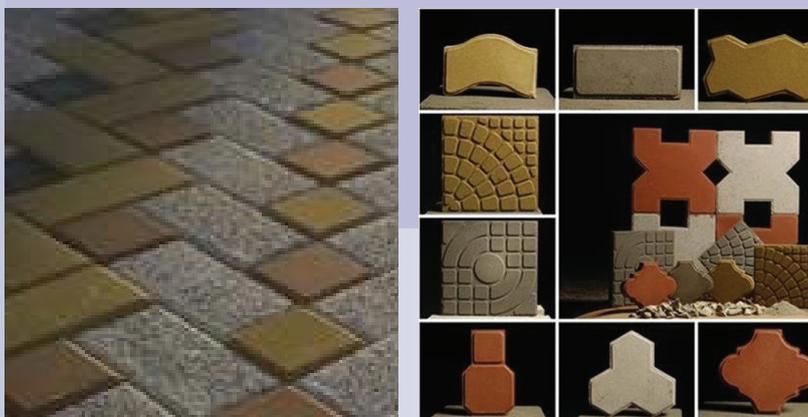


Pavimentos con adoquines de hormigón



1. Introducción

El objetivo de la presente Guía Técnica es proporcionar un conjunto de recomendaciones y criterios prácticos para proyectar y ejecutar pavimentos de adoquines de hormigón. Existe un elevado número de razones que justifica su elección, abarcando su ámbito de aplicación espacios tan diversos como áreas urbanas (plazas públicas, aparcamientos, calles), zonas de carga en cualquier industria, estaciones de servicio, zonas portuarias, u otros.

2. Ventajas y limitaciones de los pavimentos de adoquines de hormigón

Entre las ventajas y limitaciones de los pavimentos de adoquines de hormigón cabe destacar:

2.1. Ventajas

a. Escasos gastos de conservación. Frente al mantenimiento que cualquier pavimento requiere bajo la acción agresiva de las cargas y del medio ambiente, en un pavimento de adoquines se reduce a eliminar la vegetación, que eventualmente se produzca en las juntas entre bloques, y a suministrar, en su caso, la arena de sello. Por otro lado, en el caso de ser necesaria una corrección de regularidad superficial (asientos localizados), este pavimento es el que presenta una mayor facilidad de levantamiento, con posible reutilización de los mismos adoquines en su reposición, y en consecuencia, un mayor valor residual. Esta última propiedad, lo hace especialmente indicado en zonas que aún no poseen todos los servicios públicos instalados (caso frecuente en ciudades), o en aquéllas susceptibles de asiento (rellenos inestables).

b. Resistencia a combustibles, aceites, grasas, efectos de las heladas y sal descongelante. Un pavimento de hormigón con compacidad adecuada, o mediante el uso de aireantes, puede resistir la acción de todos estos elementos, mientras que los pavimentos bituminosos, sin tratamientos especiales, se degradan. El adoquín de hormigón, debido a su mayor compacidad, como consecuencia del proceso industrial de fabricación, no precisa de ningún aditivo para no verse afectado por la acción de los productos citados.

c. Amplias posibilidades expresivas, limitadas exclusivamente por la imaginación del propio proyectista, dadas la variada gama de colores, la diversidad de formas y las múltiples combinaciones en planta que admiten las piezas.

En conjunto, se consigue un importante efecto estético.

d. Ventajas medioambientales. Como todo elemento construido con hormigón tiene ciertas ventajas medioambientales relacionadas con la durabilidad del material y la utilización de materiales locales para su fabricación. La facilidad de encontrar plantas de prefabricados de hormigón próximas, disminuye los impactos medioambientales ocasionados por su transporte (emisiones, daños colaterales, etc.). Como ventaja adicional se debe considerar la posibilidad de su reutilización como pavimento de adoquines o, al final de su vida útil, su completo reciclado.

2.2 Limitaciones

a. Rendimiento de ejecución del pavimento. Aunque se han desarrollado algunos equipos para la colocación mecanizada de adoquines, ésta se realiza básicamente de forma manual. Hay que tener en cuenta que, según la combinación de colores que se disponga en planta, puede no ser posible el uso de estos equipos en la colocación de las piezas.

b. Velocidad de circulación limitada. Por propia constitución, en concreto por regularidad superficial, este pavimento no permite velocidades de circulación elevadas, siendo, sin embargo, perfectamente adecuado al nivel de velocidad usual en las ciudades (hasta 60 km/h).

3. Ámbito de aplicación

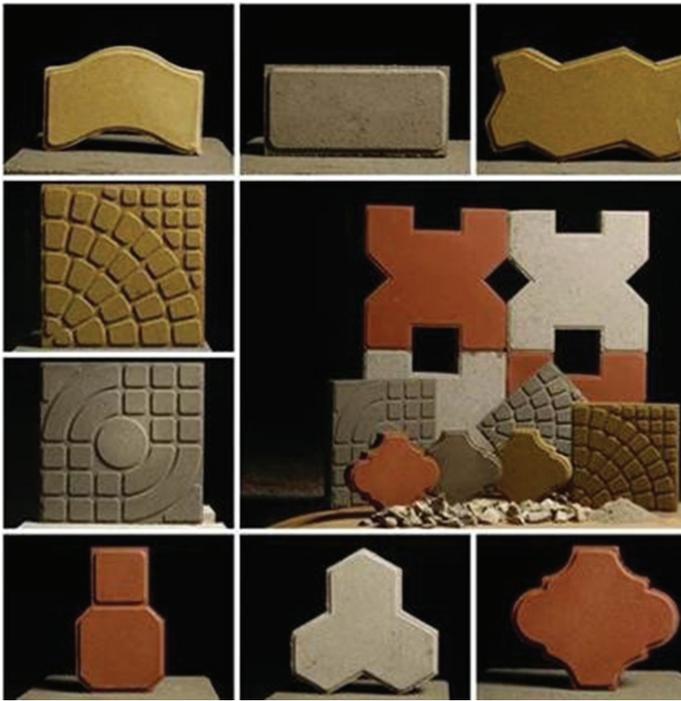
Se pueden distinguir dos ámbitos de aplicación preferente del pavimento de adoquines de hormigón:

a. Áreas urbanas con bajo nivel de tráfico: zonas peatonales, plazas públicas, donde el efecto estético de este pavimento debe ser el argumento fundamental que determine su aplicación.

b. Zonas con tráfico muy pesado, desplazándose a velocidad reducida: zonas portuarias o terminales de transporte, presentando, en este caso, menor deformabilidad y mayor durabilidad (resistencia a combustibles y grasas) que los firmes bituminosos. Cuenta además, con la ventaja de exigir pocos gastos en conservación y reparación, tal como se ha indicado anteriormente. Otras alternativas de tráfico pesado menos intenso, como zonas de carga en industrias, estaciones de servicio, peajes, etc. también quedarían incluidos en este apartado.

En cuanto a las limitaciones señaladas, la de velocidad reducida encaja perfectamente en los dos ámbitos de aplicación indicados, y el sobrecoste que representa el bajo

Figura 1.



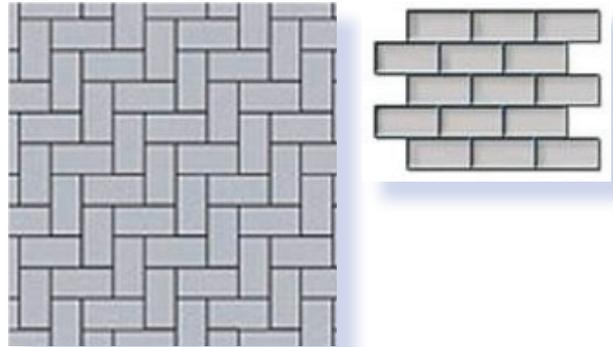
rendimiento de ejecución, debe contrastarse, en el primer caso, con el efecto estético que se consigue, y en el segundo, con el ahorro posterior en conservación y reparación.

4. Posibilidades expresivas

Las posibilidades expresivas de este tipo de pavimentos se centran en tres aspectos:

- a. Gama de colores.** Utilizando pigmentos inorgánicos, a base de óxidos metálicos, puede obtenerse, con garantía de durabilidad y regularidad en el color, una amplia gama de colores en los adoquines. Los pigmentos orgánicos no son recomendables por su escasa durabilidad. En cuanto al sistema de pigmentación, se distinguen dos métodos: en toda la masa del adoquín o tan solo superficial.
- b. Forma del adoquín.** El adoquín de hormigón, por su proceso de elaboración, puede tener formas muy variadas (figura 1), existiendo más de 200 patentes en el mundo. La diversificación del mercado español, aún sin llegar a tantas posibilidades, es también amplia.
- c. Trama de adoquines en planta.** La forma del adoquín permite la combinación de piezas en planta, dando lugar a tramas muy diversas. Algunos ejemplos aparecen en la figura 2.

Figura 2.



La combinación de los tres aspectos dota al proyectista de un medio de expresión formal muy versátil, que le permitirá integrar su obra, en este caso un pavimento, dentro de un entorno general, o bien, si éste no es especialmente significativo, darle una personalidad que lo realce.

5. Partes del firme de adoquín

El pavimento de adoquines, por su comportamiento estructural se asemeja a los pavimentos flexibles. Sin embargo, según que las capas inferiores sean más o menos rígidas, se pueden conseguir comportamientos globales intermedios del pavimento. Aun cuando los adoquines son un elemento de gran rigidez, la ausencia de ligante entre ellos hace que las cargas aplicadas afecten a un número limitado de piezas, por lo cual las deformaciones pueden considerarse localizadas. La transmisión de cargas verticales entre los bloques, que es lo que determinará el grado de flexibilidad o rigidez del pavimento, se realiza por rozamiento, a través de una arena fina situada en las juntas. En consecuencia, una serie de aspectos constructivos, como la separación entre adoquines o el grado de colmatación de las juntas, afectarán al comportamiento del pavimento.

Un pavimento de adoquines está constituido por una serie de capas o unidades entre las que se puede distinguir:

- a. Adoquines:** Son la parte de mayor calidad del pavimento, que recibe directamente las cargas, transmitiéndolas suficientemente amortiguadas a las capas inferiores y resistiendo además la acción de agentes atmosféricos. Por estar en contacto con el tráfico, aparte de una misión resistente, debe poseer condiciones de funcionalidad (rodadura cómoda y segura) y de estética (como parte visible del firme). Las capas de subbase y de base, según los condicionantes de tráfico y explanada, pueden no ser necesarias en el pavimento.

b. Cama de arena: Capa de arena de asentamiento de los adoquines que se coloca entre el adoquín y la base.

c. Base: Constituye el principal elemento portante de la estructura del firme, o lo que es lo mismo, el que debe absorber en mayor proporción, las cargas verticales transmitidas por el tráfico.

Entre todos los materiales que hoy se utilizan en capas de base, en esta guía se han considerado solamente dos: un material granular, la zahorra artificial y el hormigón magro.

d. Explanada: Es la parte superior del terreno natural sobre la que se ha de apoyar el firme, después de eliminar la capa vegetal y aportar o retirar el material necesario para alcanzar la cota de proyecto.

Desde el punto de vista estructural, la explanada debe ser capaz de absorber las cargas que le transmite el firme, y por tanto, su capacidad portante es uno de los factores que determina las características de éste.

e. Borde de confinamiento formado por una serie de elementos rígidos, como bordillos o rigolas, para asegurar la respuesta del pavimento a las acciones horizontales.

f. Arena de sellado con la que se sellan las juntas en los adoquines y que permiten la transmisión de los esfuerzos verticales entre las piezas, de forma que actúen de manera conjunta.

6. Características de los adoquines de hormigón

Los adoquines son piezas prismáticas prefabricadas de hormigón y, en general, con una geometría tal que permite el ensamblaje con otras similares para obtener una superficie continua.

El adoquín de hormigón se elabora industrialmente por vibrocompresión de hormigones muy secos, con las ventajas inherentes a un proceso de este tipo: regularidad de las características del producto final, diversidad de formas y textura superficial, etc. Estas propiedades diferencian notablemente los resultados que pueden obtenerse con este producto respecto a los adoquines de piedra labrada, en relación a regularidad superficial, comodidad de circulación o coste.

Según su fabricación, los adoquines pueden ser monocapa o bicapa.

6.1. Características geométricas

Por razones prácticas el tamaño y peso del adoquín deben permitir su manipulación con una sola mano, recomendándose la siguiente relación:

$$\text{Longitud / anchura} = 1,5 \text{ a } 2,5 \text{ con anchura entre } 8 \text{ y } 12 \text{ cm}$$

Su espesor viene condicionado por las características del tráfico, siendo habitual espesores entre 6 y 12 cm. Los bordes de los bloques pueden biselarse, consiguiéndose un aspecto más regular de las juntas. Con estas dimensiones, el peso del adoquín oscila habitualmente entre 3 y 7 kilogramos por pieza.

Como tolerancias en las dimensiones respecto al valor nominal, se exigen las incluidas en la tabla 1.

Tabla 1. Tolerancias en las dimensiones

Espesor nominal del adoquín	Longitud y anchura	Espesor
< 100 mm	± 2 mm	± 3 mm
≥ 100 mm	± 3 mm	± 4 mm

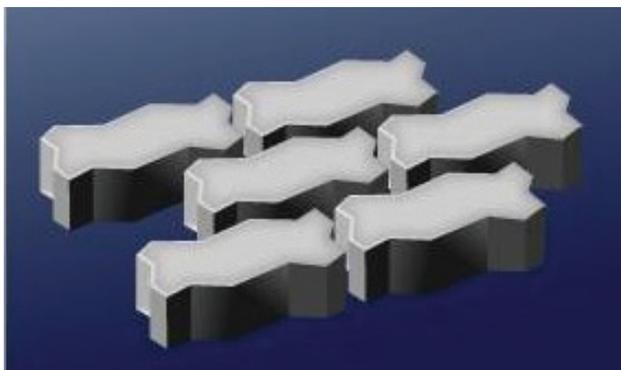
Según la forma del adoquín, y en concreto, la posible trabazón entre las piezas, se distinguen en esta guía dos tipos de adoquines:

- **Adoquines clásicos.** Sin ningún tipo de encaje entre las piezas (figura 3).
- **Adoquines machihembrados en planta** que poseen, debido a su forma, una cierta trabazón en planta. A su vez pueden subdividirse en adoquines con machihembrado unidireccional y adoquines con machihembrado multidireccional (figura 4).

Figura 3. Adoquines clásicos



Figura 4. Adoquines machihembrados en planta



6.2. Características físicas y mecánicas

Debido a los condicionantes de resistencia y funcionalidad que debe cumplir el pavimento, los adoquines de hormigón han de poseer unas determinadas propiedades físicas y mecánicas. Concretamente, se pueden distinguir tres grupos de características a exigir: resistencia mecánica, resistencia a los agentes atmosféricos, resistencia al desgaste superficial.

Cuando se ensayen de acuerdo con los métodos descritos en la norma UNE EN 1338, los adoquines deberán satisfacer los siguientes requisitos en el momento de la entrega o bien ser declarados adecuados para su uso por el fabricante:

a. Esfuerzo de rotura, cuyo valor medio, determinado mediante el método descrito en el anexo 7, no deberá resultar inferior a 3,6 MPa, y ninguno de los resultados individuales son inferiores a 2,9 MPa.

b. Absorción de agua: La norma establece dos clases de adoquines, en función de que estas características sean o no exigidas. Los adoquines clase 2 son resistentes a las heladas.

Tabla 2. Requisito en absorción de agua

Clase	Requisito en absorción de agua
1	No hay requisito
2	De la muestra $\leq 6,0\%$

c. Resistencia al desgaste por abrasión. Cuando por su clase sea necesario definir el desgaste D, determinado por el método descrito en la norma UNE EN 1338, éste no será superior a 25 mm en ninguno de los adoquines de la muestra.

Tabla 3. Requisito al desgaste por abrasión

Clase	Requisito en desgaste por abrasión	Uso recomendado
1	No hay requisito	Zonas sin abrasión
2	Desgaste ≤ 23 mm	Zonas con fuerte abrasión

Figura 5.



7. Elementos de un pavimento de adoquines de hormigón

7.1. Descripción general

Un pavimento de adoquines de hormigón (figura 6) está constituido por los adoquines propiamente dichos, situados sobre una capa de arena de escaso espesor (3 a 5 cm) cuidadosamente nivelada y sobre las capas ya citadas.

El tráfico genera una serie de acciones horizontales y verticales, que deben ser absorbidas por el pavimento y repartidas adecuadamente. Para ello, en este tipo de pavimentos, juega un papel fundamental la transmisión de esfuerzos entre los bloques, que garantiza en cierta medida, un trabajo conjunto del pavimento.

En estos pavimentos, la transmisión de los esfuerzos verticales se realiza por rozamiento, a través de una arena fina de sellado que se coloca en las juntas entre bloques. Por otro lado, para garantizar la respuesta a las acciones horizontales, el pavimento debe estar confinado lateralmente, mediante elementos rígidos (bordes de confinamiento) como bordillos, cunetas de hormigón, etc. Para esta función, desempeña también un papel fundamental la arena de sellado, limitando los desplazamientos individuales de los bloques. Otros factores como la disposición en planta de los adoquines, o su forma (grado de trabazón) también influyen en la transmisión de esfuerzos horizontales, según veremos más adelante.

En caso de substituirse parcial o totalmente el lecho de arena por un mortero fresco, se debe tener la precaución de serrar juntas en el hormigón magro de base, si se utiliza esta capa de apoyo.

Debe desaconsejarse el uso de mortero para sellar las juntas entre adoquines, puesto que, por un lado, elimina una de las ventajas de este pavimento, que es la facilidad de ser levantado, y por otro, debido a la flexibilidad del conjunto, el mortero termina por agrietarse, quedando los bloques sueltos, con lo que se reduce su capacidad de transmisión de cargas.

A continuación, se resumen las características que deben cumplir cada uno de los elementos descritos: capa de arena, adoquines, arena de sellado y borde de confinamiento para garantizar, un buen comportamiento del conjunto. Así mismo, se fijaran las prescripciones técnicas a cumplir por los materiales a utilizar.

7.2. Capa de arena de lecho

El objetivo fundamental de esta capa es servir de base de apoyo de los adoquines, permitiendo una correcta compactación y nivelación de los mismos. También puede desempeñar una cierta misión drenante, especialmente en el caso de disponer en el firme una capa de base de hormigón magro. La granulometría debe estar comprendida entre 2 y 6 mm.

Se ha comprobado que el espesor de la capa de arena influye en la funcionalidad del pavimento, en concreto, en la magnitud de las deformaciones permanentes provocadas por el tráfico. Se aconseja un espesor inicial de 2 cm para esta capa, una vez colocados los adoquines y vibrado el pavimento, por lo cual, el espesor de arena a colocar oscila entre 3 y 5 cm no compactados.

El contenido máximo de materia orgánica y arcilla debe ser inferior al 3 % con una notable ausencia de finos en su granulometría. De esta forma se garantiza la inalterabilidad de la capa, evitando la absorción de agua.

Figura 6. Sección típica de un pavimento de adoquines

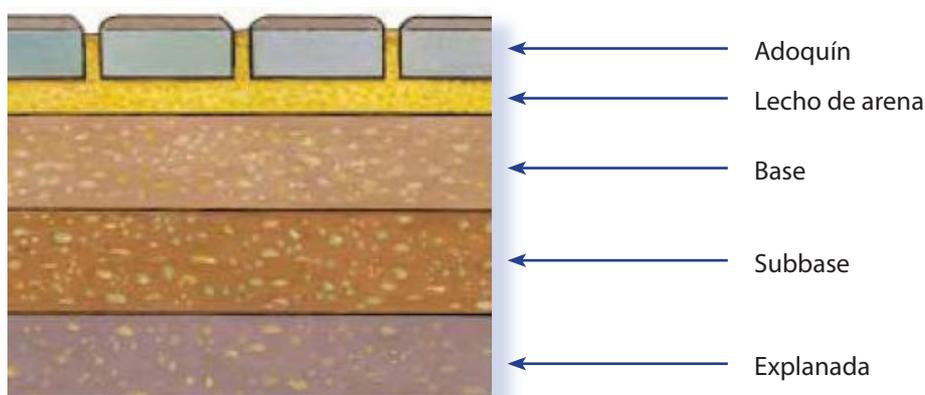


Tabla 4. Granulometría de la capa de arena

Tamices según norma UNE 7050	% que pasa por el tamiz
10,00	100
5,00	50 - 85
2,50	10 - 50
1,25	0 - 5

La calidad de esta capa repercute notablemente en el comportamiento global del pavimento, por lo que es recomendable un cuidado especial en la selección del material y en su proceso de puesta en obra. En concreto, debe controlarse la regularidad superficial de la capa y su homogeneidad en propiedades físicas, para asegurar un comportamiento uniforme del pavimento.

Además de la granulometría, la realización de pavimentos de adoquines está también afectada por la angulosidad de partículas de la capa de arena. Así, se ha visto que para granulometrías similares, los pavimentos de adoquines de hormigón colocados sobre arenas angulosas tienen un comportamiento mejor que los pavimentos colocados sobre arenas redondeadas. Por otra parte, la arena debería ser elegida de modo que no se degradase bajo tráfico, para ello se debe tener en cuenta lo especificado en las normas UNE 83-115 y UNE 83-116 sobre la friabilidad de la arena y el desgaste de Los Angeles del árido propiamente dicho. Por este motivo el uso de arenas calizas debería evitarse.

7.3. Arena de sellado

Se trata de una arena fina que ocupa el espacio que queda entre los adoquines, ayuda a confinar los bloques lateralmente y transmite las cargas verticales entre ellos. Su papel en la resistencia y comportamiento del conjunto, es pues fundamental. Aparte de estas funciones básicas, el relleno de las juntas proporciona cierta impermeabilidad al pavimento, disminuyendo la infiltración de agua.

Su tamaño máximo debe ser de 1,25 mm, con un máximo de un 10 % en peso de material fino que pase por el tamiz de 0,08 mm. Conviene que la arena esté seca en el momento de la colocación.

Como última recomendación, las arenas tanto del lecho como las de relleno deben estar libres de sales solubles dañinas u otros contaminantes, que provocarían la aparición de haloeflorescencias. Se recomienda por este motivo, el empleo de arenas lavadas.

Tabla 5. Granulometría de la arena de sellado

Tamices según norma UNE 7050	% que pasa por el tamiz
10,00	100
5,00	100
2,50	100
1,25	90 - 100
0,630	60 - 90
0,315	30 - 60
0,160	15 - 30
0,080	5 - 10

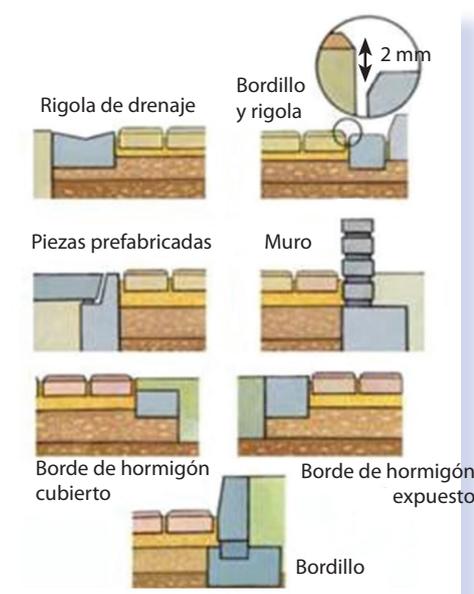
7.4. Borde de confinamiento

Los pavimentos de adoquines de hormigón requieren obligatoriamente un confinamiento lateral en, todo su perímetro para evitar el desplazamiento de las piezas, la apertura de las juntas y la pérdida de trabazón entre los adoquines.

Debe tener una profundidad por lo menos de 15 cm por debajo de los adoquines, pudiéndose utilizar los bordillos, cunetas de hormigón, u otro pavimento en caso de que se reemplace sólo una parte del mismo.

Es indispensable que este elemento esté colocado antes de la puesta en servicio del pavimento.

Figura 7. Ejemplos de bordes de confinamiento



8. Aspectos a considerar en el proyecto

Los datos que se precisan para el diseño de un pavimento de adoquines de hormigón tienen relación con la calidad de la explanada y el nivel de tráfico que soportará:

8.1. Caracterización de la explanada

Para caracterizar la calidad de la explanada se pueden utilizar varios procedimientos. Los dos más usuales son el ensayo de placa de carga y el índice CBR. Ambos métodos están totalmente normalizados, resultando relativamente económicos. Según los resultados de estos ensayos, se ha clasificado la explanada en 3 grupos: S0, S1 y S2.

Tabla 6. Caracterización de la explanada

Categoría	CBR	Módulo de compresibilidad E_{v2} (MPa)	Módulo de reacción (MN/m ³)
S0	3 - 5	20 - 59	25 - 35
S1	5 - 10	60 - 119	35 - 55
S2	10 - 25	120 - 299	55 - 135

Si el terreno natural no posee las condiciones resistentes mínimas, es decir, no alcanza el nivel S0, es necesario un tratamiento especial de mejora como puede ser la sustitución del suelo o, lo que resulta más económico y ecológico, la estabilización del mismo con cemento (o con cal si resulta muy plástico).

8.2. Características del tráfico

Para caracterizar el nivel de tráfico es necesario realizar conteos directos o previsiones del mismo. En concreto, dos son los datos que permiten definir el nivel de tráfico en esta guía: los vehículos pesados por día que circularán por el carril en el momento de la puesta en servicio y la vida útil del pavimento (en esta guía se ha considerado un período de 20 años, que es el más usual en el proyecto de firmes).

Sólo se considerarán los vehículos pesados, es decir los camiones con uno o más remolques, vehículos articulados y especiales o los vehículos destinados al transporte de personas con más de 9 plazas. Los vehículos que pueden circular con un peso inferior provocan un efecto mínimo sobre el pavimento, por lo que no tiene interés su cuantificación.

Al efectuar los aforos es importante estimar el tráfico diario representativo de todo el año. Se deben evitar los conteos en épocas singulares y, en caso de que las variaciones dentro del año sean muy fuertes, se debe hacer una media de todo él.

En el caso de nuevas vías, se puede recurrir a utilizar estos sistemas en otras de características parecidas.

En función de los datos señalados, se distinguen en esta guía, cinco niveles de tráfico (tabla 8). Considerando que en las vías estrechas donde no se dispone de un carril en cada sentido, el tráfico tiende a circular por el centro del mismo, se aplica al número medio diario de vehículos pesados, una coeficiente corrector en función del ancho de la calzada, para obtener así el denominado tráfico de proyecto (tabla 7).

Tabla 7. Coeficiente corrector por ancho de calzada

Ancho de la calzada	Tráfico de proyecto
≤ 5 m	Total entre los dos sentidos
5 - 6 m	3/4 del total
≥ 6 m	1/2 del total

Tabla 8. Caracterización del tráfico

Categoría	Tráfico de proyecto (vehículos pesados al día)
C0	de 50 a 150
C1	de 25 a 49
C2	de 15 a 24
C3	de 5 a 14
C4	de 0 a 4

En zonas con tráfico superior a 150 camiones diarios o que circulen vehículos de naturaleza especial (zonas portuarias o de carga de industrias), deberá realizarse un estudio especial para obtener la sección del firme. En cualquier caso, ésta no será inferior a la correspondiente a la categoría C0, recomendándose el uso de adoquines machihembrados de 12 cm de espesor.

Como ejemplos orientativos se puede exponer la tabla 9.

8.3. Estructura del firme. Catálogo de secciones

Definidas la categoría de explanada y la del tráfico, se incluyen en la figura 8 una serie de secciones de firme con adoquines de hormigón. Los espesores indicados, son los mínimos que deben alcanzarse en cualquier punto una vez compactada la capa, por lo que los valores medios deben ser algo mayores.

Tabla 9: Ejemplos orientativos de caracterización del tráfico

Categoría	Situación
C0	Calles, arteriales o principales, estaciones de servicio, paradas de autobuses, etc., que no superen los 150 vehículos pesados por día.
C1	Calles, arteriales o principales que no sean travesías de carreteras con tráfico mayor de 25 vehículos pesados/día.
C2	Calles muy comerciales. Calles con 6 m o más de ancho y con servicio regular de autobuses (más de 1 autobús/hora).
C3	Calles comerciales, es decir, con tiendas, pequeñas industrias, talleres u otros. Calles con 6 m o más de ancho sin servicio regular de autobuses urbanos (menos de 1 autobús/hora)
C4	Calles exclusivamente residenciales con las edificaciones ya construidas y sin tráfico comercial. Calles con anchura inferior a 6 m, sin tráfico comercial. Aparcamientos de vehículos ligeros. Zonas peatonales sin acceso de vehículos pesados.

Figura 8. Secciones de firme con adoquines de hormigón

Nivel de tráfico	Calidad de la explanada		
	S0	S1	S2
C0	Adoquín de 10 cm Lecho de arena 5 cm HM15 cm SG 25 cm Explanada	Adoquín de 10 cm Lecho de arena 5 cm HM15 cm / ZA 20 cm SG 15 cm / SG 20 cm Explanada	Adoquín de 10 cm Lecho de arena 5 cm HM15 cm / ZA 20 cm Explanada
C1	Adoquín de 8 cm Lecho de arena 5 cm HM15 cm / ZA 20 cm SG 20 cm / SG 25 cm Explanada	Adoquín de 8 cm Lecho de arena 5 cm HM15 cm / ZA 20 cm SG 20 cm / SG 25 cm Explanada	Adoquín de 8 cm Lecho de arena 5 cm HM15 cm / ZA 20 cm Explanada
C2	Adoquín de 8 cm Lecho de arena 5 cm SG 25 cm Explanada	Adoquín de 8 cm Lecho de arena 5 cm SG 20 cm Explanada	Adoquín de 8 cm Lecho de arena 5 cm SG 15 cm Explanada
C3	Adoquín de 6 cm Lecho de arena 5 cm SG 20 cm Explanada	Adoquín de 6 cm Lecho de arena 5 cm SG 15 cm Explanada	Adoquín de 6 cm Lecho de arena 5 cm SG 15 cm Explanada
C4	Adoquín de 6 cm Lecho de arena 5 cm SG 15 cm Explanada	Adoquín de 6 cm Lecho de arena 5 cm SG 15 cm Explanada	Adoquín de 6 cm Lecho de arena 5 cm SG 15 cm Explanada

HM = Hormigón Magro / ZA = Zahorra artificial / SG = Subbase granular

9. Elección de los adoquines y disposición en planta

9.1. Criterios de elección

Como se ha comentado, la respuesta del pavimento de adoquines frente a las acciones generadas por el tráfico depende fundamentalmente del sellado de las juntas entre bloques y de la rigidez de los bordes de confinamiento. A parte de estos factores, la disposición en planta de los adoquines y su forma, participan en cierta medida en la transmisión de esfuerzos horizontales.

Junto a las razones estéticas, existen ciertos criterios técnicos sobre la óptima disposición en planta de los adoquines, evitando las líneas de junta continuas en la dirección de tráfico predominante. El peso de estos criterios técnicos frente a los

estéticos, está en relación directa con el nivel de tráfico, y su importancia está ampliamente reconocida.

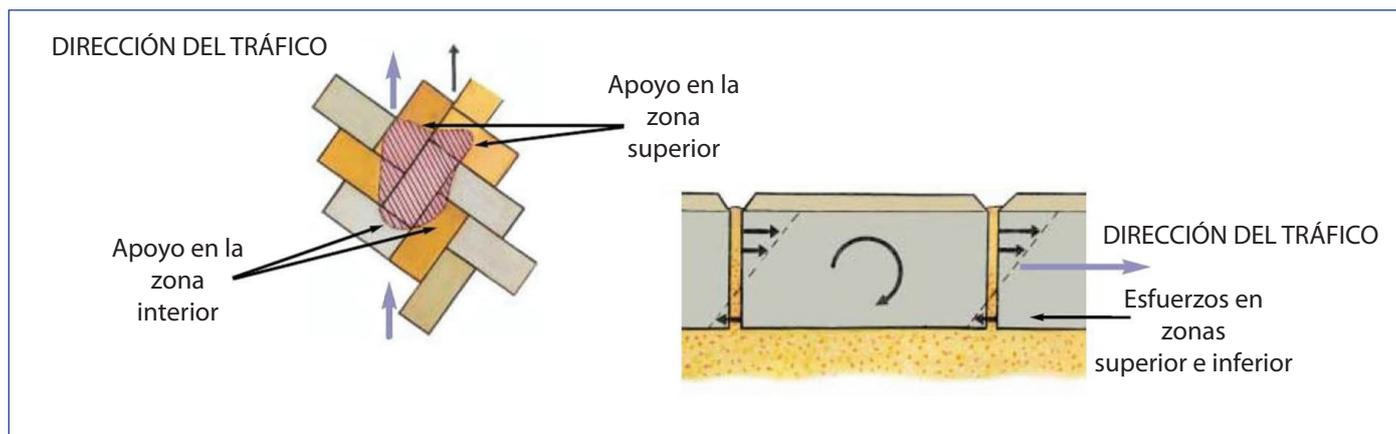
Respecto a la elección del tipo de adoquín, no existe una unanimidad tan clara. La utilización de formas machihembradas asegura, en general, una mejor transmisión de las acciones horizontales, puesto que un desplazamiento de un bloque, implicará el movimiento de un mayor número de ellos, a causa de su forma trabada. Sin embargo, países como Gran Bretaña, de importante tradición en pavimentos de este tipo, utilizan el adoquín clásico rectangular en niveles de tráfico elevados, con buenos resultados.

9.2. Adoquines y disposiciones recomendadas según tráfico

A partir de los criterios expuestos, se recomiendan los siguientes tipos de adoquín y disposiciones:

Categoría	Espesor	Adoquines utilizables		Disposición en planta
		No machihembrados	Machihembrados	
C0	10 cm	NO	SI	En espiga o equivalente
C1	8 cm	SI	SI	Sin líneas de junta continuas en la dirección del tráfico
C2	8 cm	SI	SI	
C3	6 cm	SI	SI	
C4	6 cm	SI	SI	Por estética

Figura 9. Disposición en espiga y esfuerzos sobre los adoquines



9.3. Pendientes superficiales

Para conseguir un drenaje adecuado, en el caso de calles, es necesaria una pendiente transversal mínima de un 2 %, que asegure la circulación del agua hacia las cunetas o bordes de la vía. La pendiente longitudinal mínima en el peor de los casos debe ser superior al 0.5 %.

En el caso de plazas, se debe proyectar una alternancia de pendientes que asegure la evacuación de las aguas. En las calles, deberá darse una pendiente transversal de un 2 % al perfil, pues la pendiente longitudinal es ya suficiente para este fin.

Estas pendientes deben conseguirse en la explanada, manteniendo un espesor constante en el resto de las capas. Se debe diseñar un buen drenaje para evitar la penetración del agua en el lecho de arena.

10. Ejecución

Los pasos a seguir en la construcción de un pavimento de adoquines de hormigón, puede subdividirse en las siguientes fases:

10.1. Preparación de la explanada

Consiste en retirar o añadir todo el material que sea necesario para obtener la cota de proyecto. El resto de capas del firme conviene que sean de espesor constante, por lo que la explanada deberá alcanzar el perfil de diseño del firme (pendientes transversales).

A continuación, se debe compactar adecuadamente la explanada de forma que garantice la capacidad portante exigida. El comportamiento del terreno natural deberá ser lo más uniforme posible, por lo que conviene retirar las zonas blandas y sustituirlas por terreno adecuado. Si la explanada original no posee las características portantes necesarias, se debe proceder a un tratamiento o estabilizar. La superficie acabada no debe variar en más de 15 mm, cuando se compruebe con una regla de 3 m, aplicada tanto paralela como normal al eje de la vía. Tampoco debe haber zonas capaces de retener agua.

10.2. Extensión y compactación de la capa de subbase

Una vez compactada la explanada, se procede a la extensión de la subbase en tongadas de espesor lo suficientemente reducido para que, con los medios disponibles, se obtenga en todo el espesor, el grado de compactación exigido.

La compactación se continúa hasta alcanzar una densidad, como mínimo, a la que corresponda al 95 % de la máxima obtenida en el ensayo Proctor modificado según la Norma UNE 103501. La superficie acabada no debe rebasar a la teórica en ningún punto, ni diferir de ella en más de 1/5 del espesor previsto. La superficie acabada no debe variar en más de 10 mm cuando se compruebe con una regla de 3 m. No conviene extender subbases granulares cuando la temperatura ambiente sea inferior a dos grados centígrados.

10.3. Extensión y compactación de la capa de base

Debemos distinguir entre las bases granulares de zahorra artificial y las bases de hormigón magro.

Zahorra artificial: La extensión y compactación de la zahorra artificial se realiza de forma análoga a la subbase granular, pero con un grado de compactación mayor, que debe alcanzar el 98 % del ensayo Proctor modificado, en el caso de tráfico ligero (hasta categoría C1), y el 100 % para tráfico pesado y medio (C0). Las tolerancias en la superficie acabada también coinciden con las expuestas en la subbase granular.

Hormigón magro: La puesta en obra del hormigón magro es análoga a la del hormigón vibrado en pavimentos de hormigón. El curado se realiza preferentemente con productos filmógenos que eviten la pérdida de agua en el primer período de endurecimiento del hormigón. Las únicas juntas que se realizan son las de hormigonado, tanto longitudinales como transversales, y estas últimas, en el caso de viales, se dispondrán perpendiculares a su eje. No se sella ninguna junta.

La regularidad superficial de cada lote de hormigón magro se debe controlar dentro de las 24 horas siguientes a su ejecución. La superficie acabada no debe rebasar a la teórica en ningún punto, ni quedar por debajo de la misma en más de 30 mm. Asimismo, no debe variar en más de 10 mm cuando se compruebe con una regla de 3 m.

10.4. Ejecución de los bordes de confinamiento

Como ya se ha indicado antes, los pavimentos de adoquines requieren un elemento que los confine para evitar desplazamientos de las piezas, aperturas de las juntas y pérdida de trabazón entre los adoquines.

Este elemento debe construirse antes del propio adoquinado. Si por alguna razón se construye después, deben limitarse las cargas sobre el pavimento dejando un borde de 1 m desde el extremo sin confinar. En este caso, antes de construir el borde, hay que comprobar el correcto estado de estos adoquines extremos, procediendo a la reconstrucción de los mismos en caso necesario.

El borde de confinamiento debe apoyarse, como mínimo, 15 cm por debajo del nivel inferior de los adoquines, para poder garantizar la fijación deseada.

10.5. Extensión y nivelación de la capa de arena

Constituye un elemento fundamental que va a incidir sobre el comportamiento futuro del pavimento. La arena debe depositarse cuidadosamente con la idea de conseguir una capa uniforme en cuanto a comportamiento y en consecuencia, en espesor, ya que no se compacta hasta una vez colocados los adoquines. Para ello, se puede utilizar una maestra de nivelación con guías longitudinales (figura 10).

Figura 10. Nivelación de la capa de arena



No debe pisarse la arena ya nivelada, por lo que la colocación de los adoquines se realiza desde el pavimento terminado. No es recomendable echar arena en tramos muy grandes a la vez, porque se desperdicia material, y el trabajo se organiza peor.

El espesor final de esta capa, una vez colocados los adoquines y vibrado el pavimento, debe estar comprendido entre 3 y 5 cm.

10.6. Colocación de los adoquines

Aunque se han desarrollado medios mecánicos para este fin, en la actualidad la colocación manual sigue siendo el procedimiento usual en esta actividad. Su rendimiento oscila entre 60 y 110 m²/día/hombre según la organización de la obra. Utilizando medios mecánicos de tipo manual el rendimiento puede ascender hasta 200 m²/día/hombre. Debe tenerse en cuenta que, según el dibujo elegido en planta por la combinación de adoquines, puede no ser factible el uso de un procedimiento mecánico. Este hecho, unido al coste de algunos equipos, explica que la colocación manual siga utilizándose en más del 90 % de los casos.

Figura 11. Colocación de los adoquines



Los adoquines se colocan sin ningún tipo de aglomerante. Las juntas, cuyo ancho debe oscilar entre 2 y 3 mm, deben rellenarse con arena tal y como se explica posteriormente.

Todos los adoquines deben quedar nivelados, garantizándose que no existan diferencias de más de un centímetro cuando se comprueba la superficie con una regla de 3 metros. En caso de que se presenten diferencias mayores, es necesario corregir la colocación de la arena. La diferencia de nivel entre 2 bloques adyacentes no debe diferir en más de 2 mm.

El ajuste entre los adoquines y los bordes de confinamiento se hace con fragmentos de adoquín bien cortados. Si la distancia entre el adoquín y dicho borde es inferior a 4 cm no se usan adoquines, sino que se rellena el espacio con un mortero hecho con 4 partes de arena y 1 parte de cemento.

En caso de existir elementos en el interior del área a pavimentar, como pozos de registro o imbornales, los ajustes de los adoquines se hacen de igual forma que con los bordes de confinamiento.

10.7. Vibrado del pavimento

Una vez terminada la colocación de los adoquines en una zona que deba ser utilizada (cargas de obra), o cuando se vaya a suspender el trabajo, es necesario llevar a cabo la compactación de la superficie construida, normalmente con una placa vibratoria, o mediante el uso de un pisón, en caso de no disponer de ella.

En el caso de que por el avance de la puesta en obra se esté compactando una zona en cuyo límite los adoquines no estén confinados lateralmente, se debe dejar sin vibrar la citada

banda de protección de 1 m desde dicho límite, para que los adoquines finales no se desplacen de su posición.

Cuando se dispone de vibrador de placa, basta con pasar la máquina 2 o 3 veces sobre la zona que se ha construido. Cuando la compactación se hace con pisonos, se golpea cada adoquín hasta que penetre aproximadamente 1 cm en la capa de arena.

Figura 12. Vibrado del pavimento



10.8. Sellado con arena

Esta labor es especialmente importante para garantizar un buen comportamiento del pavimento de adoquines.

Se realiza extendiendo sobre la superficie del pavimento una arena fina y seca en el momento de la colocación. Posteriormente, con una escoba dura o con un cepillo se barre para que la arena entre por los espacios dejados entre adoquín y adoquín, a la vez que se hace un vibrado final que asegure el mejor llenado de las juntas. La arena sobrante que queda sobre el pavimento debe retirarse mediante un barrido y no por lavado con agua. No debe terminarse la jornada sin completar el vibrado y sellado del pavimento realizado, pues la lluvia podría dañarlo.

Una vez terminada la labor de colocación de la arena de sello, y si existen los bordes de confinamiento necesarios, puede permitirse el paso de vehículos inmediatamente.

11. Conclusiones

Los pavimentos de adoquines de hormigón permiten amplias posibilidades expresivas sin ningún tipo de límites, debido a la variada gama de colores, la diversidad de formas y las múltiples combinaciones en planta que admiten las piezas. Además, como los pavimentos de hormigón, pueden resistir los efectos negativos de combustibles, aceites, grasas o los efectos de las heladas, además de ser totalmente reciclables al final de su vida útil.

Resultan pavimentos de reducida conservación y permiten de manera sencilla y económica cualquier corrección de regularidad superficial que se requiera, con reutilización de los mismos adoquines. Su durabilidad, hace que sean utilizados en espacios tan diversos como áreas urbanas peatonales de bella expresividad o zonas de elevadas cargas en puertos o cualquier industria.

12. Bibliografía

- UNE-EN 1338 Adoquines de Hormigón. Especificaciones y Métodos de ensayo.
- UNE 127338 Adoquines prefabricados de hormigón. Complemento Nacional a la norma UNE-EN 1338.
- IECA-ITEC. Manual de Pavimentos de Adoquines de Hormigón. 1989.
- SIBID – Universidad de Alicante. Manual de Euroadoquín. 2004.
- Asociación española para la investigación y el desarrollo del adoquín de hormigón. Manual Técnico para la correcta colocación de los Euroadoquines. 2004.



Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones

C/ José Abascal, 53 - 1º

28003 Madrid

T.: +34 91 442 93 11

tecnologia@ieca.es

www.ieca.es