoquines, en el ancho y material de lleno de la junta y en el espesor de la capa de arena, además de la calidad constructiva del conjunto, lo que ha llevado, con el tiempo y por razones de seguridad, a que los diseñadores supongan un factor que pude estar entre 1 y 1,2 para dicha equivalencia.

Desde otro punto de vista, a la capa de rodadura se le asignan valores de Módulo Resiliente entre 2760 MPa (400000 psi) y 3100 MPa (450000 psi) para el conjunto de: adoquines de 80 mm y entre 25 mm y 40 mm de capa de arena y un coeficiente AASHTO entre 0,42 y 0,44 [6]. Igualmente, se le ha asignado un Módulo de Elasticidad de 4000 MPa y una Relación de Poisson de 0,15 [7]. El pavimento de adoquines de concreto se cataloga, entonces, como un pavimento flexible, cuya rodadura tiene una característica estructural única y uniforme, por lo cual no se le debe denominar "articulado", que implica discontinuidad entre los elementos y comportamiento diferencial entre ellos y la unión.

Es importante resaltar que este módulo no se ve afectado con los cambios de clima, aún en condiciones extremas de temperatura. Además, dicha rigidez no es fija, sino que evoluciona y se incrementa con el tiempo (ciclos de dilatación y contracción de las unidades y el sistema) y con el paso de los vehículos (hasta unos 10000 Ejes Estándar, cuando se alcanza su valor máximo o se llega al estado de "entrabamiento" (lock-up).

Con los valores citados en los párrafos anteriores, se pueden utilizar casi todos los métodos de diseño existentes, modificándolos para incorporar una rodadura de adoquines de concreto de dichas características.

El diseño de espesores para pavimentos de adoquines de concreto ha evolucionado desde la casi no existencia de criterios de diseño antes de la década de los años 1970, hasta un amplio número de métodos de diseño disponibles en la actualidad, en su mayoría propuestos por instituciones dedicadas al desarrollo de esta tecnología en diversos países, varios de ellos en conjunto con centros universitarios.

Cada método de diseño tiene un mecanismo para la definición de las premisas de diseño y la obtención

de resultados, además de una serie de consideraciones especiales en cuanto a casos específicos y manejo de variables locales. Esto hace que, aunque se parta de las mismas premisas (valores para la capacidad portante del suelo, el tráfico y el período de diseño, el clima, etc.), los resultados sean diferentes; reconociendo, unos u otros, como más conservadores o liberales, en general, o cambiantes con la evolución de alguna de las variables de diseño en Colombia

El Instituto Colombiano de Productores de Cemento – ICPC, líder en el tema en el país, como lo expone la referencia, publicó en 1985 la Nota Técnica 4-19 “Diseño de Espesores para Pavimentos de Adoquines de Concreto” y luego la Nota Técnica 4-20 “Diseño de Pavimentos para Vías Urbanas”, que sirvieron como guías para el diseño de pavimentos de adoquines de concreto para diferentes clasificaciones de tráfico hasta hace pocos años. Actualmente referenciado por la Asociación Colombiana de Productores de Concreto (ASOCRETO),

En estas se adaptó el Método del Instituto del Asfalto, para definir el espesor total del pavimento, el cual era transformado en capas de rodadura y de base, suponiendo un factor de equivalencia de 1,3 para la rodadura de adoquines, con relación al mismo espesor de concreto asfáltico. Los valores se obtenían por medio de una ecuación o directamente de una tabla en la cual se daban los espesores de una capa de base en función de tres categorías de suelo y cuatro categorías de tráfico.

Sin embargo, con las Notas Técnicas ya mencionadas, se presentaron ambigüedades, esto debido a que con el tiempo aumento la necesidad de diseñar pavimentos con mayores espesores, en especial para condiciones de tráfico pesado y de suelos malos, diferencias marcadas con los datos que se obtenían con la Notas Técnicas mencionadas.

Para esto se decidió trabajar nuevamente con una adaptación más completa del método de la British Standard Institution, que arroja resultados en esa dirección, y que se modificó, para las condiciones críticas de suelos muy malos y tráficos altos, que con los resultados que se obtienen del método del Instituto del Asfalto.

En esta metodología de diseño, la subrasante se caracteriza por medio de su CBR y el tráfico se clasifica en 11 rangos desde 1 hasta 12000000 ejes estándar de 8.2 Ton acumulados durante el periodo de diseño. Con estos datos se ingresa la una tabla (tabla 3) y se determina un espesor único de concreto asfáltico compactado en caliente (CACC).

Para cada rango de tráfico se indica el espesor de los adoquines de concreto y de la capa de arena

(después de compactada la capa de rodadura de adoquines) que se debe utilizar. Para definir los espesores de base, subbase y subrasante mejorada se emplean los factores de conversión dados en la tabla 4, el material de referencia es precisamente CACC-

Con unos espesores mínimos según el CBR de la subrasante para la subrasante mejorada, y según si existe o no subrasante mejorada para el espesor de subbase, y si esta va a soportar tráfico de construcción. Además de esto se proponen unas modificaciones parciales del espesor de la base por alteración de la circulación e impacto y cambio de categoría o de tipo de pavimento.

Tabla 5 Espesores para los adoquines, la capa de arena y la capa de base en función del tráfico

Tráfico (Ejes estándar de 8.2 Ton acumulados durante el periodo de diseño											
Desde	1	101	1001	10001	50001	100001	500001	1000001	1500001	4000001	8000001
Hasta	100	1000	10000	50000	100000	500000	1000000	1500000	4000000	8000000	12000000
CBR Subrasante	**Espesor de la base de concreto asfáltico compactado en caliente - CACC (mm)**										
1	114	122	137	151	185	285	315	333	375	405	423
2	90	98	113	127	133	174	207	220	262	275	289
3	50	88	103	117	123	145	160	178	195	214	226
4	70	78	93	107	113	135	150	166	178	196	209
5	65	73	88	102	108	130	145	161	173	191	204
6	63	71	86	100	106	128	143	159	171	189	202
7	60	68	83	97	103	125	140	156	168	186	199
8	59	67	82	96	102	124	139	155	167	185	198
9	57	65	80	94	100	122	137	153	165	183	196
10	55	63	78	92	98	120	135	151	163	181	194
15	54	62	77	91	97	119	134	150	162	180	193
20	52	60	75	89	95	117	132	148	160	178	191
30	50	58	73	87	93	115	130	146	158	176	189
Espesor capa de arena (mm)	40	40	40	40	40	40	40	40	40	70	40
Espesor adoquines (mm)	60	60	60	60	80	80	80	80	80	80	80

Tabla 6 Factores de conversión entre CACC y otros materiales para base y subbase

Material	Factor de equivalencia	
	Sugerido	Rango
Rodadura de adoquines (espesor de adoquín + capa de arena)	1.10	1,00 - 1,25
Concreto asfáltico compactado en caliente - CACC	1.00	0,90 - 1,10
Subrasante mejorada (material con un CBR>5%)	0.15	0,05 - 0,15
Material granular para subbase sobre material con CBR<=5	0.25	0,05 - 0,30
Material granular para subbase sobre material con CBR>5	0.30	0,10 - 0,35
Material granular para base sobre material con CBR<=5	0.40	0,10 - 0,45
Material granular para base sobre material con CBR>5	0.45	0,15 - 0,50
Relleno fluido*Rc 28d (cilindros) = 1 Mpa	0.25	
Relleno fluido*Rc 28d (cilindros) = 2 Mpa	0.40	
Relleno fluido*Rc 28d (cilindros) = 3 Mpa	0.50	
Relleno fluido*Rc 28d (cilindros) = 4 Mpa	0.60	
Relleno fluido*Rc 28d (cilindros) = 5 Mpa	0.65	
Relleno fluido*Rc 28d (cilindros) = 6 Mpa	0.70	
Relleno fluido*Rc 28d (cilindros) = 7 Mpa	0.75	
Relleno fluido*Rc 28d (cilindros) = 8 Mpa	0.80	
Concreto Rc 28d (cilindros) = 30 Mpa	1.70	1,60 - 1,90
Suelo-cemento Rc 28d (cilindros) = 5 Mpa	0.40	0,20 - 0,60
Suelo-cemento Rc 28d (cilindros) = 8 Mpa	0.50	0,30 - 0,70

Otro diseño muy familiar es el diseño para pavimentos nuevos basado en el método presentado por el TRRL Laboratory Report 1132 “The structural design of bituminous road” (Diseño estructural de pavimentos bituminosos para vías). Este se resume en la figura 4. Este método de diseño hace uso de la similitud entre el comportamiento de un pavimento de adoquines y un pavimento flexible, comprobada con investigaciones desarrolladas en la Cement and Concrete Association (Reino Unido).

Es aplicable a todos los pavimentos sujetos al tráfico de ejes con cargas hasta 18 Ton y un máximo de 25 millones de ejes estándar acumulados (8.2 Ton). Se deben tener en cuenta consideraciones

especiales si el tráfico es canalizado (todos los vehículos circulan siguiendo el mismo patrón) o el pavimento sufre cargas dinámicas considerables (paradas de buses).

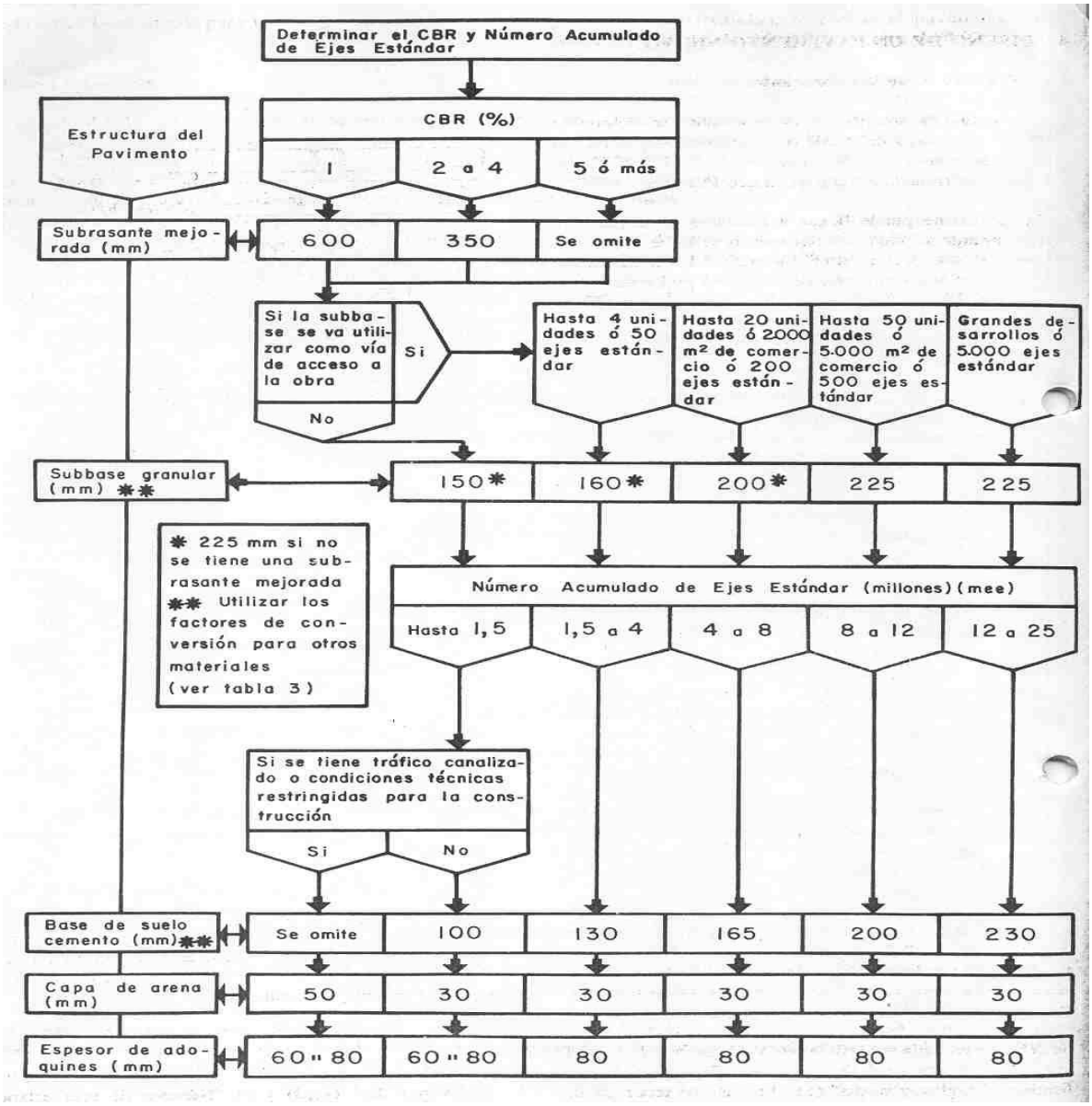


Ilustración 6 Procedimiento de diseño empírico de un pavimento articulado

4 DISEÑO EVALUADO

4.1 DISEÑO DE LA ASSHTO

La AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), tiene un método de diseño semi-empírico para pavimentos flexibles. Éste fue usado como base para desarrollar un procedimiento aplicable a pavimentos articulados, pues la distribución de la carga y el modo de falla de los pavimentos articulados son muy similares a los de cualquier otro pavimento flexible. Esté método emplea unidades inglesas y el tráfico se estima en ejes estándar de 18 Kip (8.2 Ton). La ecuación básica de diseño está dada por la expresión:

$$Log_{10}(EALs*F_R) = 9.39*log_{10}(SN+1) - 0.2 + (log_{10}((P_0-P_t)/(P_0-1.5))/(0.4+(1094/(SN+1)^{5.19}) + (2.32*log_{10}*M_R) - 8.07 \quad (1)$$

Donde:

EALs: número de eje estándar acumulado en el periodo de diseño.

F_R: factor de confiabilidad de diseño

$F_R = 10\text{^}(Z_R+S_0)$

Z_R: fractil de la ley normal estándar (función de R)

S_0: desviación estándar promedio del diseño

R: nivel de confiabilidad

SN: número estructural de la capa

P_0: serviciabilidad inicial del pavimento

P_t: serviciabilidad final del pavimento

M_R: módulo resiliente de la Subrasante en psi.

Como cualquier otro método, el diseño de pavimentos articulados se basa en evaluación de cuatro factores primarios y sus efectos interactivos: ambiente, tráfico, subrasante y materiales.
Los factores ambientales son incorporados a través de la caracterización de la subrasante y los materiales del pavimento.
El diseño propone un valor de 0.45 para la desviación estándar promedio del diseño. Los valores de F_R se muestran en la tabla 5 en función del nivel de confiabilidad. El nivel de confiabilidad se asocia con la clase de vía, y al tráfico promedio diario en las dos direcciones según la tabla 6. Como no se tienen valores de TPD exactos, para un tráfico T3, se usó un factor de confiabilidad de 80%, para T4 85% y para T5 90%.

Tabla 7 Factor de Confiabilidad de diseño

Nivel de confiabilidad (%)	F_R
50	1.000
60	1.300
70	1.721
75	2.010
80	2.390
85	2.929
90	3.775
95	5.499
99	8.527

Tabla 8 Nivel de confiabilidad recomendado en función del TPD

Clase de vía	Tráfico promedio diario*	Factor de distribución por carril** (%)	Nivel de confiabilidad recomendado (%)
Arteria o vías principales			
Urbana	40000	90	90
Rural	15000	90	85
Colectora principal			
Urbana	15000	90	85

Rural	6000	90	80
Colectora secundaria			
Urbana	6000	100	80
Rural	2000	100	80
Comercial / Multifamiliar			
Urbana	2000	100	75
Rural	1000	100	75

* En ambas direcciones

** Use 100% para 1 ó 2 carriles en ambos sentidos; 90% para 3 ó 4 carriles; y, 80% para más de 4 carriles

La fórmula para calcular el número estructural de la capa es:

$$SN = a1.D1 + a2.D2.m2 + a3.D3.m3 \qquad (2)$$

Donde:

a_i: coeficiente de capa de la capa i

t_i: espesor de la capa i

Las convenciones con respecto a la numeración de *SN* y a_i se pueden detallar en la figura 5.

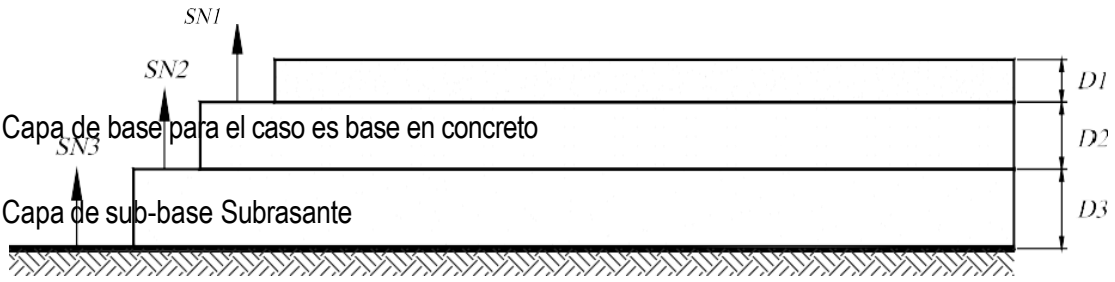


Ilustración 7 Convenciones diseño ASSHTO

El valor de *SN* se obtuvo a partir de la ecuación 1 empleando la herramienta buscar objetivo de Excel, y el espesor se calculó a partir de la ecuación 2.

Dado que realmente no se va a utilizar el coeficiente de capa ni el número estructural de la rodadura,

pues no se va a diseñar el espesor de ésta, no vale la pena calcularlos. Sin embargo, es importante anotar que el método tiene en cuenta la rigidización progresiva que sufre la rodadura de adoquines, supone una rodadura conformada por bloques estándar colocados en espina de pescado, pues el desempeño de este patrón es superior comparado con en tejido de canasto y el paralelo los cuales tienden a sufrir creep (deformación muy lenta por compresión) en la dirección del movimiento del tráfico. Se recomienda que el espesor para la capa de arena esté entre 25 mm y 40 mm.
Este método aconseja un espesor mínimo de 80 mm para diseñar pavimentos con 2000000 de repeticiones de ejes estándar o menos, y 100 mm para tráficos mayores.

Pero hace la salvedad de que los adoquines de 80 mm se pueden utilizar para tráficos superiores a 2000000, pero se requiere una base de mayor rigidez.

El coeficiente de capa, para otros materiales, se determina a partir de correlaciones, la ecuación que se ajusta es mejor es:

$a_i = K_1 + K_2 * log_{10}$ (Módulo del material) (3)

Las constantes K_1 y K_2 para diferentes materiales se muestran en la tabla 9.

El coeficiente de capa para materiales granulares no tratados se debe corregir, para las condiciones de drenaje y humedad contempladas con el factor m_i, los valores de m_i para diferentes condiciones se muestra en la tabla 8. Se suponer que el drenaje es bueno y se puede considerar que le porcentaje de tiempo de exposición del pavimento a humedad cerca de la de saturación está entre 5% y 25% del año.

Tabla 9 Correlaciones para calcular el coeficiente de capa

Material	Parámetro de rigidez (Unidades)	Regresión K1	Constante K2	Valor recomendado de a_i por defecto	Valor máximo permitidos de a_i *	Espesor mínimo permitido (in)
Base/subbase tratada con asfalto	Módulo (psi)	-1.453	0.316	0.30	0.40	3
	Estabilidad Marshall (lb)	-0.323	0.187			
Base/subbase	Módulo (psi)	-2.651	0.486			

tratada con cemento	Resistencia a la compresión inconfinada (psi)	-0.395	0.212	0.22	0.30	4
Base material no tratado	Módulo (psi)	-0.976	0.249	0,14***	0.25	4 ó 6**
	CBR (%)	-0.053	0.098			
	Valor R	-0.514	0.338			
Subbase material no tratado	Módulo (psi)	-0.839	0.227	0,11***	0.20	4 ó 6**
	CBR (%)	0.012	0.065			
	Valor R	-0.205	0.176			

* Para usar en ausencia de informaci{on de rigidez del material

** Usar 4.0" si EALs <= 500000 repeticiones; 6.0" si EALs>500000 repeticiones

*** Debe ser corregido por condiciones de humedad y drenaje, a menos que sean reflejadas en el valor de rigidez de diseño usado

Tabla 10 Coeficiente de drenaje mi para materiales granulares

Calidad del drenaje	Coeficiente de drenaje			
	Porcentaje de tiempo que el			
	< 1%	1 a 5%	5 a 25%	> 25%
Excelente	1.4	1.3	1.3	1.2
Bueno	1.3	1.2	1.1	1
Regular	1.2	1.1	0.9	0.8
Pobre	1.1	0.9	0.7	0.6
Muy pobre	1	0.9	0.6	0.4

Para pavimentos articulados se recomienda emplear P_0= 4 y P_t= 2.5. El método emplea unas curvas de diseño, pero dado que el tráfico transformado a ejes de 8.2 Ton es superior al rango que allí se utiliza, se calcularon los parámetros a partir de las fórmulas.

Si en el cálculo del CAM se supone que, debido a la similitud en su comportamiento, un pavimento articulado tiene el mismo valor de que para pavimentos flexibles (= 5), un cálculo rápido indica que un eje estándar de 13 Ton equivale a aproximadamente 10 ejes estándar de 8.2 Ton; sabiendo que la fórmula para calcular la agresividad es:

$$A = k*(P/Pref)^{\square} \qquad (4)$$

Para este caso *k* es igual a 1 pues es un eje simple, *P* es igual a 8.2 Ton y *Pref* es igual a 13 Ton .

ALCALDÍA DE GACHETÁ

DISEÑO DE PAVIMENTO ARTICULAD (ADOQUIN) VIAS URBANAS GACHETA - CUNDINAMARCA

Los resultados del diseño se muestran a continuación:

DISEÑO DE PAVIMENTO SEMIRRIGIDO CON ADOQUIN DE CONCRETO (METODO AASHTO-1993)

Proyecto: PAVIMENTO FEXIBLE VIAS URBANAS GACHETA CUNDINAMARCA 2025 (ADOQUIN)

DISEÑO DE PAVIMENTO - TALLER CIP

1.- DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE:

a)	Periodo de diseño en años (t):	20			
b)	Tasa de crecimiento anual (g%):	Variable			
c)	Trafico ($W_{18} = 10^6 \times [\{(1+g)^t - 1\} / g]$)	800.000.00	EE		
d)	Indice de confianza (R%):	60%			
e)	Desviación estándar normal (ZR):	-0.253			
f)	Error de combinación estándar (So):	0.45			
g)	Indice de servicialidad inicial (pi):	4.20			
h)	Indice de servicialidad final (pt):	1.50			
i)	Diferencia de servicialidad (ΔPSI = pi - pt):	2.70			
j)	C.B.R. de la Sub Rasante (%):	20.00	%		
k)	Modulo de Resiliencia:	30.000.00	psi		
		30.000.00	psi	Mr=1500 CBR	Pav. Urbanos
		17.380.01	psi	$Mr=2555\ CBR^{0.64}$	Carreteras

2.- DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO:

A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA

Adoquin + cama de arena (a1):	0.44	AASHTO: II-17, II-18, H-2)
Base Granular (a2 = 0.249*logMr - 0.977):	0.22	(AASHTO: II-20)
Sub-Base (a3 = 0.227*logMr - 0.839):	0.11	(AASHTO: II-22)

B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA

Base granular (m2):	1.10	(Ver m (i))	(AASHTO: II-25)
Subbase granular (m3):	1.10	(Ver m (i))	(AASHTO: II-25)

3.- NUMERO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO (SN) :

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times So + 9.36 \times \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Reemplazando valores en la fórmula, para el calculo de SN teórico:

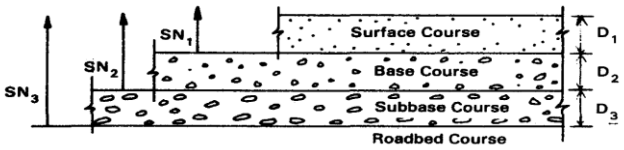
Iterar, hasta igualar los valores sombreados en amarillo

Para:	**SN**	=	**2.27**
	5.90	=	6.82
	SN	=	**2.270**

4.- CALCULO DE ESPESORES DE CAPAS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO: (AASHTO: II-35)

El Número Estructural se calculará con la ecuación de diseño presentada por la AASHTO-93 se interrelacionan con los espesores de capa y drenaje según la expresión:

$$SN = a_1.D_1 + a_2.D_2.m_2 + a_3.D_3.m_3$$



Reemplazando valores en:

D1:	Espesor de adoquín =	8	cm				
	Espesor de arena =	3	cm				
		11	cm =	4.33	pulg.		
D2:	Espesor de la base =	15	cm =	5.906	pulg.		(material granular)
D3:	Espesor de sub-base =	**X**	pulg.				(material granular)

2.270	=	0.44	x	4.33	+	0.22	x	5.91	x	1.10	+	0.11	x	**D3**	x	1.10	
2.270	=	1.91	+	1.43	+	0.11	**D3**										
D3	=	**-9.68**	pulg.	=	**-24.6**	cm											

ESTRUCTURA PROPUESTA:

Adoquín =	**8**	cm
Cama de arena =	**3**	cm
Base Granular =	**15**	cm
Sub-Base Granular =	**-25**	cm
Espesor del pavimento =	**1**	**cm**

SECCION A USAR		
Adoquín =	**8**	**cm**
Cama de arena =	**3**	**cm**
Base Granular =	**15**	**cm**
Sub-Base Granu	**0**	**cm**
$SN_{requerido}$	**2.27**	
$SN_{resultado}$	**3.33**	OK

4.2 PARAMETROS DE DISEÑO

Para los diseños realizados se tomaron los valores de tráfico medios, de los rangos de cada clasificación de tráfico, como se trata de hacer diseños para tráficos mediano y alto se usaron los tráficos T3, T4 y T5, que se muestran en la tabla 15.

Tabla 11 Clases de tráfico

Clase de tráfico	Número acumulado de vehículos comerciales	Número de vehículos comerciales por día
T1	$N < 5*10^5$	VC/día < 50
T2	$5*10^5 <= N < 1.5*10^6$	50 <= VC/día < 150
T3	$1.5*10^5 <= N < 4*10^6$	150 <= VC/día < 300
T4	$4*10^5 <= N < 1*10^7$	300 <= VC/día < 750
T5	$1*10^7 <= N < 2*10^7$	750 <= VC/día < 2000

Se pretende ver el efecto del módulo de la subrasante en el diseño y para tal efecto se emplearon dos módulos, uno de1 30 MPa, y uno de 80 MPa, estos según la clasificación dada en el manual son S1 y S2. Para la Subrasante tipo S1 se recomienda construir una capa de conformación, pero en el diseño no se tuvo en cuenta.
En general para cualquier diseño nuevo que se realice se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

4.2.1 Espesor de los adoquines de concreto

Existen recomendaciones con respecto al espesor de adoquines que se debe usar. Sin embargo un estudio realizado en los países bajos, mostró que el espesor de los bloques de concreto no influía significativamente en el comportamiento total de la estructura de pavimento, y que el único requerimiento que los adoquines deben cumplir es que, bajo la acción del tráfico, no sufran daños (fracturas, descascaramientos en los bordes principalmente por contacto directo de las piezas).
Según la referencia, los adoquines de 60 mm de espesor deben ser usados en parqueaderos, áreas de tráfico liviano y vías residenciales con menos de cinco vehículos comerciales por día; **de 80 mm para vías residenciales con mas de 5 vehículos comerciales por día**, carreteras de alta velocidad, pavimentos industriales y de aeropuertos y 100 mm para áreas sujetas a cargas axiales extraordinarias.

4.2.2 Tráfico

El tráfico se calcula como el número de ejes equivalentes de 13 Ton en el periodo de diseño según la siguiente expresión:

$$NE = N*CAM = CAM*TPD*365*A*B*[(1+i)^n-1]/[1+i] \quad (13)$$

Donde:

NE: número de ejes estándar de 13 Ton que soporta el pavimento durante el periodo de diseño.
N: número de vehículos que pasan sobre el pavimento durante el periodo de diseño. *CAM*: Coeficiente de agresividad media, con una carga de referencia de 13 KN. *TPD*: Tráfico Promedio diario.
A: porcentaje de vehículos que pasan por el carril de diseño.

B: porcentaje de vehículos pesados con respecto al TPD.

i: tasa de crecimiento anual del tráfico.

n = periodo de diseño ó vida útil de servicio. Es función del tipo de vía urbana.

4.2.3 Clima

En cuanto a las consideraciones de clima los módulos se deben obtener en condiciones críticas y se trabaja con la temperatura anual equivalente.

4.2.4 Subrasante

Es necesario determinar el módulo dinámico de la Subrasante bajo las condiciones hídricas más desfavorables. Cuando la Subrasante presenta valores de CBR inferiores a 5 se requiere una capa de conformación que aumente su resistencia.

4.2.5 Materiales granulares no tratados

El módulo de los materiales granulares no tratados es función del módulo de la capa inmediatamente inferior. Se trabajan en espesores máximos de 25 cm y el módulo de capa se encuentra como:

$$E(capa_i)=2.5*Ecapa_{(i+1)} \quad (14)$$

Para la situación presentada se adapta al proceso como si fuera una base tratada o rígida.

5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Diseño con el método de la ASSHTO

Con ASSHTO, se obtiene variable en el espesor del adoquín y esto se debe al tráfico esperado, este método asume que un pavimento de adoquines tiene un comportamiento similar al de un pavimento flexible. Por tanto, asume que la perdida de serviciabilidad del pavimento de adoquín se puede asimilar a la de un pavimento flexible. De este modo, utiliza la ecuación AASHTO 1986 (Ec. 2) para pavimentos flexibles, caracterizando a los adoquines mediante el coeficiente estructural de Takeshita

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El diseño empleando es el método de la ASSHTO I de pavimentos articulados siguiendo los lineamientos del MANUAL DE DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS PARA VIAS CON BAJOS VOLUMENES DE TRANSITO., igualmente se tiene en cuenta Lo establecido por Ministerio de Transporte de Colombia, Instituto Nacional de vías – INVIAS, **Especificaciones generales de construcción de carreteras**, Capítulo V, Artículo 510, 2022 las especificaciones de Pavimento de adoquines de concreto Artículo 510 – 22, adicionalmente en revisión de campo se tiene en cuenta que ya existen tramos construidos con este método en el municipio y que ha servido para poder entender un mejor el funcionamiento de este tipo de pavimentos, determinando los valores aplicables a las condiciones locales para todos los parámetros de diseño.

Las condiciones reales, han dejado muy claro la función de cada capa del pavimento y su relación con el entorno, para asignarle características, propiedades y condiciones necesarias a cada material, con el fin de establecer condiciones de seguridad y confiabilidad con el diseño presentado.

Igualmente, los pavimentos de adoquines mejoran el entorno al ofrecer soluciones sostenibles y estéticas. Sus beneficios incluyen la mejora de la gestión del agua al permitir la filtración de la lluvia, la reducción del efecto "isla de calor" urbano, una mayor durabilidad y la posibilidad de personalización con diseños únicos.
También se ha visto y evidenciado de como disminuyen el impacto ambiental por la construcción de vías con pavimentos articulados.

A simple vista los pavimentos de adoquines de concreto tienen muchas ventajas con respecto a los otros tipos de pavimento, sin embargo, hay que aclarar que cualquier pavimento bien diseñado va a cumplir su función satisfactoriamente, pero para este fin se debe tener especial cuidado con las condiciones del entorno, un drenaje adecuado, la realización de ensayos para determinar las

características específicas de los materiales, estudios de tránsito y sobre todo control de calidad en obra.

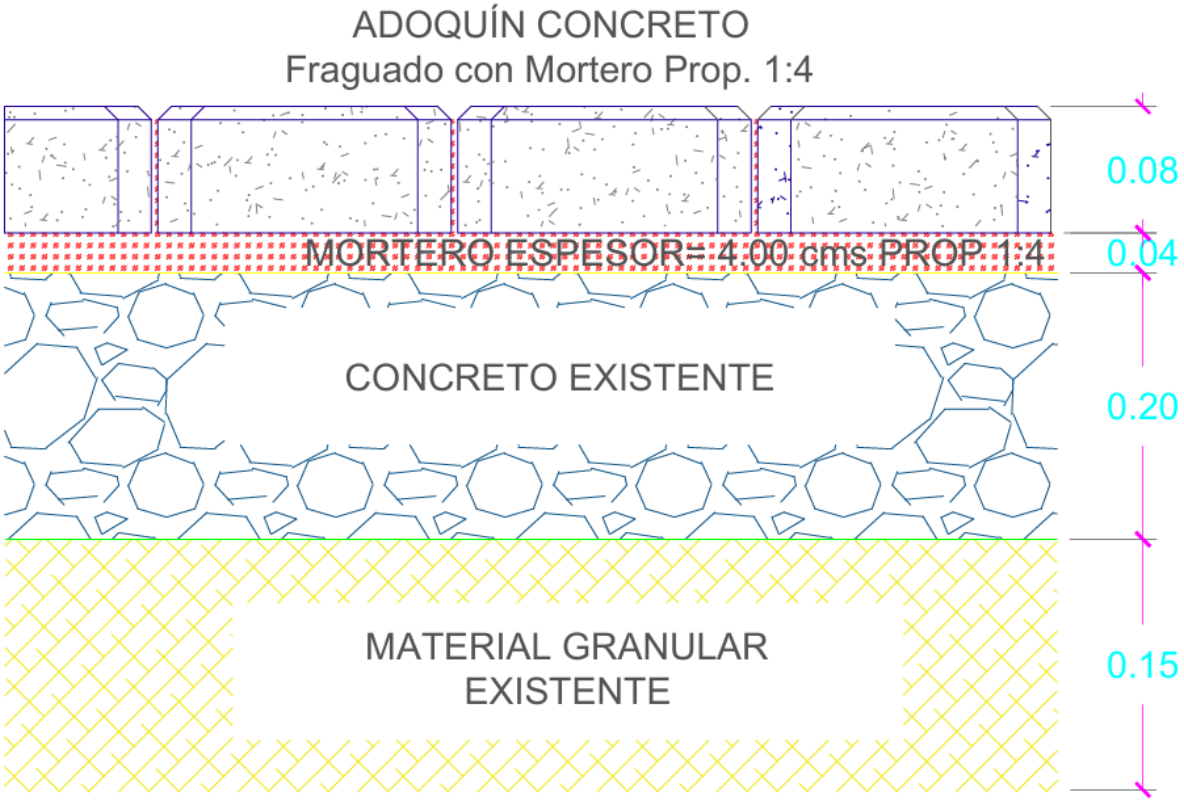
Para obtener los resultados esperados, es importante tener en cuenta las normas, especificaciones y contar con personal acreditado para la construcción de pavimentos de adoquines de concreto, para no caer en el error de dejar todo en manos de gente que no tiene el conocimiento adecuado, y sea personal idóneo para la ejecución de esta tarea.

Una limitante del diseño empleando el método de la ASSHTO, o uno de los métodos de diseño empíricos es que sólo tiene en cuenta adoquines de una resistencia fija, y esto restringe el diseño, pues en la capa de rodadura de adoquines no sólo es determinante el espesor de estos, sino también su resistencia, si la situación lo requiere. Lo anterior no es un inconveniente al diseñar con elementos finitos, pues la capa de rodadura no se modela como un todo sino que cada elemento contempla las características del material.

Se debe tener precaución al diseñar con otro método con el DEPAV, pues aún los valores de los parámetros de control son ambiguos, y al considerar la capa de rodadura de adoquines como un todo, se debe tener certeza del valor de su resistencia equivalente y verificar que las características de los materiales que ésta supone son los que realmente van a ser usados. Se recomienda suponer la capa de rodadura ligada, pues además de obtener diseños más conservadores, es una situación que se asemeja más a lo que sucede en la realidad.

Para instalar pavimentos de adoquines en el municipio de Gachetá se requiere: reparar el concreto existente en donde se necesite según lo evaluado; no super al 5% en reparación, la colocación de un **lecho de asentamiento uniforme** (generalmente de arena), el **confinamiento perimetral** para evitar el movimiento de las piezas establecido en el diseño con bordillo A-80 y una cuneta prefabricada A-120, una **pendiente transversal** adecuada para el drenaje de 2%, el uso de **adoquines de buena calidad y espesor según el uso**, y finalmente, el **relleno de las juntas con arena limpia** con cemento (mortero) proporción 1:4 y su posterior **compactación y vibrado** del pavimento. (para el emboquillado

se recomienda igualmente un mortero 1:4 que ayuda a consolidar la superficie y el manejo de filtraciones tempranas.



SECCIÓN DE ADOQUINADO A CONSTRUIR
Esc. 1 : 10

Antes de la instalación:

1. **Diseño de la pendiente:** Planifica una pendiente transversal mínima del 2%,

2. **Preparación de la superficie:** Realizar todas las reparaciones al concreto existente, sobre todo en dos franjas sobre la carrera 3ª, el cual presenta perdida de finos, realizar las correcciones necesarias en las juntas existentes.

3. **Capa de base y lecho de asentamiento:** Coloca una capa base resistente y un lecho de asentamiento uniforme (aproximadamente 4 cm de espesor de arena), nivelándolo sin apisonarlo.

Durante la instalación:

1. **Evaluación de materiales:** Asegúrate de que los adoquines entregados tengan el formato, color, acabado y cantidad correctos.

2. **Colocación:** Coloca los adoquines mezclados desde diferentes palets para una mejor trabazón.

3. **Espacio entre juntas:** Mantén un ancho de junta de 3 a 5 mm para permitir el intertrabado.

4. **Confinamiento perimetral:** Delimita el contorno del pavimento con un encintado o cordón estable para evitar que los adoquines se desplacen lateralmente. Igualmente se incluye la cuneta A-120 Y el bordillo A-80 como confinamiento longitudinal y transversal. según planos

Después de la instalación:

1. **Vibrado:** Usa una máquina vibradora adecuada con base de goma para no dañar los adoquines.

2. **Rejuntado:** Rellena las juntas con arena limpia, de preferencia sin arcilla.

3. **Compactación:** Compacta el pavimento para asentar la arena en las juntas.

4. **Limpieza y riego:** Limpia la superficie, retira el exceso de arena barriéndolo y realiza un riego para facilitar el apelmazamiento.

5. **Evita cargas:** No sometas el pavimento a cargas pesadas hasta que esté completamente compactado y las juntas selladas.

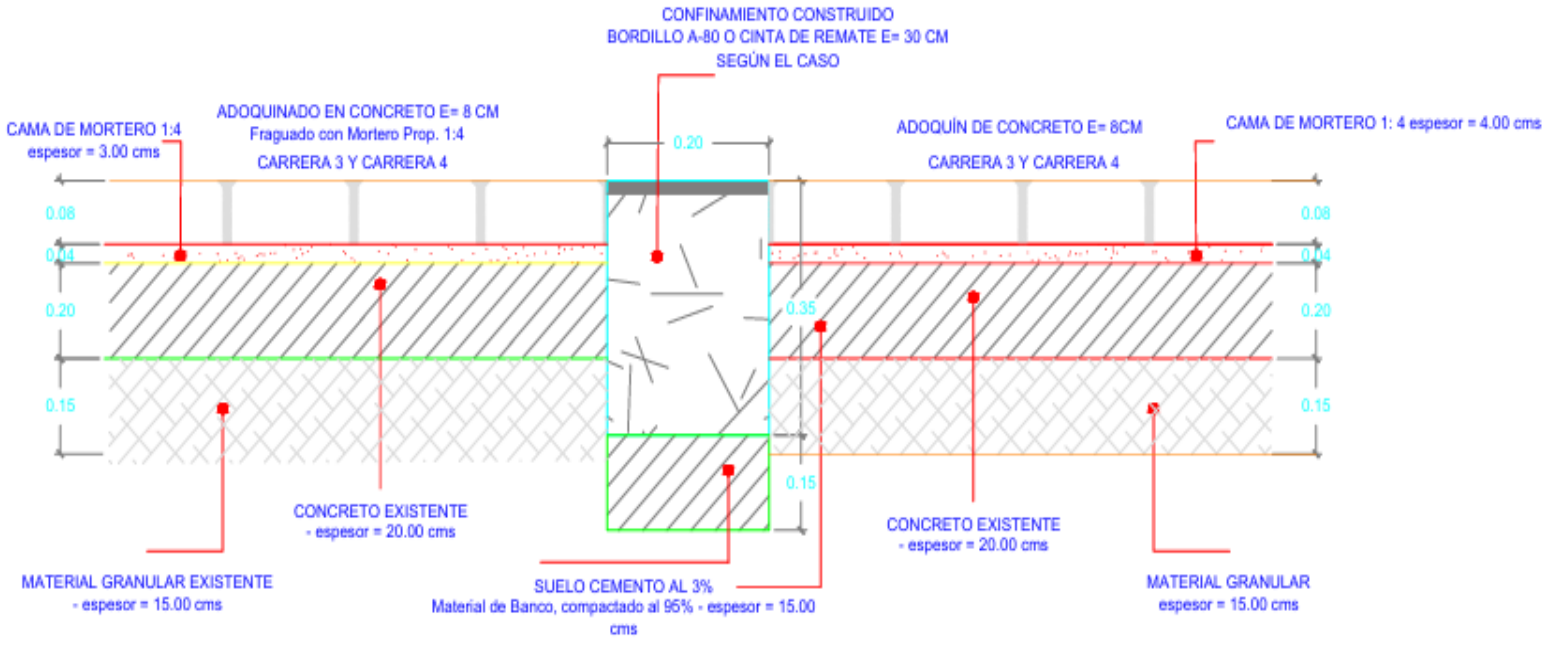
Consideraciones adicionales:

ALCALDÍA DE
GACHETÁ

DISEÑO DE PAVIMENTO ARTICULAD (ADOQUIN) VIAS URBANAS GACHETA - CUNDINAMARCA

- **Espesor del adoquín:** El grosor debe ser el adecuado para la carga: 6 cm para zonas peatonales**, 8 cm para vehículos livianos** y 10 cm para vehículos de carga pesada.

- **Calidad del material:** Utiliza adoquines de alta calidad, ya que su durabilidad afectará directamente la vida útil del pavimento



DETALLE DE CONFINAMIENTO CONSTRUIDO
SECTOR PAVIMENTO ARTICULADO Esc. 1 : 10

7 REFERENCIAS

[1] Interlocking Concrete Pavements Institute ICPI, Tech Spec Number 4. Página Web: www.icpi.org

[2] Madrid Mesa, Germán Guillermo, "Guía para el diseño de pavimentos de adoquines de concreto para tráfico vehicular y peatonal". Medellín, marzo de 2001.

[3] Madrid Mesa, Germán Guillermo, Instituto Colombiano de productores de cemento - ICPC, Notas técnicas, Ventajas y aplicaciones de los pavimentos de adoquines de concreto.

[4] Instituto de desarrollo Urbano, Universidad de los Andes, Manual de diseño de pavimentos para Bogotá D.C.

[5] Ministerio de Transporte, Instituto Nacional de vías – INVIAS, Especificaciones generales de construcción de carreteras, Capítulo V, Artículo 510, 2022

[6] Rada, Gonzalo; Smith, David; Miller, Jhon; Witczak Matthew; Structural design of interlocking concrete pavements in North America, Pave 92

[7] Instituto de desarrollo Urbano, Reglamento para el sector vial urbano RSV-2000.

[8] ICONTEC, Norma Técnica Colombiana, NTC 2017, Adoquines de concreto para pavimentos. Octubre de 2001.

[9] Vesga, Luis Fernando, Ruiz M. William, Montañez Marco T., Control de calidad de bases para pavimentos con métodos geofísicos y su aplicación en la vía Arauca – La Antioqueñita, XIII Simposio Colombiano sobre ingeniería de Pavimentos.

[10] Tatsuo Nishizawa, Saburo Matsuno, Mitsuru Konura, Analysis of interlocking block pavements by finite element method, Chichibu Co., Japón.

[11] Rada, Gonzalo; Smith, David; Miller, Jhon; Witczak Matthew; Structural design of interlocking concrete pavements. TAC Annual Conference, Winnipeg, Manitoba, 1991.

[12] ICONTEC, Norma Técnica Colombiana, NTC 2017, Adoquines de concreto para pavimentos. Octubre de 2001.

[13] Vesga, Luis Fernando, Ruiz M. William, Montañez Marco T., Control de calidad de bases para pavimentos con métodos geofísicos y su aplicación en la vía Arauca – La Antioqueñita, XIII Simposio Colombiano sobre ingeniería de Pavimentos.

[14] Tatsuo Nishizawa, Saburo Matsuno, Mitsuru Konura, Analysis of interlocking block pavements by finite element method, Chichibu Co., Japón.

[15] Rada, Gonzalo; Smith, David; Miller, Jhon; Witczak Matthew; Structural design of interlocking concrete pavements. TAC Annual Conference, Winnipeg, Manitoba, 1991.

8 ANEXO 1

NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC 2017 – ADOQUINES DE CONCRETO PARA PAVIMENTOS