Manual
para el uso del
Adoquín Cerámico

Autor:
RAFAEL GARCIA SAEZ - Ingeniero de Caminos

Agradecimientos:
RICARDO FOMBELLA
LETICIA LOJO
MANUEL RUBIO
MARIANO DIAZ
LUIS PINARDEL

Diseño y Maquetación:
EDUARDO NIETO
ALEJANDRO NAVARRO

Producción gráfica:
Grupo Gráfico Ser 2000, s.l.

Depósito legal:
M-13093-2004

Editado por:
HISPALYT – SECCION ADOQUINES
C/ Orense, 10 - 28020 Madrid
Tfno.: 91 770 94 80 - Fax: 91 770 94 81
e-mail: hispalyt@hispalyt.es

Madrid, Marzo 2004.

Prohibida la reproducción total o parcial sin permiso del editor.
Ejemplar gratuito, prohibida su venta.

Algunos dibujos y/o fotografías han sido tomados de las siguientes fuentes:
- "Catálogo Cerámica La Oliva, S.A."
- "Catálogo Incecosa"
- Cerámica Añón, S.L.
- Cerámica Malpesa, S.A.
- Cerámica Piera, S.L.
- Libro "El Ladrillo Cara Vista y el Adoquín Cerámico"
- Norma UNE EN 1344 - AENOR

Índice

1.- Terminología 7

2.- Adoquín cerámico 9

2.1. Descripción 9
2.1.1. Forma 9
2.1.2. Dimensiones nominales 9
2.1.3. Tolerancias dimensionales 10
2.1.4. Aspecto 10
2.2. Características técnicas 11
2.2.1. Resistencia al hielo/deshielo 11
2.2.2. Resistencia a la rotura transversal 11
2.2.3. Resistencia a la abrasión 12
2.2.4. Resistencia al deslizamiento/derrape 12
2.2.5. Comportamiento frente al fuego 13
2.2.6. Emisión de asbesto 13
2.2.7. Emisión de formaldehído 13
2.2.8. Conductividad térmica 14
2.2.9. Resistencia a los ácidos 14
2.3. Métodos de ensayo 14
2.4. Ventajas de los pavimentos con adoquín cerámico 14
2.5. Ambito de aplicación 17
2.5.1. Areas peatonales 17
2.5.2. Areas sometidas a tráfico rodado 19
2.5.3. Areas con ambiente agresivo 20
2.5.4. Otras aplicaciones 21

3.- Proceso de fabricación y suministro 23

3.1. Materia prima 23
3.2. Secado 24
3.3. Apilado sobre vagoneta 24
3.4. Cocción 24
3.5. Suministro 25

4.- Proyectos con adoquín cerámico 27

4.1. Criterios de diseño 27
4.1.1. Introducción 27
4.1.2. Criterios estéticos 27
4.1.3. Configuración de superficies 30
4.1.3.1. Formas de colocación 31
4.1.3.2. Formación de bordes 32
4.1.3.3. Desagües de superficies pavimentadas 34
4.1.3.4. Formaciones de pavimentos. Tipos de aparejo 35
4.1.3.4.1. Formación en hilera 35
4.1.3.4.2. Formación en espina de pez 35
4.1.3.4.3. Formación en diagonal 37
4.1.3.4.4. Formación en bloques o parqué 37
4.1.3.4.5. Muestra lineal de colocación 38
4.1.3.5. Ejemplos de configuración para diferentes tipos de colocación 39
4.1.3.6. Ejemplos de configuración empleando formatos cuadrados de adoquín cerámico y pavimento de mosaico 40
4.1.3.7. Empalme de adoquinados a alcorques, tapas de arquetas (canaletas), etc 41
4.1.3.8. Arcos y formas circulares pavimentadas 41
4.1.3.9. Esquinas pavimentadas de viales 42
4.1.3.10. Muros y parapetos en combinación con adoquinados cerámicos 42
4.1.3.10.1. Cubriciones en muros con visera 43
4.1.3.10.2. Cubriciones de muro sin saliente 44
4.1.3.11. Escaleras y rampas pavimentadas 45
4.1.3.12. Transición de superficies pavimentadas con paredes de edificaciones 45
4.1.4. Criterios funcionales 46
4.1.4.1. Tipos de aparejo 47
4.1.4.2. Tipos de pavimento. Ventajas 48
4.2. Composición del firme 48
4.2.1. Explanada 50
4.2.2. Subbase 50
4.2.3. Base 51
4.2.4. Pavimento 51
4.3. Pavimento de adoquín cerámico 52

4.3.1. Descripción general 52
4.3.2. Tipologías y elementos que lo componen 52
4.3.2.1. Pavimento flexible 52
4.3.2.2. Pavimento rígido 55
4.4. Dimensionamiento del firme 56
4.4.1. Introducción 56
4.4.2. Métodos analíticos 57
4.4.3. Método simplificado 59
4.4.3.1. Planteamiento general 59
4.4.3.2. Caracterización de la explanada 59
4.4.3.3. Caracterización del tráfico 60
4.4.3.4. Secciones tipo 62

5.- Ejecución de pavimentos flexibles 65

5.1. Preparación de la explanada 65
5.2. Extendido y compactación de la sub-base 65
5.3. Extendido y compactación de la base 66
5.4. Ejecución de los bordes de confinamiento 69
5.5. Extendido y nivelación de la capa de arena 70
5.6. Colocación de los adoquines cerámicos 71
5.7. Llenado de juntas y compactado 76

6.- Ejecución de pavimentos rígidos. 79

6.1. Preparación de la explanada 79
6.2. Extendido y compactación de la sub-base 79
6.3. Ejecución de la base 79
6.4. Extendido de la capa de mortero 80
6.5. Colocación de los adoquines cerámicos 80
6.6. Relleno de las juntas y limpieza 81

7.- Mantenimiento y reutilización de los adoquines cerámicos. 83

7.1. Mantenimiento 83
7.2. Reutilización 86

8.- Controles de calidad. 89

8.1. Ensayos iniciales de tipo 89
8.2. Control de la producción en fábrica. 90
8.3. Marcado CE 91

ANEXOS: 95

Anexo 1: Resumen de las recomendaciones de uso del adoquín cerámico 95
Anexo 2: Ejemplos de tipos de aparejo 99

BIBLIOGRAFIA 102

1.- Terminología

En este apartado se definen una serie de conceptos a los que se hace referencia en el desarrollo del manual.

Adoquines cerámicos: Elementos utilizados en la superficie de pavimentos y fabricados preferentemente a partir de arcilla y de otros materiales arcillosos, con o sin aditivos, mediante modelado, secado y cocción a una temperatura suficientemente alta para formar un producto cerámico duradero, que cumplen las especificaciones establecidas en cuanto a forma y dimensiones (véanse los apartados 2.1.1. y 2.1.2.).
Accesorios: Elementos de formas especiales destinados a cumplir una función concreta en el pavimento acabado.
Aparejo: Forma o modo en que quedan colocados los adoquines cerámicos. Nombre con el que se denominan las diferentes maneras de colocar los adoquines cerámicos en la construcción de pavimentos.
Dimensión nominal: Dimensión declarada por el fabricante con la cual debe ser conforme la dimensión real, con las tolerancias admitidas.
Macadam: Pavimento de piedra machacada y arena, compactada mediante rodillo o rulo y trabada mediante un aglutinante. Generalmente se usa para calzadas.
Pavimento: Parte superior de un firme, que debe resistir los esfuerzos producidos en su superficie, proporcionando una superficie cómoda y segura.
Pavimento flexible: Pavimento consistente en la colocación de piezas resistentes sobre una cama de arena gruesa, precompactada sin aglomerantes y relleno posterior de las juntas con arena de menor diámetro y compactación del conjunto.
Pavimento rígido: Pavimento colocado con junta de mortero sobre un lecho de mortero similar, éste último colocado a su vez sobre una base rígida.
Pico espaciador: Pequeño perfil sobresaliente de la cara lateral del adoquín.
Bisel: Arista redondeada o biselada del adoquín.
Cara vista: Superficie que queda visible una vez colocado el adoquín.
Longitud total[1] **(l):** El lado mayor del rectángulo con la menor superficie capaz de abarcar el adoquín, excluido cualquier pico espaciador (ver figuras 1 y 2).
Anchura total[1] **(a):** El lado menor del rectángulo con la menor superficie capaz de abarcar el adoquín, excluido cualquier pico espaciador (ver figuras 1 y 2).
Espesor total (e): Distancia entre la cara vista superior del adoquín y su cara opuesta (ver figuras 1 y 2).

1 El pico espaciador no contabiliza en estas dimensiones dado que sólo está pensado para su acoplamiento en las juntas.

Rígola: Franja de adoquines que se coloca en un firme, junto al encintado, para servir de caz a las aguas pluviales.
Trabazón: Se emplea para indicar un buen enlace del conjunto de adoquines que forman el pavimento, capaz de evitar su posible separación bajo cargas anormales o no previstas.
Zahorra: Mezcla de arena y grava.
Indice CBR: Relación (expresada en %) entre la presión necesaria para que el pistón, en el ensayo CBR, penetre en el suelo hasta una cierta profundidad y la presión correspondiente a la misma penetración en una muestra patrón de grava machacada.

2.- Adoquín cerámico

2.1. Descripción

2.1.1. Forma

Los adoquines cerámicos tendrán cualquier forma que permita su fácil colocación en plantilla repetida, normalmente serán rectangulares.

Como se aprecia en las figuras 1 y 2 pueden presentar un bisel en una o en varias de sus aristas de la cara vista (formando la superficie vista).

Para pavimentos flexibles, se pueden suministrar adoquines con picos espaciadores en una o más de sus caras, las cuales siempre estarán en posición vertical en el momento de su utilización (figura 1).

Para pavimentación rígida, los adoquines no deberán tener picos espaciadores, debiendo ser rectangulares o de otras formas que permitan su colocación en combinación con otros, separados por una junta de mortero de 10 mm nominales (figura 2).

Figura 1
Adoquín con pico espaciador

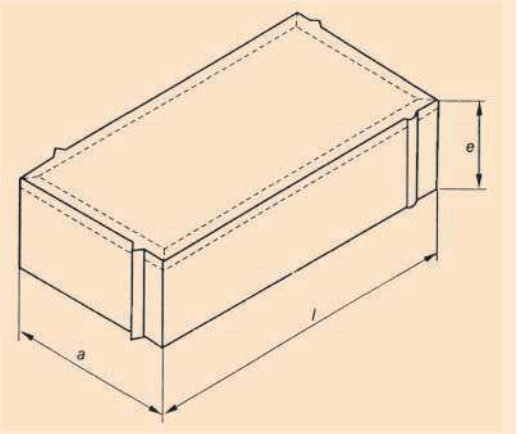
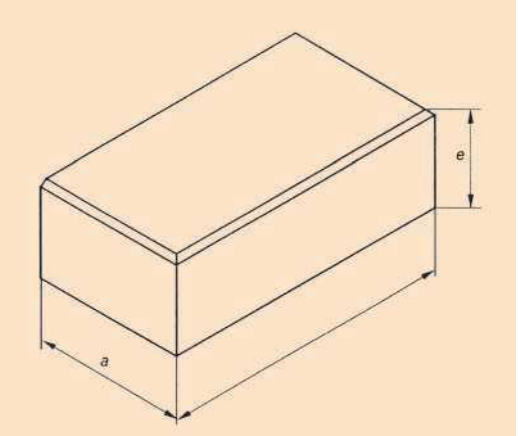


Figura 2
Adoquín sin pico espaciador



2.1.2. Dimensiones nominales

Para pavimentos flexibles, el espesor nominal de la pieza no deberá ser inferior a 40 mm y las dimensiones nominales serán tales que la relación entre longitud y anchura totales no sea superior a 6.

Para pavimentos rígidos el espesor de la pieza no será inferior a 30 mm.

Si la pieza contara con biseles en una o en varias de las aristas de la cara vista con dimensiones mayores de 7 mm en anchura o profundidad, el fabricante deberá notificarlo. Esta limitación en el tamaño del bisel evita la formación de juntas excesivamente anchas.

2.1.3. Tolerancias dimensionales

Las especificaciones de las tolerancias dimensionales no se aplican para las piezas especiales (accesorios).

- Valor medio

Para una determinada dimensión, el valor medio de una muestra de 10 piezas no deberá desviarse de la dimensión nominal declarada por el fabricante en más de $0{,}4 \cdot \sqrt{d}$, redondeado al mm más cercano, siendo d la dimensión nominal expresada en mm.

- Rango

El fabricante hará referencia a una de las dos clases de la tabla 1 para señalar la diferencia entre la medida mayor y menor de cualquier dimensión de la muestra de 10 adoquines.

Tabla 1 - Rango dimensional

Clase	Rango (no mayor de) mm
RO	Sin determinar
R1	$0{,}6 \cdot \sqrt{d}$

Nota: La toma de muestras y el procedimiento para la determinación de las dimensiones se encuentran descritas en el anexo A y B de la norma UNE EN 1344:2002, respectivamente.

2.1.4. Aspecto

Los adoquines cerámicos permiten conseguir los más altos niveles de belleza estética y armonía con el entorno, gracias a la amplia gama de colores y texturas típicas de los productos de arcilla cocida.

Son coloreados de tal manera que resultan inalterables con el paso del tiempo, y su colocación puede ser muy variable permitiendo en algunos casos que el suelo a tratar no tenga que ser definitivo, la sustitución de las piezas es sencilla y por ello, las posibilidades de cambio de la fisonomía ambiental son totales.

2.2. Características técnicas

Las características exigibles y métodos de ensayo de los adoquines cerámicos son fijados en la norma europea EN 1344 (que ha recibido el rango de norma española mediante la publicación de la versión oficial en español de la norma UNE EN 1344 de marzo de 2002).

A continuación, se describen los requisitos esenciales que recoge la citada norma.

2.2.1. Resistencia al hielo/deshielo

Se deberá declarar si los adoquines están diseñados para cumplir los criterios de resistencia de hielo/deshielo según el método de ensayo indicado en la norma UNE EN 1344.

La norma establece un marcado propio para la clasificación de los adoquines de arcilla cocida (Tabla 2).

Tabla 2 - Clases de adoquines según su resistencia hielo/deshielo

Clase	Marca	Clasificación
F0	F0	Sin determinar
FP100	FP100	Resistente al hielo/deshielo

Nota.- La sal utilizada para eliminar el hielo de la pavimentación no influye en las características de la clase FP100 referentes al hielo/deshielo de los adoquines.

2.2.2.- Resistencia a la rotura transversal

Se debe indicar la carga de rotura transversal de los adoquines cerámicos en cada una de las direcciones en las que se puedan colocar , clasificándoles de acuerdo a la tabla 3.

Tabla 3 - Carga de rotura transversal		
Clase	**Carga de rotura transversal nunca menor de (N/mm)**	
	Valor medio	**Valor mínimo individual**
T0	No se consigna	No se consigna
T1	30	15
T2	30	24
T3	80	50
T4	80	64

Esta especificación para carga de rotura transversal no se aplica a los accesorios ni a los adoquines cerámicos accesorios cuya longitud total sea inferior a 80 mm.

La clase T0 sólo está indicada para adoquines empleados en pavimentación rígida.

El fabricante puede declarar un valor medio y un valor mínimo individual más alto que el correspondiente a la clase T4.

2.2.3. Resistencia a la abrasión

La resistencia a la abrasión de los adoquines cerámicos se indicará por referencia a una de las clases indicadas en la tabla 4.

Tabla 4 - Resistencia a la abrasión	
Clase	**Valor medio del volumen erosionado (nunca superior a) mm3**
A1	2 100
A2	1 100
A3	450

2.2.4. Resistencia al deslizamiento/derrape

Los adoquines cerámicos tienen en condiciones normales una resistencia al deslizamiento/derrape satisfactoria siempre que la cara vista no haya sido pulida ni/o abrillantada, o se haya producido una superficie excesivamente lisa durante la fabricación.

En condiciones normales de mantenimiento la durabilidad de la resistencia al deslizamiento/derrape de los adoquines es satisfactoria siempre que en la vida útil de los adoquines no hayan sido sometidos a un proceso de pulido o abrillantado.

Cuando exista un requisito para la durabilidad de la resistencia al deslizamiento/derrape, se deberá determinar según lo especificado en la norma o en cualquier especificación técnica válida en el país de uso del producto.

Si en algún caso excepcional fuese necesario indicar un valor de la resistencia al deslizamiento/derrape sin pulido (USRV), se determinará por referencia a una de las cuatro clases mostradas en la tabla 5.

Tabla 5 - Clasificación del valor de la resistencia al deslizamiento/derrape sin pulido (USRV)

Clase	Media de USRV
U0	Sin determinar
U1	35
U2	45
U3	55

2.2.5. Comportamiento frente al fuego

Los adoquines cerámicos son "Clase A1" en reacción al fuego sin necesidad de ensayo. Se considera que los adoquines cerámicos usados como cubiertas de tejados cumplen las exigencias para su uso en situaciones de fuego exterior sin necesidad de ensayo.

2.2.6. Emisión de asbesto

Los adoquines cerámicos no deben contener materiales de asbesto.

2.2.7. Emisión de formaldehído

Los adoquines cerámicos no deben contener formaldehído. Después de la fabricación, cualquier tratamiento superficial que se aplique no contendrá formaldehído ni lo desprenderá en valores superiores a los niveles de seguridad.

2.2.8. Conductividad térmica

Si los adoquines cerámicos se utilizan en interiores y, en caso necesario, se deben usar los datos de diseño de conductividad térmica de la norma EN 1745.

2.2.9. Resistencia a los ácidos

Cuando se requiera una especificación sobre resistencia al ataque de ácidos (como en el caso de aplicaciones en patios de bodegas o de granjas agrícolas y ganaderas, industrias químicas o de alimentación que utilicen sustancias agresivas, etc.) el porcentaje de pérdida de masa de una muestra de cinco adoquines no deberá ser superior al 7%. Aquellos adoquines que cumplan este requisito podrán ser considerados "Clase C".

Sin embargo, en la mayoría de las aplicaciones, la resistencia inherente a los ácidos del adoquín cerámico es satisfactoria y, por lo tanto, no requiere especificación alguna.

2.3. Métodos de ensayo

Los métodos de ensayo para determinar la resistencia al hielo/deshielo, la resistencia a la rotura transversal, la resistencia a la abrasión, la resistencia al deslizamiento/derrape y la resistencia a los ácidos de los adoquines cerámicos vienen descritos en la norma UNE EN 1344.

2.4. Ventajas de los pavimentos con adoquín cerámico

A continuación se indican las principales ventajas que poseen los pavimentos realizados con adoquín cerámico.

- Durabilidad y permanencia del color

La durabilidad y permanencia del color es, sin duda, una de las mayores ventajas que aporta la construcción de pavimentos con adoquín cerámico y una de las más significativas razones para proyectar con dicho material[2].



2 Ver apartado 4.1. Criterios de diseño.

A diferencia de otros productos el adoquín cerámico mantiene inalterables en el tiempo su gama amplia de colores lo que le confiere una gran belleza natural (como elemento cerámico) y duradera.

- Posibilidades expresivas



La variada gama de colores cálidos y las múltiples combinaciones en planta[3] que admiten los adoquines cerámicos ofrecen una perfecta combinación entre técnica y estética, quedando limitadas exclusivamente a la imaginación del proyectista las posibilidades expresivas con este tipo de pavimento.

- Cualidades físicas

Otra de las grandes virtudes del adoquín cerámico radica en sus cualidades físicas.

Dichas cualidades le hacen resistir la acción de las heladas y los ambientes donde la contaminación, las lluvias ácidas y el resto de agentes agresivos acabarían con otros materiales.

Los pavimentos con adoquines cerámicos no se deforman con la acción de temperaturas altas en verano.

La resistencia a compresión de los adoquines cerámicos sólo puede ser comparable a los de piedra natural. Además su elevada resistencia al desgaste, su dureza frente al rayado y su excepcional resistencia a la flexotracción, les permite obtener mejores resultados que otros adoquines de grueso muy superior, lo que se traduce en un menor peso de la pieza y un mayor rendimiento en su colocación.

Esta gran resistencia mecánica de los adoquines cerámicos les permite resistir cargas puntuales importantes que en otros tipos de firme provocarían indentaciones o punzonamientos.

3 Ver apartado 4.1.3.4. Formaciones de pavimentos. Tipos de aparejo.

- Mantenimiento económico

Bajo la acción agresiva del ambiente exterior y de las cargas actuantes, cualquier pavimentación requiere unos niveles mínimos de mantenimiento con el fin de asegurar la calidad impuesta a estas superficies.

En concreto, en un pavimento flexible de adoquines, la conservación se reduce a eliminar posible vegetación que pueda producirse en las juntas, y rellenar éstas cada vez que la acción erosiva del ambiente así lo exija.

- Facilidad en las reparaciones

Existe la posibilidad en los pavimentos flexibles adoquinados de levantamiento de las piezas sin provocar deterioros en los mismos, caso por ejemplo de que sea necesario reparar algún servicio urbano.

Por tanto, en los pavimentos de aceras, plazas, patios, etc, la característica de reutilización de los adoquines es muy válida, ya que en estos emplazamientos debe contarse siempre con posteriores trabajos en el subsuelo, como red de gas, eléctrica, de alcantarillado, etc, pudiendo volverse a utilizar los adoquines cerámicos cuando y cuantas veces sea necesario.

También es apropiado el uso de adoquinado para terrenos con gran inestabilidad, en los que deben efectuarse alguna corrección de regularidad de superficies debido a asientos localizados.

Una vez concluida la reparación del pavimento, ésta no se aprecia.

- Facilidad de ejecución

La facilidad de ejecución queda evidenciada por el empleo incluso de personal no especialista haciendo uso de herramientas manuales.

Además, otra ventaja es que inmediatamente después de haber terminado el adoquinado[4] se puede utilizar, tanto para tráfico pesado como para tráfico peatonal.

La temperatura ambiente durante la ejecución no afecta al pavimento con adoquín cerámico, lo que evita esperas innecesarias durante la ejecución.

4 Para adoquinado en pavimentación flexible.

- Vida útil

Se considera para pavimentación con adoquín cerámico una vida útil superior a 30 años, siendo ésta muy superior a la de otros pavimentos.

- Costes

Considerando las ventajas antes mencionadas: bajo mantenimiento, mano de obra y herramientas de bajo coste, elevado valor residual por la posibilidad de reutilización de los adoquines, período de vida útil, etc, se obtiene un pavimento óptimo desde el punto de vista coste-rendimiento, superior a otros tipos de pavimentación.

Todos estos aspectos hacen del adoquín cerámico un producto excelente para proyectar los pavimentos de cualquier tipo de espacio.

2.5. Ambito de aplicación

Las innumerables aplicaciones en las que puede estar presente el adoquín cerámico comprenden una variada gama de posibilidades.

A lo largo del presente apartado se pretende dar una visión general de las posibilidades de aplicación con el adoquín cerámico.

A continuación, se establecen diversos ámbitos de aplicación contenidos en tipologías de áreas funcionalmente distintas.

2.5.1. Areas peatonales

Dentro de este epígrafe existe un abanico muy amplio de aplicaciones, como es el caso de:

- aceras



- paseos



- plazas públicas



- jardines



- accesos a viviendas



- patios interiores y exteriores de edificios



- accesos varios para vehículos de emergencias o de servicios municipales...

Son muy aconsejables las superficies exteriores realizadas con adoquín cerámico debido a sus altas prestaciones estéticas, mecánicas y su seguridad frente al deslizamiento, aún en condiciones climáticas adversas.

Se adapta con enorme facilidad, gracias a sus dimensiones y forma de colocación, a las mas diversas tipologías superficiales existentes y, además, la diversidad de colores puede ayudar a la determinación y caracterización de espacios propios dentro de plazas, paseos, entre otros, llegando incluso a marcar la posición de los servicios municipales que existen en el subsuelo (conducción eléctrica, alcantarillado, saneamiento, etc.). También quedan de manifiesto para este tipo de aplicaciones las ventajas en la reutilización del adoquín en caso de levantamiento del pavimento por renovación o sustitución de servicios.

2.5.2. Areas sometidas a tráfico rodado

Al igual que en el apartado anterior, las posibilidades de utilización del adoquín cerámico empleado en pavimentación sometida a tráfico rodado es muy amplia, abarcando por ejemplo el uso en:

- vías urbanas



- travesías



- terminales de autobús



- áreas residenciales



- mercados
- vías rurales, ...

Los pavimentos de adoquín cerámico usados en vías urbanas constituyen actualmente la mejor alternativa. Sus ventajas, respecto a otros pavimentos, son apreciables: facilidad de colocación y mantenimiento mínimo, posibilidad de reutilización, posibilidad de señalización permanente de pasos de peatones, amplia configuración en el diseño de superficies,...

En áreas residenciales se valora positivamente el uso inmediato del pavimento de adoquín cerámico después de su ejecución, su bajo coste de mantenimiento y la posibilidad de reutilización.

Otra de sus ventajosas aplicaciones se encuentra en **áreas sometidas a tráfico y tareas pesadas.**

Es el caso típico de:

- áreas industriales
- naves industriales con desplazamiento de tráfico pesado y poca velocidad
- almacenes
- áreas de carga y descarga
- zonas portuarias
- aeropuertos, ...

En este tipo de áreas resaltan las propiedades del pavimento con adoquín cerámico para resistir cargas concentradas o cargas debidas a ruedas muy pesadas, caso de camiones con remolque, grúas, etc.

2.5.3. Areas con ambiente agresivo

El pavimento con adoquín cerámico es idóneo gracias a su resistencia a los ácidos para superficies fijas en ambiente agresivo, tales como:

- fábricas químicas, así como zonas industriales en las que se producen o almacenan materiales agresivos
- estaciones de servicio, garajes y depósitos de vehículos
- áreas de carga y descarga (prevención de contaminación por pérdida de carga, posibilidad de reparaciones y limpieza de vehículos)
- industrias agrícolas en las que hay jugos de fermentación o filtraciones de elevada agresividad, ...

2.5.4. Otras aplicaciones

También puede utilizarse el adoquín cerámico en aplicaciones especiales, como:

- protección de taludes
- edificios (sobre forjados y cubiertas planas)
- pistas de bicicletas (y carriles bici)
- estructuras hidráulicas (revestimiento de canales, protección de zonas costeras)
- áreas arquitectónicas, ...





Para uso en forjados, los adoquines cerámicos se colocarán bien sobre una capa de arena de 3 a 5 cm de espesor o sobre una capa adhesiva (cemento cola).

Para uso en cubiertas planas, los adoquines cerámicos se colocarán sobre una capa de arena de 3 a 5 cm de espesor, situando entre los adoquines y el forjado de cubierta un aislante rígido (opcional) y una membrana impermeabilizante. Como alternativa se puede colocar una capa de zahorra natural bien graduada como capa drenante. En este caso se podría dejar las juntas entre adoquines abiertas y sin sellar, de manera que se facilite el drenaje de la cubierta.

También destaca el uso del adoquín cerámico en áreas diseñadas para realzar y armonizar conjuntos arquitectónicos de singular estética.

3. Proceso de fabricación y suministro

Son bastantes las arcillas en España que permiten alcanzar fácilmente las exigencias de la norma y muchas de ellas sobrepasarlas ampliamente.

Salvo piezas muy especiales, la inmensa mayoría de formatos del adoquín cerámico se consiguen a través de extrusión y corte con o sin biselado, en algunos casos se deben incluir un proceso de troquelado para determinados formatos.

Como sucede con los otros productos de arcilla cocida, la fase principal de todo el proceso es la cocción, siendo uno de los requisitos básicos la adecuada selección de la materia prima.

A continuación se expone, a modo de ejemplo, las principales fases del proceso de fabricación de los adoquines cerámicos, pudiendo variar enormemente de una instalación a otra dicho proceso.

3.1. Materia prima

La utilización de materias primas de alta calidad, garantiza la calidad del producto final, que se obtendrá aplicando los parámetros de cocción adecuados. Sólo los formatos correctamente acabados y sus coloraciones están relacionados con otras zonas de la fabricación como puedan ser la molturación y dosificación conjuntamente con el extrusionado, corte y biselado o troquelado posterior.

Se añade solamente a la fase de molturación la posibilidad o necesidad en la gran mayoría de los casos de mezclar chamotas, con el fin de regular el comportamiento de las arcillas y conseguir estabilizar los parámetros finales de calidad, facilitando los procesos de secado y cocción.

Es de destacar la necesidad de molturación a través de vía seca, la mezcla de chamota en los porcentajes convenientes, y la necesaria disponibilidad de una dosificación correcta con el fin de facilitar la mezcla de los diferentes aditivos o colorantes en masa.

Un amasado de los componentes correcto, y una extrusión alrededor del 18% de humedad como máximo, con vapor, completan todo el proceso inicial que permite la consecución de un adoquín de arcilla cocida en condiciones perfectas para el corte y biselado.

3.2. Secado

Normalmente, se utilizan secaderos de cámaras para este proceso, aunque en ningún momento pueda descartarse el secadero semicontinuo o continuo. La elección entre los dos tipos de secadero dependerá únicamente de la cantidad de formatos a comercializar y de la necesaria flexibilidad de la instalación, en ningún caso de la dificultad del secado, ya que ambos sistemas de secadero permiten adaptar elementos que facilitan la consecución de una curva correcta y concreta para las necesidades de cada arcilla.

Los ciclos totales de secado de los adoquines de arcilla cocida acostumbran a ser de 36 horas, aunque existen arcillas que pueden hacerlo en 24 horas con una correcta instalación y control de la curva.

El secado es una de las partes más complicadas en la fabricación del adoquín cerámico, aunque con la instalación adecuada se consigue un proceso correcto y sin mayores problemas. En cualquier caso se debe tener en cuenta que la carga de la pieza en secadero se efectuará sobre bandejas.

3.3. Apilado sobre vagoneta

El porcentaje más alto de la producción de adoquín cerámico se carga de canto, ya que a diferencia de otros productos de arcilla cocida, la única cara vista es la superior o plana (cara biselada), pero también se puede encañar cara contra cara y, por lo tanto, con la pieza plana donde las caras vistas entran en contacto. La más o menos intensa reducción que se produce en esta zona de contacto permite conseguir tonalidades y distribuciones de colores muy aptos para su comercialización.

Elemento importante en la carga o distribución de un paquete sobre vagoneta es el paso de gases por la base del mismo, debiendo procurar como norma que las piezas soporte del paquete tengan una sección de paso de gases comparable, o algo superior, con el resto de secciones libres existentes entre paquete y bóveda así como con los muros del horno.

3.4. Cocción

Un aspecto básico es la humedad de entrada de la pieza al horno, ya que se trata de un producto con un formato de espesores considerables y totalmente macizo, por lo que se tendría que conseguir que no fuera superior al 1%. Además hay que tener en cuenta que mientras existe eva-

poración de agua no se inicia la entrada de calor a la pieza y, por lo tanto, una alta humedad representa una pérdida de tiempo en el ciclo de la cocción.

También la altura del horno menor de un metro permite la obtención de una igualdad de precalentamiento en altura.

La cocción propiamente dicha depende también del combustible a emplear. El gas es fácil de manejar y de regular, aunque un sistema de combustión mixta (por ejemplo, gas y fuel) facilitará conseguir diferentes tipos de atmósferas.

3.5. Suministro

Los adoquines de arcilla cocida deben ir identificados de acuerdo a lo establecido en la norma UNE EN 1344, acompañando los datos básicos siguientes en el suministro:

- Identificación del fabricante y del producto.
- Referencia a la norma.
- Uso previsto del adoquín.



4. Proyectos con adoquín cerámico

4.1. Criterios de diseño

4.1.1. Introducción

El diseño de cualquier pavimentación urbana requiere, por parte del proyectista, de un análisis detallado del espacio urbano a considerar y también del entorno donde realiza su intervención.

La belleza y la estabilidad permanente de las áreas pavimentadas dependen fundamentalmente de una adecuada planificación, de la colocación y, también, de la calidad de los materiales empleados.

4.1.2. Criterios estéticos

Considerando los aspectos estéticos del adoquín cerámico, el proyectista dispone de una serie de elementos y recursos con los que conseguir que el espacio proyectado adquiera la funcionalidad para la que ha sido diseñada.

Entre estos elementos cabe destacar:

- Variedad de colores.

- Escala y secuencia de las diversas franjas pavimentadas: aparcamientos, pasos de cebra, carriles de circulación, etc.



Detalle de un paso de cebra

- Tratamiento de los bordes perimetrales y entre los distintos espacios con bordillos, alcorques, etc.



Ejemplo de tratamiento especial de alcorques

- Caracterización geométrica del espacio: aparejos, dibujos, etc.



Variedad de colores y dibujos

- Cambios de rasante mediante rampas o escaleras.





Detalles cambios de rasante mediante escaleras

No se recomienda la introducción de más de dos o tres tipos de materiales en un mismo espacio.

Sin embargo, la correcta combinación de diferentes formatos y aparejos, con el adoquín cerámico como único material, nos puede permitir la obtención de excelentes resultados.

La configuración de superficies con adoquín cerámico[5] es el resultado de la combinación de diferentes muestras y técnicas de colocación. Por ello resulta ventajoso que los adoquines cerámicos se ofrezcan en diferentes formatos y tonalidades de color.

Las tonalidades cerámicas de color obtenidas en la fabricación de los adoquines cerámicos son duraderas durante todo el periodo de vida útil del pavimento.

Otra consideración a tener en cuenta es el efecto estético que produce el empleo de distintas separaciones entre adoquines cerámicos.

Para pavimentación flexible la junta ideal entre adoquines estará comprendida entre 3 y 5 mm, lo que se denomina junta estrecha (figura 3).

Además, existe la posibilidad de colocación de adoquines cerámicos con chaflán (figura 4).

En el caso de pavimentación rígida se recomienda que los adoquines cerámicos sean de cantos sin biselar y separa-

Figura 3

Detalle junta estrecha

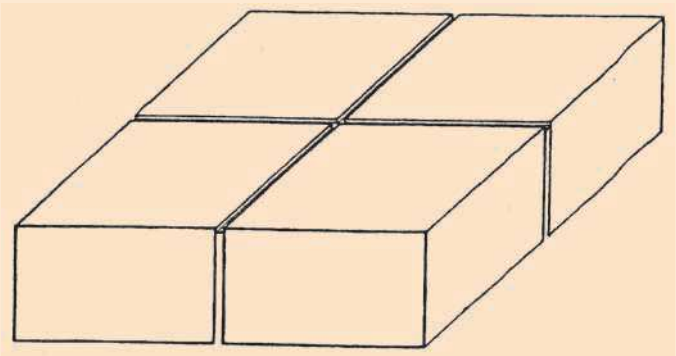
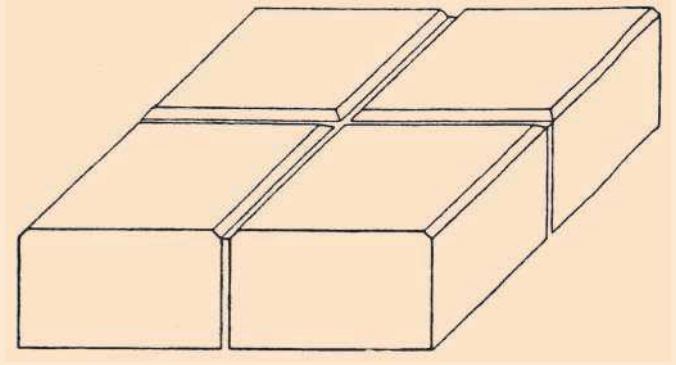


Figura 4

Detalle junta estrecha con chaflán

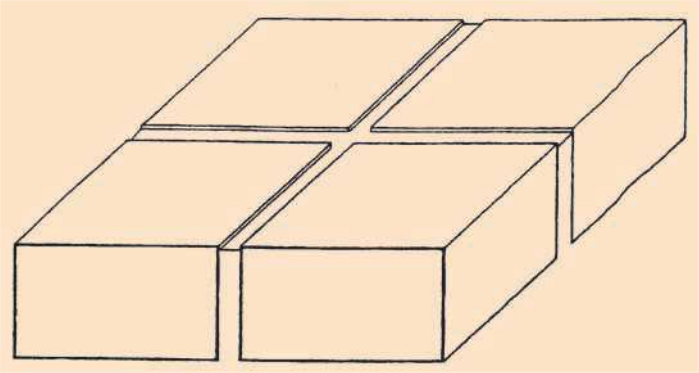


5 Ver apartado 4.1.3. Configuración de superficies.

dos sólo por una junta de mortero de 10 mm (junta ancha), (figura 5).

Figura 5

Detalle junta ancha



Además, los pavimentos de adoquines cerámicos con juntas anchas (8-10 mm) se ofrecen como soluciones arquitectónicas especiales, por ejemplo muestras de colocación en disposiciones circulares y en arco, y en construcciones en las que se salvan diferencias de nivel con diferentes formatos y materiales.

La junta ancha de mortero juega un papel importante en la configuración óptica debido a su elevada proporción del 13 al 18% de la superficie total.

4.1.3. Configuración de superficies

Los proyectistas tienen diferentes recursos para la adecuación de superficies pavimentadas con adoquín cerámico, de entre los cuales destaca la geometría en el diseño de espacios, tanto exteriores como interiores.

El adoquinado cerámico tiene grandes posibilidades expresivas: líneas o bandas de separación de espacios y usos, trama elegida, así como distintas posibilidades de disponer las piezas (aparejo), motivos o dibujos, etc, que permiten una gran variedad en los diseños.

En este apartado se pretende dar al proyectista sugerencias y ayudas para la configuración de las superficies pavimentadas con adoquín cerámico. Las posibilidades expuestas más adelante se limitan a ser sólo un compendio resumido, a título de ejemplo, de las muchas variantes de configuración que se pueden conseguir mediante la combinación de diferentes muestras y técnicas de colocación.

4.1.3.1. Formas de colocación

Los adoquines cerámicos para pavimentos pueden colocarse de canto, es decir con la soga hacia arriba, así como tumbados. También es posible, allí donde se desee por razones de configuración, la alternancia de la colocación de canto o tumbado. De todas formas, se ha de tener en cuenta que el lecho de arena o de mortero, en todos los casos, tiene el espesor requerido de 3 cm hasta un máximo de 5 cm, en estado compactado.

En áreas bajo fuertes sobrecargas y con elevado tránsito, se recomienda sólo una forma de colocación, con el fin de garantizar una transmisión uniforme de las cargas al subsuelo.

En el caso de colocación tumbada se elige principalmente junta estrecha (aprox. 3 mm), raras veces la junta ancha (8-10 mm). Al colocar cuidadosamente el adoquinado manteniendo los anchos de junta, se garantiza también un buen rellenado de las juntas.

En el caso de adoquinados cerámicos con la soga hacia arriba y junta estrecha, se han de tomar medidas especiales de forma que las juntas estén rellenas en toda la altura.

El relleno de juntas tiene una importancia considerable para la acción de unión.

Figuras 6, 7, 8, 9 y 10

Formas de colocación

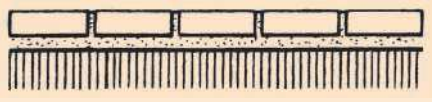


Fig. 6. Disposición tizón en plano con ancho de junta (8-10mm). Idónea para zonas pco sobrecargadas, por eje,plo, jardines o para colocación sobre lecho de mortero.

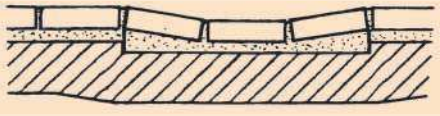


Fig. 7. Ejemplo de pavimentado de un canal. Para la colocación del adoquín en la zona del canal se necesita un lecho de mortero (pendiente 1:3).

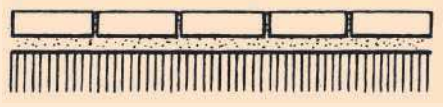


Fig. 8. Disposición tizón en plano con junta estrecha (aprox. 3 mm).

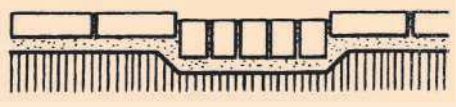


Fig. 9. Alternancia soga de canto - tizón plano, por ejemplo al formar canales se realiza en lecho de mortero sobre hormigón.

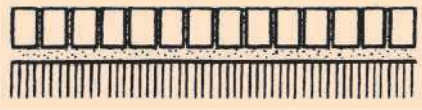


Fig. 10.
Soga de canto.

4.1.3.2. Formación de bordes

Los bordes de las superficies pavimentadas tienen que garantizar una transición bien configurada a las zonas limítrofes, y sirven, ante todo, para el anclaje de las mismas contra deslizamientos laterales.

Si las piedras de bordes se colocan en hormigón, hay que cuidar que la zona del borde no dé lugar a la formación de agua estancada. En caso de que sea necesario, se han de prever conductos para desagüe. La construcción específica de la sujeción del borde es una premisa para la estabilidad del pavimento con el que limita. Por consiguiente, en la mayoría de los casos los bordes se colocan sobre cimentación de hormigón.

El pavimento se coloca con las pendientes hacia el borde.

Figuras 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 y 18

Ejemplos de construcción de borde estándar

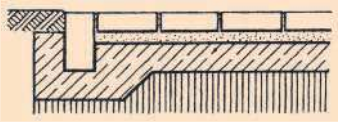


Fig. 11. A haces con la superficie pavimentada. La pendiente va con el borde del pavimento.

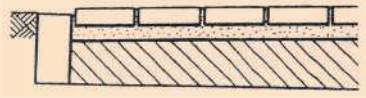


Fig. 12. Borde hundido. Aproximadamente unos 2 cm bajo la superficie del pavimento.

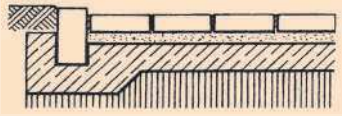


Fig. 13. Borde elevado. Unos 2 cm aprox. sobre la superficie del pavimento.

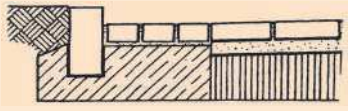


Fig. 14. Borde con mucha altura junto con canal.

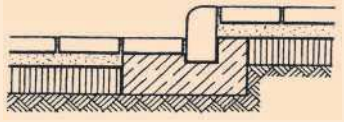


Fig. 15. Borde con adoquín cerámico con forma para bordillo elevado.

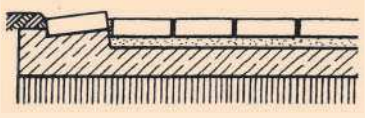


Fig. 16. Borde con adoquín cerámico inclinado.

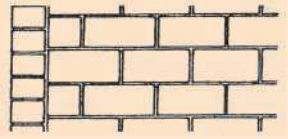


Fig. 17. Vista en planta de las figuras 11, 13 y 15.

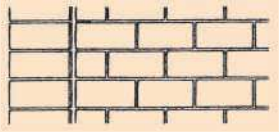


Fig. 18. Vista en planta de la figura 16.

Figuras 19, 20 y 21

Ejemplos de construcción de borde con piedra natural

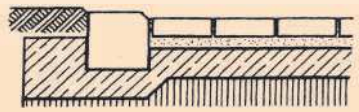


Fig. 19. Borde con piedra natural de 20 x 20 cm aprox. y reducida diferencia de altura.

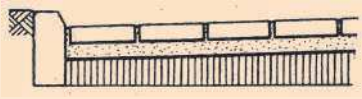


Fig. 20. Borde con piedra natural de canto elevado.

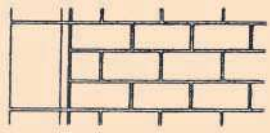


Fig. 21. Vista en planta de la figura 19.

Figuras 22, 23, 24 y 25

Ejemplos de anclajes de bordes de superficies pavimentadas con adoquín cerámico para una reducida sobrecarga de empuje

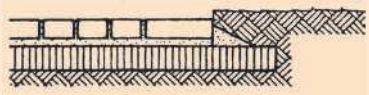


Fig. 22. El adoquín cerámico del borde se sujeta con un listón de mortero. Aplicable sólo con reducida sobrecarga de empuje y capa portante de hormigón, por ejemplo, en jardines.

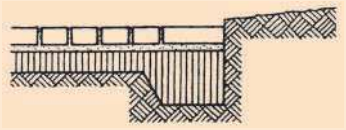


Fig. 23. Colocación en lecho de mortero.

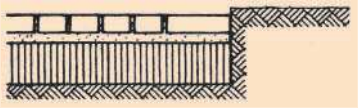


Fig. 24. En adoquinado cerámico colocado en lecho de arena, sin fijación adicional mediante mortero u hormigón, la capa limítrofe del suelo debe absorber el empuje resultante. El suelo limítrofe debe terraplenarse como mínimo 25 m sobre la superficie del adoquinado. Aplicable, por ejemplo, para caminos de jardines no transitables.

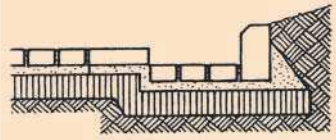


Fig. 25. Borde con canal lateral profundo. Como adoquín cerámico para borde se emplea una forma redondeada, para evitar desprendimientos innecesarios del borde.

Figuras 26, 27 y 28

Formas especiales para construcciones de bordes



Fig. 26. Bordeados con adoquín cerámico como protección de orillas del pavimento. También idóneos en calles para juegos.

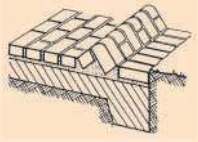


Fig. 27. Empleo de adoquín cerámico con formas para impedir el tráfico en bordes del pavimento.

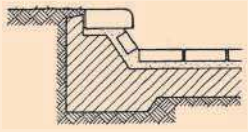


Fig. 28. Formación en artesa de borde de paso, por ejemplo, accesos con zonas laterales limítrofes verdes o taludes. No idóneo como paso de calzada a camino peatonal.

4.1.3.3. Desagües de superficies pavimentadas

El adoquinado cerámico en pavimentación flexible cuenta entre las capas aptas para filtraciones. Esto es importante, sobre todo, desde el punto de vista ecológico, ya que una parte del agua de lluvia va al suelo y se carga menos el canal.

Figuras 29, 30, 31, 32, 33 y 34

Ejemplos de construcción de borde estándar

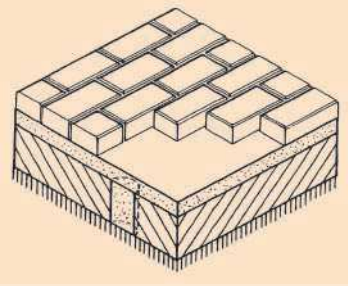


Fig. 29. Evacuaciones de agua mediante aberturas para drenaje a separaciones regulares a través de una capa portante., por ejemplo, capa portante hidráulicamente fraguada, hormigón o asfalto, en estratos permeables al agua o capa portante de grava. Colocación del adoquinado cerámico en lecho de arena.

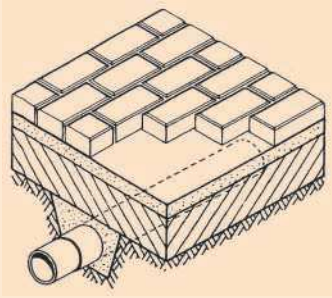


Fig. 30. Empalme a una entrada de desagüe. Para la adaptación deben cortarse con mesa de cortar los adoquines cerámicos según el caso. Además del agua de filtración de la lluvia, otra fluye como agua superficial. Por consiguiente, hay que cuidar que el pavimento se desagüe ordenadamente.

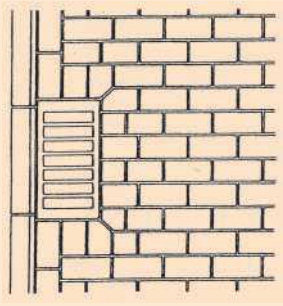


Fig. 31. Formación de un canal de entrada con ayuda de elementos prefabricados para canalizaciones de hormigón y cubierto de tapa de fundición. Colocación del pavimento en lecho de arena sobre capa portante de hormigón. Además de las pendientes necesarias de 2,5 cm/m se ha de prever evacuación del agua, como en el ejemplo de los canales, entradas de agua o drenajes. Este tipo de medida depende del estado o modalidad de las capas portantes, y del subsuelo así como de la forma de colocación.

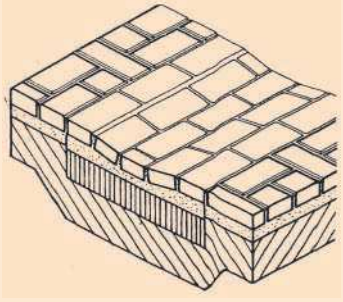


Fig. 32. Desagüe mediante conducción de drenaje por la capa permeable. Colocación del adoquín cerámico en lecho de arena sobre capa de gravilla triturada.

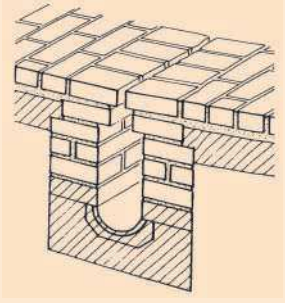


Fig. 33. Formación de canal de entrada mediante una escotadura pequeña de 1,5 cm de ancho como máximo. Colocación del adoquín cerámico en mortero sobre capa portante de hormigón. Se han de prever aberturas para revisión a ciertas distancias.

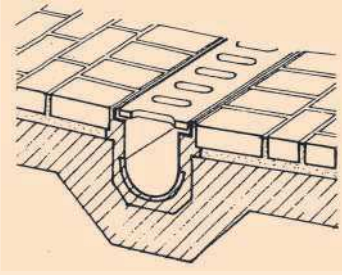


Fig. 34. Formación de canal con adoquín cerámico colocado sobre mortero (pendiente 1:3).

4.1.3.4. Formaciones de pavimentos. Tipos de aparejo

4.1.3.4.1. Formación en hilera

Para adoquines cerámicos cuadrados o rectangulares, la forma clásica o más frecuente de colocación es la formación en hilera o soga. Es fácil de realizar el diseño tras la colocación en la formación. Las formaciones en hilera o soga se colocan fácilmente y no precisan de piezas de ajuste, incluso la colocación en taludes presenta pequeñas dificultades.

Figuras 35 y 36

Formación en hilera

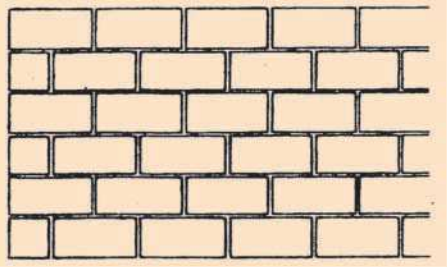


Fig. 35. Media formación. Idónea para calles, debido a la buena acción de ligazón.

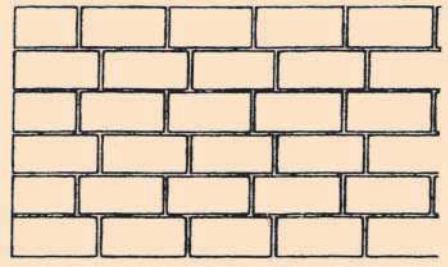


Fig. 36. Formación tres cuartos. Debido a la reducida medida en el solape, la acción de ligazón no es tan grande como en la media formación.

4.1.3.4.2. Formación en espina de pez

Esta formación es idónea para caminos y calles con pendientes (por ejemplo también en entrada de garajes). Resulta especialmente estable, ya que debido al adoquín cerámico dispuesto a 45º tiene muy buena acción de ligazón.

Se consigue con esta formación una adherencia especialmente buena, debido a la repartición uniforme de las longitudes de las juntas al ser la disposición a 45º respecto al eje del camino. Sin embargo, se precisan piezas especiales de adaptación en los bordes del camino, por ejemplo mediante las denominadas mitras de obispo, o bien se han de adaptar los adoquines cerámicos adyacentes a los bordes. En la colocación en forma de espina de pez, según la dirección de la calzada, bastan medios adoquines cerámicos para la adaptación.

Figuras 37, 38, 39, 40 y 41

Formación en espina de pez

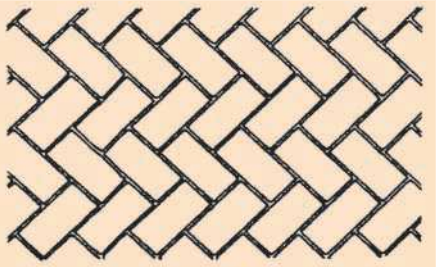


Fig. 37. Formación en espina de pez.

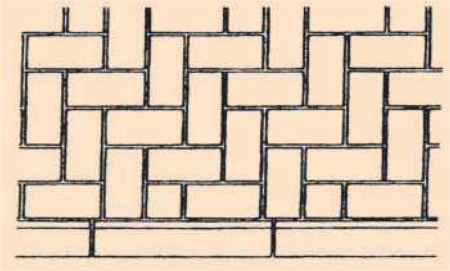


Fig. 38. Formación en espina de pez colocada en sentido de la calzada. Adaptación con medio adoquín cerámico.

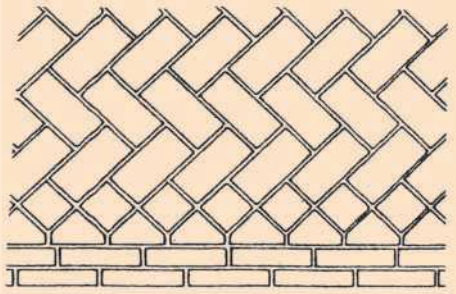


Fig. 39. Formación en espina de pez con mitras de obispo.

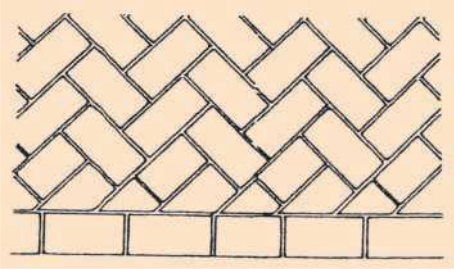


Fig. 40. Empalme de formación en espina de pez con ayuda de adoquines cerámicos cortados en oblicuo y tres cuartos.

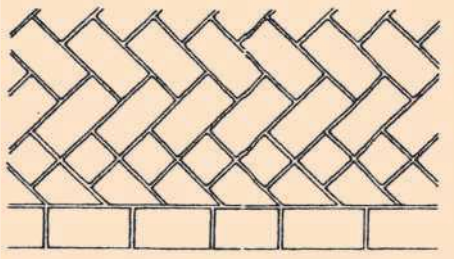


Fig. 41. Empalme de formación en espina de pez con ayuda de medios adoquines cerámicos y cortados.

4.1.3.4.3. Formación en diagonal

Figura 42
Formación en diagonal

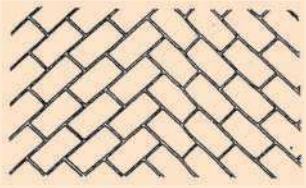


Fig. 42. Disposición en diagonal.

Para la formación en diagonal se aplican las concepciones hechas para la formación en espina de pez.

4.1.3.4.4. Formación en bloques o parqué

Al igual que en el parqué, el adoquín cerámico para pavimento se coloca en pequeños bloques, agrupando dos o tres adoquines, o se disponen alrededor de un adoquín central. De aquí resultan muestras con grandes anchuras en variación. Ya que estas disposiciones sólo tienen una reducida acción de ligazón, se emplean principalmente como disposiciones ornamentales en zonas ajardinadas o terrazas. Si se empleasen en zonas fuertemente sobrecargadas es necesaria una colocación en mortero u hormigón.

Figuras 43, 44, 45, 46, 47 y 48
Formación en bloques o parqué

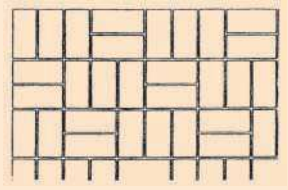


Fig. 43. Alternativamente cada dos o tres adoquines cerámicos en sentido cambiante colocados a tizón (planos).

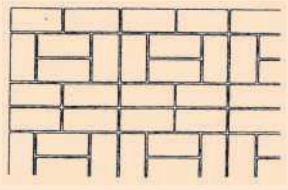


Fig. 44. Formación de pequeños bloques, cada uno de ocho adoquines cerámicos, colocados a tizón, alternando el sentido.

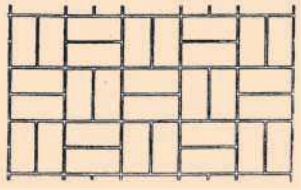


Fig. 45. Colocación a tizón cada dos adoquines cerámicos alternando el sentido.

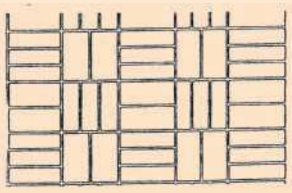


Fig. 46. Disposición alternante a tizón y a soga (de canto) de adoquines cerámicos, con juntas cada dos o tres.

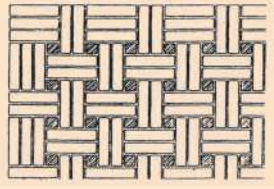


Fig. 47. Disposición trenzada a soga con complementos cuadrados. Idóneo para construcción a dos colores.

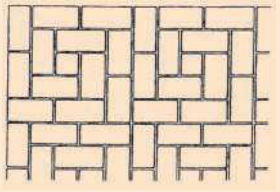


Fig. 48. Disposición de adoquín en medio, a tizón. Formación de pequeños bloques a base de 12 adoquines cerámicos, con medio adoquín en el centro.

4.1.3.4.5. Muestra lineal de colocación

Permite una estructuración estrictamente lineal de las superficies. En la colocación hay que tener en cuenta que el adoquín se ha de colocar exactamente en forma reticulada, con el fin de conseguir líneas rectas en las juntas. Con esta muestra de colocación no pueden disponerse curvas.

Debido a la ausencia de ligazón, estas disposiciones no son recomendables para áreas que separan tráfico.

Figuras 49, 50 y 51

Muestra lineal de colocación

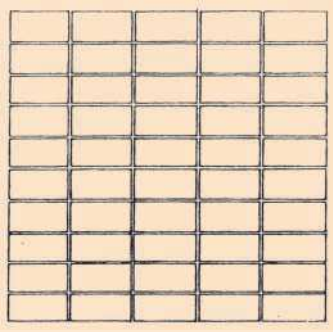


Fig. 49. Muestra lineal empleando adoquines cerámicos rectangulares normales.

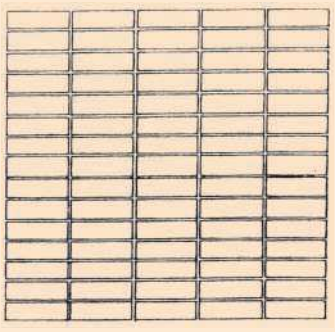


Fig. 50. Muestra lineal con adoquines cerámicos colocados a soga (de canto) o con hileras de adoquín cerámico.

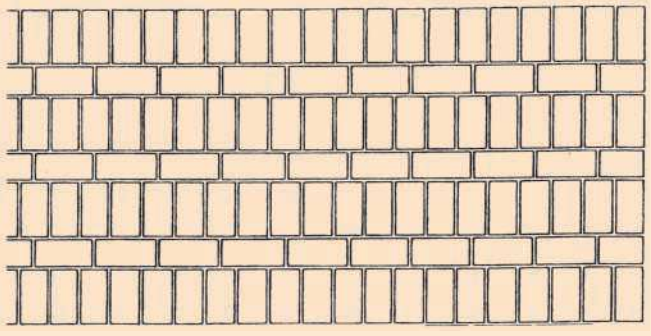


Fig. 51. Muestra dispuesta linealmente con orientación alternante.

4.1.3.5. Ejemplos de configuración para diferentes tipos de colocación

Figuras 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61 y 62

Ejemplos de configuración para diferentes tipos de colocación

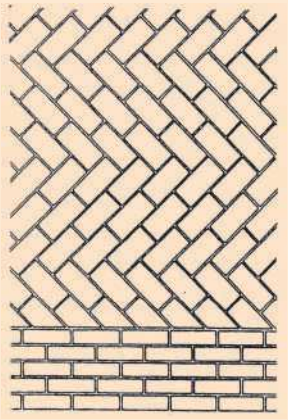


Fig. 52. Variaciones a la disposición en espina de pez con adoquines cerámicos a soga en los bordes.

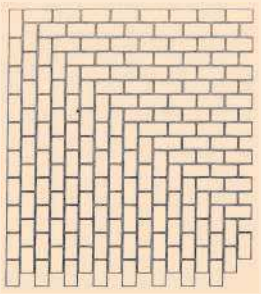


Fig. 53. Pavimentación de un área en ángulo recto.

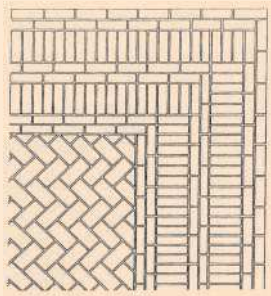


Fig. 54. Formación de borde para una superficie con disposición en espina de pez.

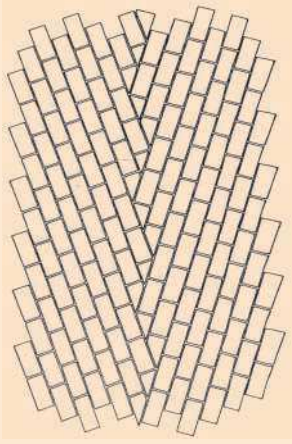


Fig. 57. Pavimentación de una zona en cuña.

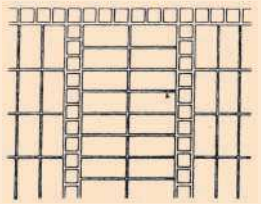


Fig. 55. Pavimentación en áreas rompiendo configuración, con disposición en espina de pez. Angulo de rotura 45º.

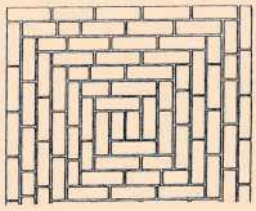


Fig. 56. Formación en cuadrado con disposición central en adoquines cerámicos colocados a soga.

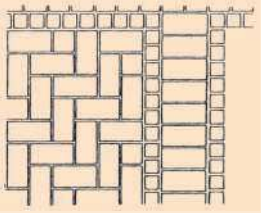


Fig. 58. Combinación con bordillos configurados ornamentalmente.

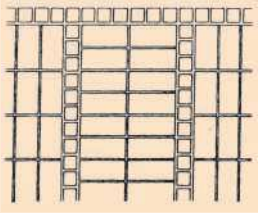


Fig. 59. Adoquín cerámico en pavimento con diferentes formatos combinados.

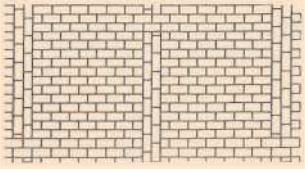


Fig. 60. Estructura de áreas con diferentes bordillos de color.

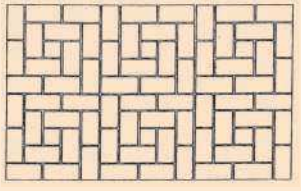


Fig. 61. Muestra de trenzado con disposición de medio adoquín central.

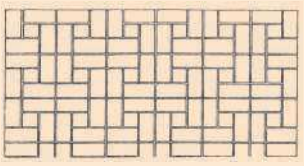


Fig. 62. Colocación con medio adoquín junto con cuadrados ordenados por fila.

4.1.3.6. Ejemplos de configuración empleando formatos cuadrados de adoquín cerámico y pavimento de mosaico

Además de los formatos longitudinales empleados principalmente, se adoptan también formatos cuadrados para la pavimentación de áreas y distribuciones. Por ejemplo, las medidas de la cuadrícula de 200 mm aseguran que pueden colocarse juntos formatos diferentes. En la colocación hay que tener en cuenta que en lo posible los adoquines cerámicos de formatos diferentes presenten el mismo espesor.

Figuras 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69 y 70

Ejemplos de configuración empleando formatos cuadrados de adoquín cerámico y pavimento de mosaico

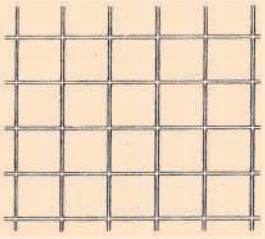


Fig. 63. Formatos cuadrados.

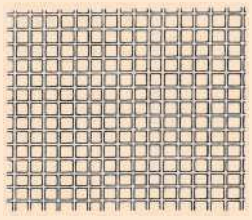


Fig. 64. Pavimento de mosaico de 100 x 100 mm como superficie colocada. Sobre todo apto para las áreas más pequeñas.

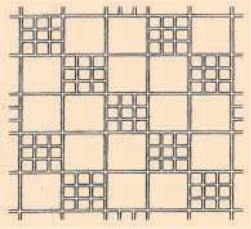


Fig. 65. Formato cuadrado alternando con pavimento mosaico.

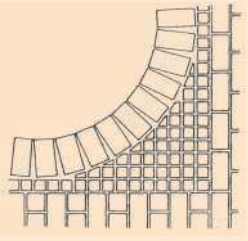


Fig. 66. Adaptación a una forma redonda con ayuda de pavimento de mosaico.

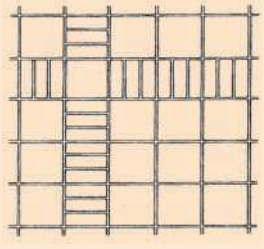


Fig. 67. Formato cuadrado con bordillos de adoquines cerámicos colocados a soga.

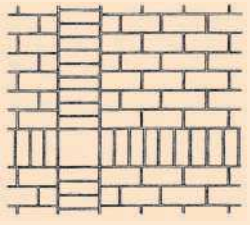


Fig. 68. Formato cuadrado en nudos de bordillos de adoquín cerámico.

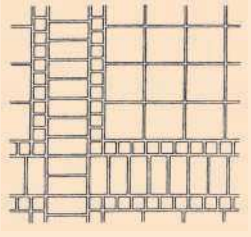


Fig. 69. Area de pavimento configurada ornamental empleando tres formatos diferentes.

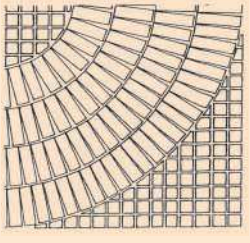


Fig. 70. Adaptación de áreas pavimentadas a formas redondas con ayuda de pavimento de mosaico.

4.1.3.7. Empalmes de adoquinados a alcorques, tapas de arquetas (canaletas), etc

Figuras 71, 72 y 73

Empalmes de adoquinados a alcorques, tapas de arquetas (canaletas), etc

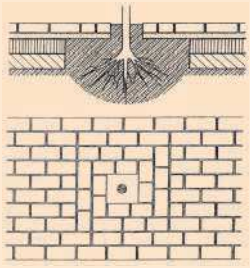


Fig. 71. Formación de un alcorque pequeño. Al crecer el árbol puede sacarse primero un anillo y luego otro. Estos anillos se colocan en lecho de arena, que asientan directamente sobre el terreno sobrepuesto.

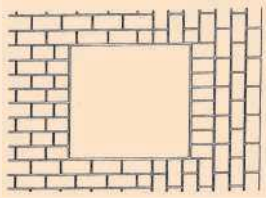


Fig. 72. Empalme con un gran alcorque.

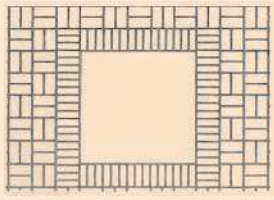


Fig. 73. Artesa para plantas con muro sobresaliendo del pavimento. Se recomienda prever en los interiores de la artesa una barrera contra humedades, con el fin de evitar la aparición de eflorescencias hacia el exterior.

4.1.3.8. Arcos y formas circulares pavimentadas

Figuras 74, 75, 76 y 77

Arcos y formas circulares pavimentadas

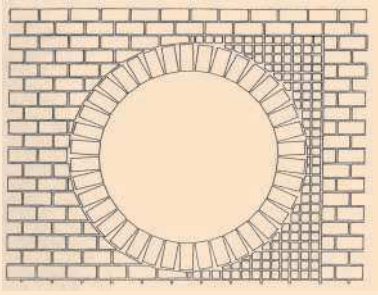


Fig. 74. Adaptación de pavimento rectangular a una forma circular, constituida por adoquines cerámicos iguales, como los empleados en las superficies (juntas en cuña). La conexión a la superficie es posible mediante la adaptación del adoquín cerámico cortado en mesa, o empleando pavimento de mosaico.

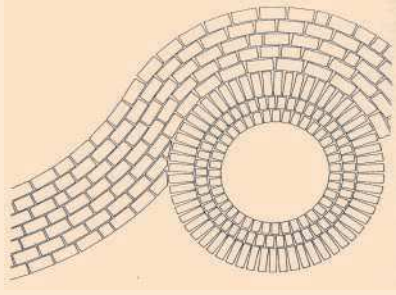


Fig. 75. Adoquines cerámicos colocados formando curvas de transición a una forma circular. La colocación en forma curva de adoquines cerámicos rectangulares condiciona juntas en cuña en las partes redondas. No deben elegirse radios cortos. En la forma redonda alternan los adoquines cerámicos colocados a soga con los de tizón.

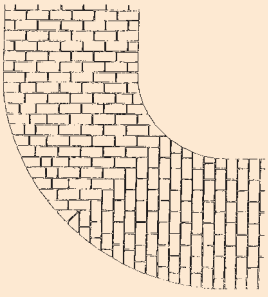


Fig. 76. Arco pavimentado con adoquines cerámicos rectangulares. Los adoquines de borde se cortan al ajuste. Idóneo para caminos de jardines y aparcamiento, o peatonales con sobrecarga de vehículos.

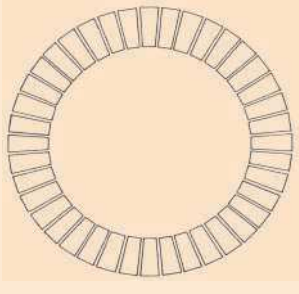


Fig. 77. Arco pavimentado con adoquines cerámicos colocados a soga, o con pavimento a tizón.

4.1.3.9. Esquinas pavimentadas de viales

Los ejemplos expuestos pueden aplicarse para viales de jardines y aparcamientos, así como para zonas peatonales sin sobrecarga por tráfico de vehículos. Se han de prever anclajes de bordes para sobrecarga esperada más intensa.

Figuras 78, 79, 80 y 81

Esquinas pavimentadas de viales

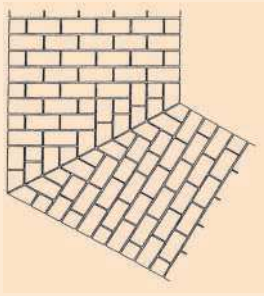


Fig. 78. Esquina sencilla oblicua.

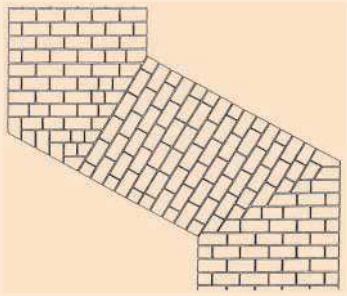


Fig. 79. Esquina en ángulo obtuso. Encaje alternante.

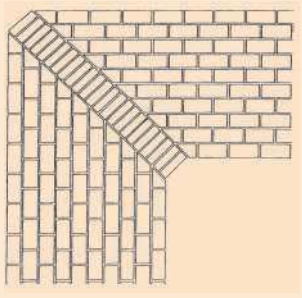


Fig. 80. Banda diagonal colocada a soga. También posible como canal.

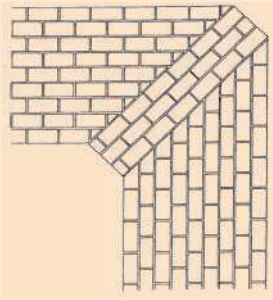


Fig. 81. Banda de pavimentos de tres hileras en diagonal. También posible como canal.

4.1.3.10. Muros y parapetos en combinación con adoquinados cerámicos

Como delimitación lateral de áreas pavimentadas o para puentear escalonamientos de alturas, pueden servir muros constituidos a base de adoquines cerámicos o parapetos con gran atractivo en cuanto a configuración.

Ya que se encuentran expuestos a intemperie, hay que tener en cuenta en la planificación que los detalles, sobre todo de la cubierta superior, se han de elegir de modo que los muros y parapetos independientes puedan soportar todas las sobrecargas climáticas sin daños, por ejemplo debido a imbibición (penetración de agua), junto con eflorescencias evitables o lixiviación.

En emplazamientos con fuertes sobrecargas climáticas, siempre se ha de tener en cuenta al respecto, que las cubiertas sean estables y eviten que el agua discurra por su cara inferior. También en los lugares adecuados hay que prever una impermeabilización.

Lugares adecuados significa que el peso de obra por encima de la impermeabilización debe ser lo suficientemente grande como para que se imposibilite un cizallamiento de la parte superior.

En la ejecución de la cubierta superior del muro, hay que proceder cuidadosamente, ya que el cierre superior no sólo está expuesto a la sobrecarga más fuerte de humedad, sino además a grandes oscilaciones de temperatura, que pueden producir deformaciones que sobrecargan el muro.

Eventualmente puede emplearse mortero con adecuados complementos impermeabilizantes. Pero en cada caso hay que tener en cuenta que el mortero utilizado tenga una consistencia concordante con el adoquín cerámico, y se pueda compactar correctamente. Los elementos prefabricados para cubrición a base de adoquín cerámico u otras piezas cerámicas especiales ofrecen máximas posibilidades de seguridad.

4.1.3.10.1. Cubriciones en muros con visera

La cubrición sobresale por ambos lados en varios centímetros sobre el muro y forma un rompegotas., que permite el goteo del agua de lluvia, antes de que penetre en el muro y lo humedezca. Dicha solución pone de relieve la cubrición superior, y se ha de configurar convenientemente. Para ello representan una ayuda eficaz adoquines cerámicos u otras piezas cerámicas especiales.

Figuras 82, 83, 84, 85 Y 86

Cubriciones en muros de visera

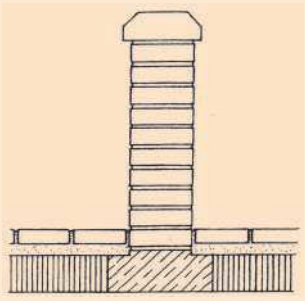


Fig. 82. Cubrición con adoquín cerámico.

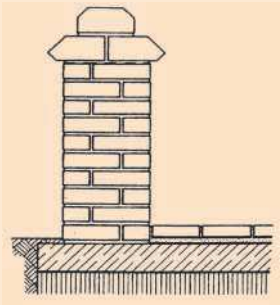


Fig. 83. Cubrición con gran saliente.

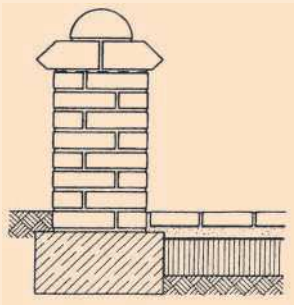


Fig. 84. Cubrición con gran saliente.

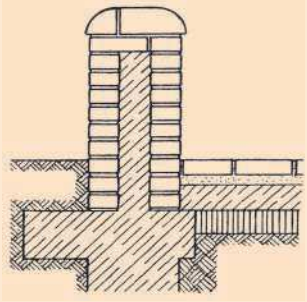


Fig. 85. Muro con núcleo de hormigón y cubrición superior con saliente reducido.

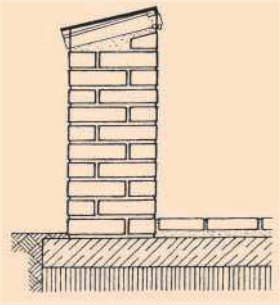


Fig. 86. Cubrición de muro con teja. La teja se coloca sobre mortero.

4.1.3.10.2. Cubriciones de muro sin saliente

Por razones de configuración, se desea con frecuencia planificar la cubrición superior del muro o del parapeto sin saliente. Sin embargo, ha de tenerse en cuenta que el muro se encuentra sometido intensamente al agua de lluvia que discurre por él. En circunstancias esto puede llevar al ensuciamiento de la obra de muro, como por ejemplo a eflorescencias. Por consiguiente, sólo han de preverse cubriciones de muros o parapetos sin saliente, exclusivamente en zonas con reducida sobrecarga por lluvia.

Figuras 87, 88, 89, 90, 91 y 92

Cubriciones de muro sin saliente

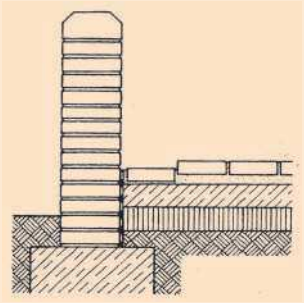


Fig. 87. Muro en jardín con adoquín cerámico y doble pendiente cortada oblicuamente, como cierre superior.

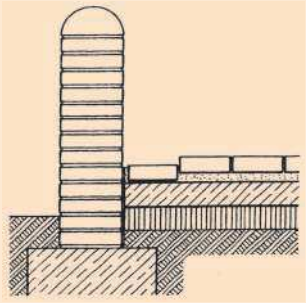


Fig. 88. Muro en jardín con adoquín cerámico o pieza cerámica especial, de sección semicircular como cierre superior.

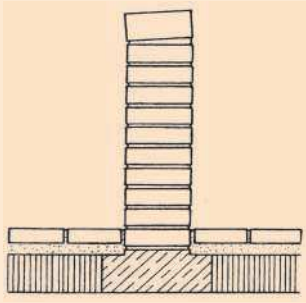


Fig. 89. Muro en jardín con capa rodante formada por adoquín cerámico, en posición ligeramente inclinada para mejor discurrir del agua.

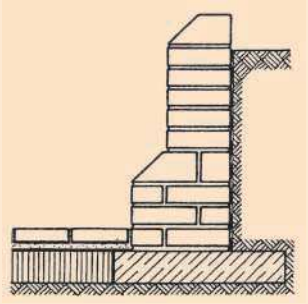


Fig. 90. Parapeto para salvar una diferencia de cotas. Se recomienda una impermeabilización estanca a humedad en la parte trasera.

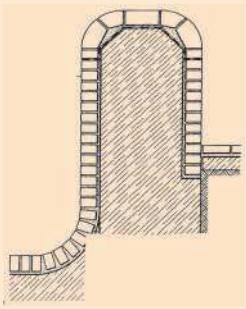


Fig. 91. Muro de protección de río en zona de avenidas con núcleo de hormigón armado. La coronación del muro se realiza con adoquines cerámicos o piezas cerámicas especiales. Debido a la sobrecarga por la avenida de agua afluyente y efluente, tiene poca importancia una impermeabilización de la coronación del muro contra el agua de lluvia. Se recomienda disponer juntas de dilatación en la cubrición del muro cada 3 m, aproximadamente.

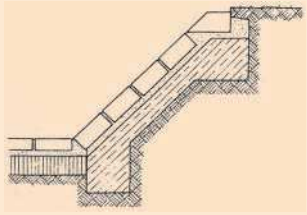


Fig. 92. Ejecución de talud oblicuo con hilera de adoquín cerámico como cierre superior. Los adoquines cerámicos en el talud oblicuo se colocan en lecho de mortero.

4.1.3.11. Escaleras y rampas pavimentadas

Figuras 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99 y 100

Escaleras y rampas pavimentadas

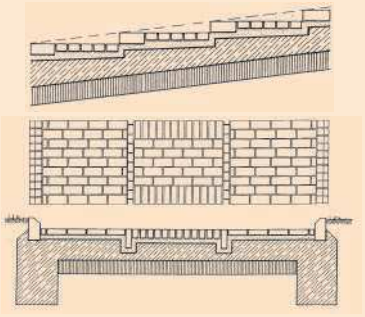


Fig. 93. Entrada pavimentada de garaje. La zona de circulación se dispone como rampa con adoquines cerámicos colocados a tizón, mientras que la zona peatonal se configura como escalera en el centro. La capa de zona peatonal se coloca en lecho de mortero alternando a tizón y a soga. Las zonas de confluencia constan de adoquines cerámicos en vertical. En la capa portante de hormigón se prevé la pendiente necesaria.

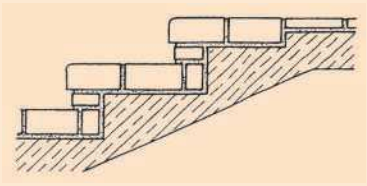


Fig. 94. Variante de la entrada con adoquines cerámicos.

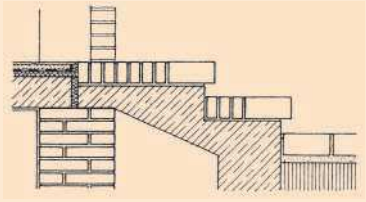


Fig. 95. Escalera de entrada con adoquines cerámicos en vertical (a soga).

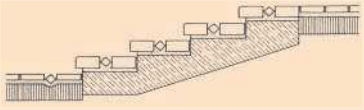


Fig. 96. Escaleras de adoquín cerámico en disposición ornamental, empleando adoquines cerámicos de mosaico. Para zonas protegidas de intemperie.

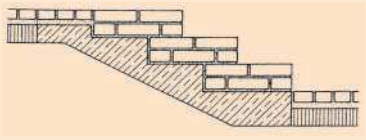


Fig. 97. Escaleras de adoquín cerámico de dos capas colocadas a tizón, sobre una subcapa de hormigón.

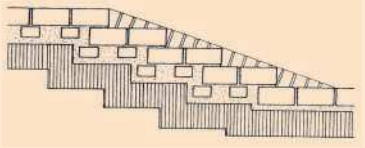


Fig. 98. Escaleras de capas rodantes con adoquines cerámicos colocados a tizón.



Fig. 99. Escaleras sobre lecho de arena a capas rodantes de adoquín cerámico en suelos recrecidos escalonados.

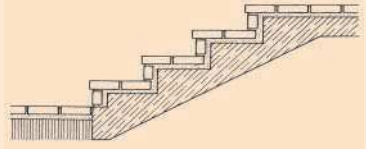


Fig. 100. Escaleras de adoquines cerámicos a tizón con contrahuella de adoquines cerámicos a soga sobre subcapa de hormigón.

4.1.3.12. Transición de superficies pavimentadas con paredes de edificaciones

En este apartado se muestran ejemplos de configuración para transiciones de adoquinados cerámicos a obra de mampostería, dando la posibilidad de crear una unidad configurada de capa de terreno y áreas de mampostería vista.

Ya que la capa de suelo y la zona adyacente al suelo del zócalo del edificio deben ser resistentes en determinada medida a las fuertes sobrecargas alternantes, los adoquines cerámicos deben ser insensibles a estas sobrecargas, por ejemplo, al agua de riego con fuertes concentraciones parciales de materiales agresivos.

Figuras 101 y 102
Transición de superficies pavimentadas con paredes de edificaciones

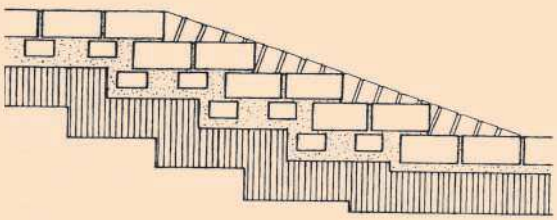


Fig. 101. Adoquines cerámicos de pavimento acoplados, con inclinación hormigonada, a la zona de mampostería.

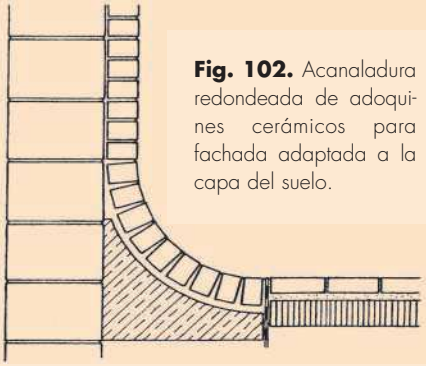


Fig. 102. Acanaladura redondeada de adoquines cerámicos para fachada adaptada a la capa del suelo.

4.1.4. Criterios funcionales

Las cualidades estéticas[6], la relación entre el coste inicial y la vida útil del pavimento con adoquín cerámico y, en definitiva, las ventajas[7] de este material y de su puesta en obra establecen los requerimientos para los cuáles la pavimentación con adoquín cerámico es la mejor elección posible.

A continuación, se indican una serie de criterios, situaciones y usos que hacen que los pavimentos de adoquín cerámico sean idóneos frente a otras soluciones y/o materiales de construcción, cuyo uso, muchas veces por mero hábito, es más frecuente:

- Cuando la durabilidad y permanencia del color sea un requisito básico del proyecto.
- Cuando exista o puedan existir alguno de estos condicionantes para el tráfico, como son: elevada intensidad, concentraciones de carga pesada, como es el caso de zonas industriales, puertos, zonas de carga y descarga, etc.
- Cuando el mantenimiento que se requiera o vaya a establecerse sea mínimo, por ejemplo, en zonas y caminos rurales.
- Cuando se requiera un acceso fácil y rápido a los servicios urbanos situados debajo del pavimento o el tipo de suelo de la explanación tenga características mínimas.

6 Ver apartado 4.1.2. Criterios estéticos.
7 Ver apartado 2.4. Ventajas de los pavimentos con adoquín cerámico.

- Cuando se precise soportar condiciones climatológicas adversas y/o ambientes donde la contaminación, las lluvias ácidas y el resto de agentes agresivos acabarían con otros materiales. Por ejemplo, en gasolineras, zonas industriales, accesos a industrias químicas, etc.
- Cuando se pretenda que el pavimento constituya una solución definitiva a largo plazo, ya que su proyecto se realiza para un horizonte de funcionalidad de, habitualmente, más de 30 años.
- Cuando se requiera que no exista tiempo de espera en la ejecución debido a condicionantes climatológicos, y/o se requiera la inmediatez en el uso del pavimento después de la ejecución.

A continuación, se detallan dentro de la pavimentación con adoquín cerámico una serie de criterios funcionales que pueden condicionar la elección, tanto en el tipo de aparejo a utilizar, como en el tipo de pavimento, ya sea flexible o rígido, a emplear.

4.1.4.1. Tipos de aparejo

En el Anexo 2 se muestran los tipos de aparejo más comunes y usuales dentro de la pavimentación con adoquín cerámico.

En un estudio se han comparado, mediante ensayos realizados sobre pavimentos adoquinados sometidos a tráfico, diferentes disposiciones en planta con el objetivo de observar el comportamiento de los distintos pavimentos a la hora de elegir el modelo de colocación ideal en tráfico rodado.

Las disposiciones en planta o tipos de aparejo empleados en los ensayos fueron en espina de pez, en bloques o parqué y en hilera.

Las conclusiones principales fueron:

- Las deformaciones más pequeñas, con menor profundidad de la rodada, correspondían a los pavimentos dispuestos en espina de pez.
- Las mayores deformaciones correspondían a formaciones en hilera, en especial cuando las líneas de enlace eran paralelas a la dirección del tráfico.
- Las ventajas en la colocación en espina de pez son más evidentes donde el pavimento resiste cargas de giro.

Por tanto, **la disposición en espina de pez es la idónea para áreas sometidas a tráfico rodado.**

4.1.4.2. Tipos de pavimentos. Ventajas

Los adoquinados cerámicos colocados como pavimento rígido son aconsejables en los siguientes casos:

- Pavimentos con pendiente superior al 9%.
- Zonas donde se prevean proyecciones continuadas de agua, como lavaderos de vehículos, bordes de piscinas y zonas de duchas, industrias en las que se requieran frecuentes lavados a presión del pavimento, etc.
- Cuando el proyectista o prescriptor busque el efecto de llaga ancha, o lo requieran otros condicionantes del proyecto.

Fuera de los casos anteriormente mencionados como aconsejables para pavimento rígido, se recomienda la solución de pavimento flexible con adoquín cerámico por las siguientes razones:

- La utilización de arena supone una disminución en los costos, tanto en materiales al evitar el empleo de morteros, como en mano de obra, ya que los rendimientos de ésta aumentan de forma considerable.
- No es necesario realizar juntas de dilatación en este tipo de adoquinado, lo que confiere una continuidad al pavimento que mejora el aspecto estético y permite al proyectista una mayor libertad en el diseño del espacio.
- Con una base bien calculada y eligiendo el modelo de adoquín adecuado, permite con total garantía, la pavimentación de viales que soporten tráfico de vehículos pesados.
- Facilita cualquier tipo de reforma que quiera hacerse al pavimento con posterioridad. Esto es especialmente útil cuando se necesite realizar reparaciones en las redes de servicio enterradas bajo el pavimento, pues permite la reutilización de las piezas que hayan de levantarse en su misma posición. Esto no sólo es un ahorro económico, sino que evita los habituales “parches” que se producen en otros pavimentos.
- La puesta en servicio de estos pavimentos es inmediata, sin tener que esperar a que los aglomerantes adquieran la resistencia necesaria.

4.2. Composición del firme

Para garantizar el correcto funcionamiento de cualquier tipo de pavimento, es fundamental realizar un firme adecuado al tipo de carga que va a soportar.

Los firmes están constituidos por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales de distintos espesores y de diferentes materiales adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan en la explanada obtenida por el movimiento de tierras y han de soportar las cargas actuantes durante el periodo de vida útil del firme sin deterioros que pudieran afectar a las características funcionales y estructurales del mismo.

Las funciones principales de un firme son:

1) Proporcionar una superficie de rodadura cómoda, segura y de características permanentes a lo largo de su vida útil.
2) Soportar las solicitaciones del tráfico pesado y repartir las presiones verticales ejercidas por las cargas. Las deformaciones que se produzcan tanto en la explanada como en las diferentes capas del firme deberán ser admisibles, teniendo en cuenta la repetición de cargas y la resistencia a la fatiga de los materiales.
3) Proteger la explanada de la intemperie y, en particular, de las precipitaciones, con sus efectos sobre la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos.

Los firmes suelen clasificarse en dos grandes grupos, siguiendo criterios tradicionales: **firmes flexibles y firmes rígidos.**

Los firmes flexibles son aquellos que están formados por una serie de capas constituidas por materiales con una resistencia a la deformación que inicialmente es decreciente con la profundidad, de modo análogo a la disminución de las presiones transmitidas desde la superficie.

Los firmes rígidos tienen, principalmente, un pavimento de hormigón. Por su mayor rigidez distribuyen las cargas verticales sobre un área grande y con presiones muy reducidas.

Habitualmente, la composición del firme está formada por los siguientes elementos:

- Explanada.
- Subbase.
- Base.
- Pavimento.

Además de esta sección de firme tipo, se pueden ejecutar pavimentos de adoquín cerámico sobre cualquier estructura resistente, como forjados o losas.

Es importante destacar que de la buena ejecución de la base y en su caso de la subbase, así como de un acertado examen del suelo natural sobre el que se va a actuar y de la colocación previa de los bordillos, dependerá en buena medida la duración del adoquinado.

4.2.1. Explanada

La explanada la compondrá, en principio, el material natural existente en el terreno y, las operaciones previas a realizar en el terreno deberán estar encaminadas a conseguir un mayor rendimiento en los equipos de movimiento de tierras, despejando de obstáculos la zona de obra. La primera actuación a llevar a cabo en este sentido es la de despeje y desbroce del terreno; el despeje consiste en la eliminación física de los obstáculos que interfieren con la actuación de los equipos de explanaciones, mientras que en el desbroce se trata de la retirada del resto de cobertura vegetal no eliminada durante el despeje de arbolado: árboles pequeños, arbustos, hierba, cultivos, maleza, hojarasca, etc.

Estas actuaciones se harán de acuerdo con las pendientes previstas en proyecto.

Posteriormente se procederá a la retirada o desvío de servicios, como pueden ser: líneas de comunicación, líneas eléctricas, tuberías de abastecimiento de agua, alcantarillado, interferencias con líneas férreas.

Otro factor a considerar es la correcta protección de la obra en todo momento contra los daños que pudieran ocasionar las precipitaciones y demás agentes atmosféricos.

4.2.2. Subbase

Es la capa del firme situada debajo de la base y sobre la explanada. Esta capa puede no ser necesaria con explanadas granulares de elevada capacidad de soporte. Su función es proporcionar a la base un cimiento uniforme y constituir una adecuada plataforma de trabajo para su puesta en obra y compactación. Es deseable que cumpla también una función drenante, para lo cual es imprescindible que los materiales utilizados carezcan de finos. En todo caso suele ser una capa de transición necesaria. Se emplean subbases granulares constituidas por gravas y arenas naturales o de machaqueo, suelos estabilizados con cemento, escorias cristalizadas de horno alto, etc.

4.2.3. Base

Es la capa del firme situada debajo del pavimento. Su función es eminentemente resistente, absorbiendo la mayor parte de la solicitación a esfuerzos verticales. Para cargas leves o moderadas (tráficos ligeros y medios o tráfico peatonal) se emplean las tradicionales bases granulares de macadam o de zahorra artificial (gravas y arenas de machaqueo). Para cargas elevadas (tráfico pesado) se emplean ya materiales granulares tratados con un ligante o conglomerante: normalmente, bases de mezcla bituminosa y bases de gravacemento. Otras bases empleadas con las de gravaescoria, gravaemulsión, gravaceniza y suelocemento.

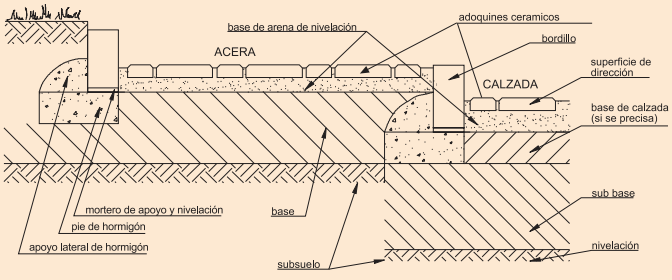
4.2.4. Pavimento

Constituye la parte superior del firme y la que soporta directamente todas las solicitaciones. Aporta las características funcionales, que corresponden prácticamente a las superficiales del pavimento, y estructuralmente absorbe los esfuerzos horizontales y parte de los verticales.

Entre las características funcionales destacar:

- La resistencia al deslizamiento mediante una adecuada textura superficial.
- La regularidad superficial del pavimento, tanto transversal como longitudinal, que afecta a la comodidad de los usuarios.
- El desagüe superficial rápido para limitar el espesor de la película de agua y las proyecciones de agua que afectaran tanto a vehículos como a peatones.
- Las propiedades de reflexión luminosa.
- El ruido de rodadura, tanto en el interior de los vehículos (usuarios) como en el exterior (entorno).

Figura 103
Ejemplo sección firme con pavimento flexible de adoquín cerámico



4.3. Pavimento de adoquín cerámico

4.3.1. Descripción general

Entre los pavimentos de adoquín cerámico se distinguen dos tipologías:

- Pavimento flexible.

- Pavimento rígido.

El uso y selección de uno u otro tipo de pavimentación queda reflejado en el apartado 4.1.4. del Manual.

A continuación, se exponen las dos tipologías y los elementos que componen cada una de ellas.

4.3.2. Tipologías y elementos que lo componen

4.3.2.1. Pavimento flexible

El sistema constructivo para la ejecución de pavimentos flexibles con adoquín cerámico consiste en la colocación de las piezas sobre una cama de arena gruesa, precompactada sin aglomerantes y el relleno posterior de las juntas con arena de menor diámetro y compactación del conjunto.

Los elementos que componen este pavimento son:

- Bordes de confinamiento.

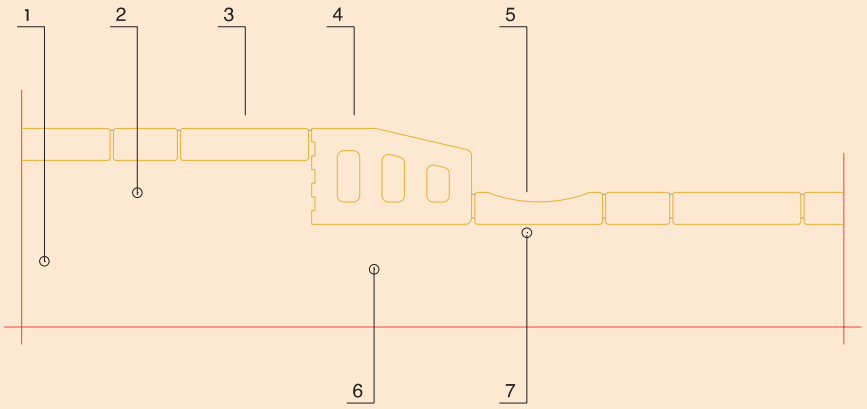
  Son los elementos de contención del pavimento que preceden a la colocación de la capa de arena.

  Sus funciones principales son: evitar los desplazamientos de las piezas, las aperturas de las juntas y la pérdida de trabazón entre los adoquines cerámicos.

  Para garantizar dichas funciones correctamente es necesaria una fijación mínima, apoyando 15 cm los bordes de confinamiento, como mínimo, por debajo del nivel inferior de los adoquines.

Figura 104

Detalle borde de confinamiento



1. TERRENO EXISTENTE
2. CAMA DE ARENA
3. ADOQUÍN CERÁMICO
4. PIEZA ESPECIAL. BORDILLO
5. PIEZA ESPECIAL. CANAL
6. SOLERA DE HORMIGÓN
7. MORTERO DE CEMENTO

- Capa o cama de arena.

Este elemento es colocado sobre la base ya ejecutada del firme, siendo aconsejable la ejecución de esta capa de nivelación o cama de arena con arena natural bien lavada. La granulometría estará comprendida entre 5 y 0,4 mm, no debiendo existir más de un 10% de material que exceda o esté por debajo de estos márgenes. En general las arenas naturales gruesas dan buenos resultados. El material no contendrá más de un 3% de arcillas y limos y estará exento de materias extrañas y sales perjudiciales.

Una vez colocados los adoquines cerámicos y vibrado el pavimento, el espesor de esta capa estará comprendido entre 3 y 5 cm, debiendo ser toda la capa de arena de espesor uniforme.

Si el espesor de la capa de arena en adoquinado es reducido (< 5 cm), se ha demostrado que las deformaciones por rodadas de vehículos también decrecen.

Una de las causas más comunes de fallo en los pavimentos adoquinados es la ejecución de una capa de arena con demasiado espesor para corregir una incorrecta nivelación de la base. Dicha capa gruesa se comprime y consolida con el paso de los vehículos, provocando irregularidades en la superficie adoquinada, por tanto, se aconseja la ejecución de la capa de arena con los espesores antes mencionados.

- Adoquines cerámicos.

Son las piezas resistentes y, a la vez, decorativas colocadas sobre la cama de arena anteriormente ejecutada. Se recuerda que, para adoquines cerámicos en pavimentos flexibles, los espesores nominales de las piezas no deberán ser inferiores a 40 mm y las dimensiones nominales serán tales que la relación entre longitud y anchura totales no sea superior a 6.

La junta ideal entre adoquines cerámicos estará comprendida entre 3 y 5 mm y no se colocarán en ningún caso piezas a tope , desaconsejando pues el uso de herramientas automatizadas que coloquen de esta manera las piezas.

- Arena de sellado.

Se procederá al relleno de juntas entre adoquines cerámicos, utilizando arena natural, fina, seca y de granulometría comprendida entre 0 y 2 mm, exenta de sales solubles perjudiciales.



Detalle llenado juntas

Se desaconseja la utilización de arenas de machaqueo calizas, ya que suelen presentar un alto contenido de polvo que empañaría la superficie del pavimento. Las arenas muy limpias facilitan el relleno de estas juntas, pero pueden tener el defecto de quedar algo sueltas en una primera etapa, apelmazándose poco a poco con el paso del tiempo. Las arenas con un contenido moderado de limos mejoran este sellado inicial del adoquinado.

La colocación de los adoquines cerámicos únicamente con arena tiene una serie de ventajas (recogidas en el apartado 4.1.4.2.) que la hacen aconsejable en la mayoría de los casos, con las únicas excepciones de zonas de fuerte pendiente (superiores al 9%), expuestas a frecuentes e intensas proyecciones de agua, como lavadero de vehículos, bordes de piscinas, etc. (en este caso es aconsejable el relleno de la junta con mortero o masillas), o en aquellos casos en que el proyectista busque el efecto de llaga ancha rellena de mortero.

4.3.2.2. Pavimento rígido

El sistema constructivo para la ejecución de pavimentos rígidos con adoquín cerámico consiste en la colocación de las piezas con juntas de mortero sobre un lecho similar de mortero, éste último colocado a su vez sobre una base rígida.

Los elementos que componen este pavimento son:

- Capa de mortero.

Este elemento se situará sobre la solera de hormigón de la base del firme.

Se recomienda, para esta capa, el empleo de un mortero M-15 (con dosificaciones 1:3, o bien 1:1/4:3 si se quiere adicionar cal), con consistencia dura y espesores de capa de unos 3 cm.

- Junta de dilatación.

La junta de dilatación del pavimento adoquinado se hará coincidir con las juntas ya realizadas en la capa base, teniendo una profundidad equivalente a todo el espesor del pavimento de adoquín cerámico. Su misión es la de acomodar los movimientos que puedan producirse como consecuencia de fenómenos de dilatación térmica, expansión por humedad, etc.

Las dimensiones de este elemento será de unos 20 mm, siendo necesario colocar juntas de dilatación cada 5 x 5 m.

Estas juntas deberán de ser rellenadas y selladas con un material suficientemente elástico.

- Adoquín cerámico.

Son las piezas resistentes y, a la vez, decorativas colocadas sobre la capa de mortero anteriormente ejecutada. Se recuerda que, en pavimentos rígidos, los adoquines cerámicos no deberían tener picos espaciadores y se recomienda separarlos por una junta de mortero de entre 6 y 10 mm.

El espesor de los adoquines cerámicos, en pavimentación rígida, no será inferior a 30 mm.

- Mortero de relleno de juntas.

Una vez colocados los adoquines cerámicos correctamente alineados y nivelados, se procede a completar el relleno de las juntas mediante un mortero de igual dosificación que el usado para el asiento de los adoquines cerámicos, pero con consistencia blanda o fluida, en este último caso pueden utilizarse recipientes con embocadura tipo jarra, lo que permitirá menor ensuciamiento de los adoquines.

4.4. Dimensionamiento del firme

4.4.1. Introducción

Los firmes deben poseer unas determinadas características funcionales, que corresponden prácticamente a las superficiales del pavimento (ver apartado 4.2.4.), y estructurales, que están relacionadas con las de los materiales empleados en las capas del firme, en particular las mecánicas, y con los espesores de estas capas.

La diferente deformabilidad de las capas del firme da lugar a discontinuidades de tensiones y/o deformaciones en los planos de contacto, por lo que el proyecto de una capa ha de armonizarse con el de las restantes a fin de conseguir un buen comportamiento estructural conjunto.

Además de las características funcionales y estructurales, antes mencionadas, los firmes requieren la consideración de aspectos constructivos y económicos.

Se debe perseguir, en definitiva, una optimización resistente y funcional de la estructura, con un coste global mínimo que incluya los costes de construcción, conservación y rehabilitación en el periodo de vida útil del firme.

El objetivo del dimensionamiento del firme es la definición de la naturaleza y espesor de cada capa que lo forma, a partir de la consideración de una serie de factores, como son: tráfico, capacidad de soporte de la explanada, materiales disponibles, condiciones climáticas, etc.

El dimensionamiento se puede realizar mediante métodos analíticos, basados en el cálculo, o mediante métodos empíricos, basados en estudios de comportamiento de firmes.

En el presente Manual, con el objeto de estudiar el comportamiento y ejecución de un pavimento con adoquín cerámico, se expondrá una referencia de lo que son los métodos analíticos y, también se describirá un método simplificado, dónde se asignarán secciones tipo de firmes a los casos más frecuentes de utilización de pavimentos con adoquín cerámico.

4.4.2. Métodos analíticos

El dimensionamiento analítico de los firmes se basa en el cálculo de las tensiones, deformaciones y desplazamientos producidos por la acción de las cargas del tráfico y de las condiciones climáticas existentes y en su comparación con los valores admisibles en cada caso (en los que se produce el agotamiento estructural del firme).

Para la determinación de las tensiones, deformaciones y desplazamientos en firmes flexibles y semirrígidos, los métodos y modelos más empleados en la práctica son los basados en asimilar dichos firmes a un sistema multicapa con hipótesis elásticas.

Las hipótesis más habituales para sistemas multicapa son las establecidas por Burmister, que resumidamente son:

- Se trabaja con cargas distribuidas uniformemente sobre un área circular en la superficie del pavimento.
- Cada capa queda definida por su módulo de elasticidad E y su coeficiente de Poisson ν, siendo homogénea, isótropa y de espesor constante e indefinido horizontalmente.

- El apoyo entre capas es continuo.
- No se considera el efecto de los gradientes térmicos.
- Los desplazamientos en el sistema son pequeños.

Para este método multicapa es necesario conocer, por tanto, las características de cada uno de los materiales del pavimento.

A continuación, en la siguiente tabla se señalan valores de magnitud del módulo elástico y del coeficiente de Poisson para los pavimentos de adoquín:

Capa		Módulo Elástico E (MPa)	Coeficiente de Poisson (ν)
Adoquinado		2000 - 3500	0,20 - 0,35
Base	Granular	150 - 900	0,10 - 0,50
	Estabilizada con cemento	1000 - 30000	0,10 - 0,50
Subbase	Granular	150 - 500	0,10 - 0,50
	Estabilizada con cemento	5000 - 7000	0,10 - 0,50

Estableciendo el equilibrio elástico en el macizo multicapa, por ejemplo con las hipótesis de Burmister, se plantearían las ecuaciones que resolverían el cálculo de los valores de tensiones, deformaciones y desplazamientos. Para firmes flexibles y semirrígidos existen diversos programas comerciales que agilizan el cálculo anterior, como por ejemplo: Alizé, Bisar, Elsym, Chevron, etc.

Estos valores tendrían que ser comparados por los obtenidos en el agotamiento estructural del firme.

Los modelos basados en leyes de fatiga son los más utilizados para determinar las condiciones en las que se produce el agotamiento estructural del firme. Mediante las leyes de fatiga se determinan el número N de aplicaciones de una carga tipo que puede soportar el material antes de llegar al agotamiento estructural, si cada aplicación individual produce una determinada tensión o deformación.

Para materiales granulares y explanadas las leyes de fatiga son del tipo:

$$\varepsilon = k \cdot N^{\alpha}$$

siendo:

ε = deformación de la capa
k y α = constantes propias del material empleado
N = aplicaciones de carga hasta rotura

Para materiales tratados con conglomerantes hidráulicos las leyes de fatiga son del tipo:

$$\frac{\sigma}{\sigma_{max}} = 1 - (A \times \log N)$$

siendo:

σ y σ_{max} = tensión y tensión máxima, respectivamente
A = constante propia del material empleado
N = aplicaciones de carga hasta rotura

4.4.3. Método simplificado

4.4.3.1. Planteamiento general

Los métodos analíticos, expuestos en el apartado anterior, permiten abordar el estudio de firmes con pavimento de adoquines cerámicos. Sin embargo, resulta más sencillo recurrir a un catálogo de secciones tipo de firmes, obtenidos mediante métodos simplificados.

Al igual que en la "Orden Circular 10/2002 sobre secciones de firme y capas estructurales de firmes"[9], el método simplificado se basa en el empleo de dos parámetros: el tipo de explanada y la categoría de tráfico.

4.4.3.2. Caracterización de la explanada

Para la caracterización mecánica de las explanadas suelen emplearse dos ensayos: el ensayo de placa de carga y el ensayo CBR (California Bearing Ratio).

El ensayo más utilizado para estimar la capacidad de soporte de una explanada[10], factor básico para el dimensionamiento de los firmes, es el ensayo CBR.

El ensayo consiste en someter a una muestra representativa de la explanada, compactada y saturada de agua, a un ensayo de penetración o punzonamiento con un pistón cilíndrico, en el

9 Ha sustituido a la "Instrucción 6.1 y 2-IC de secciones de firme"
10 Resistencia a la deformación bajo las cargas del tráfico.

que se determina el índice CBR. A mayor índice CBR, mayor es la capacidad de soporte de la explanada, siendo CBR igual a 5 el menor valor admitido sin ser preciso efectuar una mejora de las condiciones de la explanada (sustitución de suelos o estabilización con cemento).

El índice CBR se considera un parámetro de referencia a partir del cual se puede obtener el módulo de elasticidad, mediante las siguientes fórmulas empíricas:

$E\ (MPa) = 6{,}5\ (CBR)^{0{,}65}$ para cargas estáticas

o más empleada

$E\ (MPa) = 10\ CBR$ para las cargas dinámicas usuales del tráfico

Por ejemplo, una explanada con un índice CBR igual a 10 se le puede asignar un módulo dinámico de deformación de 100 MPa.

Se definen 3 categorías de explanada establecidas por su índice CBR mínimo.

Los límites de CBR son:

CATEGORIA DE EXPLANADA	
E1	5 < CBR < 10
E2	10 < CBR < 20
E3	20 < CBR

4.4.3.3. Caracterización del tráfico

La acción del tráfico, en especial del tráfico pesado, resulta fundamental para el dimensionamiento del firme durante el periodo de proyecto del mismo.

La sección estructural del firme depende, por tanto, de la intensidad media diaria de vehículos pesados (IMDp) que se prevea en el carril de proyecto en el año de puesta en servicio. Esta intensidad sirve para establecer la categoría de tráfico pesado.

Por vehículos pesados se entienden:

- camiones con uno o más remolques.
- Vehículos articulados y especiales.
- Vehículos destinados al transporte de personas con más de 9 plazas.

En primer lugar, para la caracterización del tráfico, se deberá partir de datos de aforos de intensidades, con proporciones de vehículos pesados y asignaciones por carriles. Si no se dispusiera de esta información y para la determinación de la categoría de tráfico pesado de proyecto (en el carril más cargado) se admite lo siguiente:

- En calzadas de dos carriles y con doble sentido de circulación, incide sobre cada carril la mitad de los vehículos pesados que circulan por la calzada.
- En calzadas de dos carriles por sentido de circulación, en el carril exterior se considera la categoría de tráfico pesado correspondiente a todos los vehículos pesados que circulan en ese sentido.
- En calzadas de tres o más carriles por sentido de circulación, se considera que actúa sobre el exterior el 85% de los vehículos pesados que circulan en ese sentido.

Teniendo en cuenta todas estas medidas se obtiene el tráfico de proyecto.

Se establecen 5 categorías de tráfico de proyecto, que son:

Categoría de Tráfico	Tráfico de Proyecto *
T0	50 – 150
T1	25 – 49
T2	15 – 24
T3	5 – 14
T4	0 – 4
* Intensidad media diaria de vehículos pesados durante el año de puesta en servicio.	

En zonas de tráfico con intensidades medias diarias de vehículos pesados superiores a 150 se deberá realizar un estudio especial para el dimensionamiento de la sección del firme, o en casos especiales como zonas industriales, portuarias, aeropuertos, etc sólo influirá la carga por rueda de los vehículos para el dimensionamiento.

En el caso de no existir suficiente información de aforos se puede establecer, como aproximación, una relación entre la categoría de tráfico y el uso al que va a estar destinada la vía. La asignación sería:

- T0: Arterias o calles urbanas principales. Estaciones de autobuses. Centros de Transporte. Estaciones de servicio. Con un límite diario de 150 vehículos pesados.
- T1: Arterias principales con un límite diario de 49 vehículos pesados.
- T2: Calles comerciales con tránsito de transportes públicos y de más de 6 metros de ancho de calzada.

- T3: Calles comerciales sin tránsito de transportes públicos y de más de 6 metros de ancho de calzada.
- T4: Calles y áreas peatonales con acceso sólo para vehículos ligeros. Calles residenciales. Aparcamientos residenciales. Calles con anchura no superior a 6 metros, sin tráfico comercial.

4.4.3.4. Secciones tipo

Para cada combinación de categoría de tráfico pesado y de categoría de explanada se dan varias secciones posibles entre las que ha de elegirse en cada caso concreto la más adecuada en función de consideraciones técnicas y económicas.

		Secciones Tipo					
		CATEGORIA DE EXPLANADA					
		E1		E2		E3	
CATEGORIA DE TRAFICO	T0	AD + AR	AD + AR	AD + AR	AD + AR	AD + AR	AD + AR
		25 ZA	15 HM	20 ZA	15 HM	25 ZA	20 HM
		25 SG	25 SG	20 SG	20 SG		
		EX	EX	EX	EX	EX	EX
	T1	AD + AR	AD + AR	AD + AR	AD + AR	AD + AR	AD + AR
		20 ZA	15 HM	15 ZA	15 HM	20 ZA	18 HM
		20 SG	20 SG	15 SG	15 SG		
		EX	EX	EX	EX	EX	EX
	T2	AD + AR	AD + AR	AD + AR	AD + AR	AD + AR	AD + AR
		35 SG	20 HM	25 SG	18 HM	20 SG	15 HM
		EX	EX	EX	EX	EX	EX
	T3	AD + AR	AD + AR	AD + AR	AD + AR	AD + AR	AD + AR
		30 SG	18 HM	15 SG	15 HM	15 SG	12 HM
		EX	EX	EX	EX	EX	EX
	T4	AD + AR	AD + AR	AD + AR	AD + AR	AD + AR	AD + AR
		20 SG	15 HM	15 SG	10 HM	15 SG	10 HM
		EX	EX	EX	EX	EX	EX

NOTA 1 - Fuente: Manual Euroadoquín.
NOTA 2 - AD + AR = adoquines y capa de arena (3-5 cm) HM = base de hormigón magro (mínimo H-80)
ZA = base de zahorra artificial SG = base o subbase granular EX = explanada compactada
NOTA 3 - Espesores de capas en cm.

Los espesores de capa que se indican en la tabla de secciones tipo deben entenderse como mínimos en cualquier punto del carril de proyecto, por lo que el espesor medio extendido y compactado deberá tener, en general de 1 a 3 cm más, según el tipo de material, la terminación de la capa subyacente, el procedimiento de extensión, etc.

5. Ejecución de pavimentos flexibles

En este apartado se detallan todas las fases de las que se compone la ejecución de pavimentos flexibles con adoquín cerámico, que son:

- Preparación de la explanada.
- Extendido y compactación de la sub-base.
- Extendido y compactación de la base.
- Ejecución de los bordes de confinamiento.
- Extendido y nivelación de la capa de arena.
- Colocación de los adoquines cerámicos.
- Llenado de juntas y compactado.

5.1. Preparación de la explanada

El área a pavimentar ha de ser limpiada, desbrozada y excavada o rellenada a la cota adecuada necesaria para lograr los espesores, las pendientes y los niveles requeridos por el proyecto procurando que las desviaciones sean mínimas.

La resistencia del terreno, el nivel freático y la nivelación de superficie preparada deben ser conocidos para una buena realización del pavimento.

En caso de suelos clasificados como inadecuados para servir de base de explanación, de acuerdo con el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes PG-3, se procederá a su sustitución o consolidación.

Se cuidará la eliminación de zonas reblandecidas y el establecimiento de rasanteos que impidan la acumulación de agua durante los trabajos.

5.2. Extendido y compactación de la sub-base

Es aconsejable la introducción de esta capa, siempre que el adoquinado vaya a soportar tráfico pesado. En caso de zonas peatonales, dependiendo de la naturaleza de la base de la explanación y del tipo de base que se proyecte, puede resultar necesaria igualmente la inclusión de subbase.

El material a emplear estará compuesto por áridos naturales o procedentes del machaqueo de piedra de cantera o grava natural, escorias, suelo seleccionado o materiales locales exentos de arcillas, margas o materia extraña.

Su tamaño máximo no excederá de 1/2 del espesor de cada tongada. La curva granulométrica se adaptará a los husos definidos por el PG-3, en el caso de zahorras naturales se adaptará a uno de los siguientes:

Cernido ponderal acumulado (% en masa)			
Abertura Tamices UNE-EN 933-2 (mm)	Tipo de zahorra natural *		
	ZN40	ZN25	ZN20
50	100	-	-
40	80 – 95	100	-
25	60 – 90	75 – 95	100
20	54 - 84	65 - 90	80 – 100
8	35 - 63	40 - 68	45 - 75
4	22 - 46	27 - 51	32 - 61
2	15 – 35	20 – 40	25 – 50
0,500	7 - 23	7 - 26	10 - 32
0,250	4 - 18	4 - 20	0 - 11
0,063	0 - 9	0 - 11	0 - 11

* La designación del tipo de zahorra se hace en función del tamaño máximo nominal, que se define como la abertura del primer tamiz que retiene más de un diez por ciento en masa.

El material será no plástico y su equivalente de arena superior a 30 (EA > 30).

La capacidad de soporte del material será tal que cuente con un índice CBR superior a 20. Una vez extendido el material en obra se procederá a su humectación adecuada para ser compactado. La densidad alcanzada tras la compactación será superior al 95% de la máxima obtenida en el ensayo Proctor modificado.

5.3. Extendido y compactación de la base

A la hora de elaborar la base se cuidará de forma especial la nivelación de la rasante de proyecto, evitando al máximo las posibles desviaciones. De otra forma pueden producirse discontinuidades en la cama de arena que afectaran al comportamiento homogéneo del adoquinado, sobre todo durante su proceso de compactación.

Se puede utilizar, debidamente dimensionados, cualquiera de los siguientes materiales:

a) Zahorras artificiales.

Lo más indicado es utilizar material procedente del machaqueo y trituración de piedra de cantera o grava natural. La fracción retenida por el tamiz 5 UNE deberá contener al menos un 50% en peso de elementos que presenten dos caras o más de fractura. Estará exento de materia orgánica, polvo, arcillas y cualquier otra materia perjudicial. El material será no plástico y su equivalente de arena superior a 35 para tráfico pesado y el 30 para el resto de los casos.

La curva granulométrica de los áridos se adaptará a uno de los siguientes husos definidos por el PG-3:

Cernido ponderal acumulado (% en masa)			
Abertura Tamices UNE-EN 933-2 (mm)	**Tipo de zahorra artificial ***		
	ZA25	**ZA20**	**ZAD20**
40	100	-	-
25	75 - 100	100	100
20	65 - 90	75 - 100	65 - 100
8	40 - 63	45 - 73	30 - 58
4	26 - 45	31 - 54	14 - 37
2	15 - 32	20 - 40	0 - 15
0,500	7 - 21	9 - 24	0 - 6
0,250	4 - 16	5 - 18	0 - 4
0,063	0 - 9	0 - 9	0 - 2

* La designación del tipo de zahorra se hace en función del tamaño máximo nominal, que se define como la abertura del primer tamiz que retiene más de un diez por ciento en masa.

Una vez extendido el material se humectará de forma adecuada para proceder a su compactación, que deberá alcanzar el 100% de la densidad máxima obtenida en el ensayo Proctor modificado. En ocasiones es aconsejable el recebado con arena y su compactación para evitar pérdidas posteriores de la cama de arena, o bien interponer una lámina de material geotextil.

b) Gravacemento.

Los áridos a emplear en la mezcla procederán del machaqueo de piedra de cantera o de gravas naturales. La granulometría se acomodará a alguno de los husos definidos en el PG-3:

Cernido ponderal acumulado (% en masa)		
Abertura Tamices UNE-EN 933-2 (mm)	Tipo de gravacemento	
	GC25	GC20
40	100	-
25	76 - 100	100
20	67 - 91	80 - 100
8	38 - 63	44 - 68
4	25 - 48	28 - 51
2	16 - 37	19 - 39
0,500	6 - 21	7 - 22
0,063	1 - 7	1 - 7

Los áridos empleados serán no plásticos y su equivalente de arena superior a 30 (EA > 30). Estarán exentos de materia orgánica y la proporción de terrones de arcilla será inferior al 2% en peso.

El cemento a utilizar será tipo II clase 32,5 (N/mm2). La dosificación de cemento no superará el 4,50% en peso respecto al total de áridos.

La resistencia a compresión de probetas a siete días, fabricadas en obra con el molde y compactación del Proctor modificado no será inferior a 35 kg/cm2.

La puesta en obra se realizará siguiendo las recomendaciones del PG-3, con especial cuidado en la humectación adecuada del soporte y en evitar segregaciones de la mezcla en el transporte. Es necesario garantizar la continuidad de los trabajos y, en caso de interrupciones de importancia se ejecutarán las oportunas juntas de trabajo.

La compactación se efectuará en una sola tongada, recomendándose alcanzar el 100% de la densidad máxima del Proctor modificado de la mezcla con cemento, y en ningún caso inferior al 97%.

Una vez terminada la compactación, se mantendrá húmeda la capa gravacemento y con posterioridad es recomendable aplicar un riego con ligante bituminoso sobre el que se espolvoreará arena de 0 – 5 mm.

c) Hormigón.

Se recomienda la utilización de hormigones en masa de resistencia característica no inferior a 10 N/mm2, pudiéndose emplear áridos con tamaño máximo de 40 mm. que cumplan las especificaciones de la instrucción EHE.

Se cuidará durante la ejecución la humectación del soporte o bien la interposición de membranas plásticas que eviten la deshidratación de la mezcla. La superficie se alisará "a pasa regla", evitándose resaltes o rehundidos de importancia, pero sin alisarla por completo. También se dispondrán las juntas de dilatación y de trabajo oportunas. Por último, se efectuará un adecuado curado del hormigón por los métodos que se estimen convenientes.

5.4. Ejecución de los bordes de confinamiento

Para la buena ejecución del pavimento, es necesario que previamente a la colocación de los adoquines se hayan colocado los bordes de confinamiento o bordillos perimetrales, a fin de tener la alineación y soporte necesarios para la realización del pavimentado, conteniendo el empuje exterior que produce el pavimento y evitando que la arena pueda dispersarse.

Mediante la ejecución de los bordes de confinamiento se evitan los desplazamientos de las piezas, aperturas de las juntas y pérdida de trabazón entre los adoquines de arcilla cocida.

Si se eligiese la opción de construir los bordes de confinamiento después de la colocación del adoquinado, se tendrían que limitar las cargas sobre el pavimento en un margen de aproximadamente 1 metro, contado desde el extremo sin confinar. En este caso, previo a la construcción del borde, se comprobará el correcto estado de los adoquines extremos, procediendo a colocarlos de nuevo en caso necesario.

Para garantizar la fijación necesaria, los bordes de confinamiento deben apoyarse 15 cm, como mínimo, por debajo del nivel inferior de los adoquines.

También se debe tener en cuenta la precaución de sellar las juntas verticales entre los elementos contiguos para evitar la salida de arena (capa de arena o arena de sellado).

Hay varios tipos de bordillos: piezas especiales de borde de arcilla cocida, muro, bloque de hormigón, rígola, piedra natural,...

5.5. Extendido y nivelación de la capa de arena

El espesor de esta capa estará comprendido entre 3 y 5 cm una vez colocados los adoquines cerámicos y vibrado el pavimento.

Antes de iniciar el extendido de la arena en una zona, se habrán ejecutado todos los bordillos y demás elementos de contención del pavimento (ver apartado 5.4.- Ejecución de los bordes de confinamiento), así como los drenajes necesarios, en su caso, para evacuar aguas de filtración.

Para evitar desperdiciar material, no es recomendable extender arena en tramos muy extensos a la vez, lo que implica una correcta organización del tajo mediante tramos de 3 ó 4 metros.

Los pavimentos flexibles de adoquín cerámico, terminan comportándose como pavimentos impermeables, ya que el polvo y la suciedad acaban colmatando totalmente las llagas, impidiendo infiltraciones de agua por las mismas, por lo que se proyectarán con elementos de drenaje superficial. De todas formas, a fin de evitar posibles saturaciones de la cama de arena en la primera etapa de utilización, cuando la base es impermeable, pueden preverse drenajes en aquella. En estos casos se tomará la precaución de interponer membranas de tipo geotextil entre la arena y el elemento de drenaje a fin de evitar asientos por pérdida de arena.

La arena se extenderá en una capa uniforme, suelta y sin compactar, hasta la altura necesaria para obtener, una vez compactada, las rasantes fijadas. El sistema habitual para rasantear esta capa es la utilización de reglas corridas sobre maestras en las que se han registrado las rasantes.



Compactación de la capa de arena

Otro sistema que puede servir para el extendido de esta capa, mejorando los rendimientos, consiste en rasantear la arena utilizando reglas vibratorias.

La precompactación de la arena se efectuará mediante apisonadoras de rodillos o bandejas vibratorias.



Rasanteado de la arena con regla

Siempre es preferible pecar por defecto a la hora de extender la arena y recrecer, si es preciso, una vez precompactada la tongada, volviendo a compactar cuando la cantidad agregada tenga cierta importancia.

5.6. Colocación de los adoquines cerámicos

Una vez rasanteada y precompactada la capa de arena, se procederá a colocar sobre ella los adoquines cerámicos de acuerdo con el aparejo proyectado.

Existen multitud de posibilidades para el diseño de pavimentos cerámicos, combinando los distintos aparejos posibles para cada modelo, los diferentes formatos y colores (ver apartado 4.1.- Criterios de diseño).

A la hora de proyectar firmes flexibles con adoquín cerámico, se tendrán en cuenta la adecuada previsión de pendientes y elementos de desagüe superficial. A fin de conseguir un drenaje adecuado, las pendientes transversales deben ser de al menos un 2% y los desniveles del canal del 1% aproximadamente. Cuando se proyecten tramos de pendiente superior al 9% se recomienda utilizar soluciones de pavimento rígido.

Es recomendable tomar adoquines de varios palets simultáneamente, y por capas verticales y no horizontales. De este modo, el pavimento presentará una mezcla de tonos agradables y de gran efecto estético.

Es fundamental realizar un perfecto replanteo del pavimento; para conseguirlo se tomaran las piezas necesarias y se presentarán en el lugar que van a colocarse, con la separación de junta real, al objeto de ajustar en lo posible los bordes de contención a medidas de piezas completas; realizar correctamente esta operación evitará cortes de piezas innecesarios que encarecen la ejecución y disminuyen la calidad del acabado.

En caso de tener que cortar los adoquines se realizará con disco adecuado o cizalladora.



Realización de corte de un adoquín cerámico con mesa cortadora

No es aconsejable colocar piezas de tamaño menor de 1/4 del adoquín, pudiéndose solucionar los encuentros de borde con la inclusión de medias piezas o piezas a 3/4. Si la distancia entre el adoquín y el borde es inferior a 4 cm, el hueco correspondiente se puede rellenar con mortero (relación 1:4 de cemento – arena). Las figuras 105, 106 y 107 muestran alguna posibilidad de solucionar el problema.

Figuras 105, 106 y 107

Soluciónes de encuentros de bordes

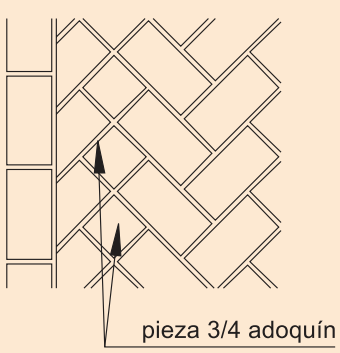


Fig. 105. Solución A

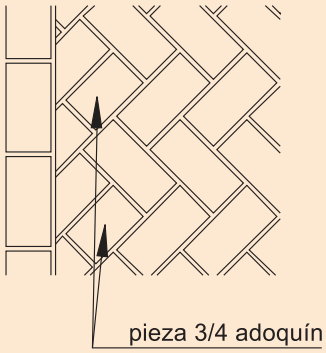


Fig. 106. Solución B

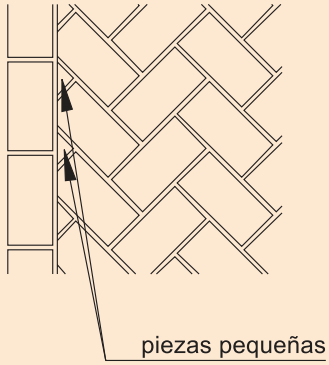


Fig. 107. Solución no aconsejable

Cuando existan elementos en el interior del área a pavimentar, como alcorques, pilares de estructuras, pozos de registro, etc, los ajustes de los adoquines se harán de igual forma que con los bordes de confinamiento.

La junta ideal[11] entre adoquines estará comprendida entre 3 y 5 mm. No se colocarán en ningún caso piezas a tope[12]. Sobre estas dimensiones, el colocador podrá realizar ligeras modificaciones al objeto de mantener las alineaciones correctas. Estas alineaciones se comprobarán de forma sistemática, mediante reglas, el suficiente número de cordeles-ejes o cualquier sistema apropiado. Igualmente se vigilarán las rasantes del pavimento, para lo que se registrarán los puntos de nivelación en maestras, que servirán de referencia para correr hilos o reglas.

La colocación del adoquín cerámico se realizará evitando pisar la capa de arena, para lo que se trabajará sobre la parte ya ejecutada del pavimento, procurando no concentrar cargas debidas a apilamiento de material (colocación de adoquines a un metro detrás del borde principal de trabajo) o a los mismos operarios cerca del borde de trabajo.

11 Con adoquines prensados puede llegarse a fijar una junta mínima de 2 mm, si bien esto necesitaría un mayor esmero en la colocación.

12 Las piezas con picos separadores evitan este problema.

No se colocarán adoquines sobre camas de arena encharcadas o excesivamente húmedas. Para evitar problemas en caso de lluvia, se aconseja no extender capas de arena en superficies muy superiores a las que puedan cubrirse en una jornada de trabajo. Lo ideal es que al final de cada jornada la capa de nivelación sobresalga al pavimento 1 metro aproximadamente.

La secuencia de colocación del adoquín cerámico debe ser planificada para lograr un buen rendimiento de la obra. El pavimento debe comenzar siempre con una línea de bordillo, que es la guía natural. Para mantener el diseño proyectado, el adoquín cerámico ha de seguir la secuencia correcta. Las figuras 108 y 109 muestran ejemplos de colocación en espina de pez a 45º y a 90º.

Figura 108

Ejemplo adoquinado espina de pez a 45°

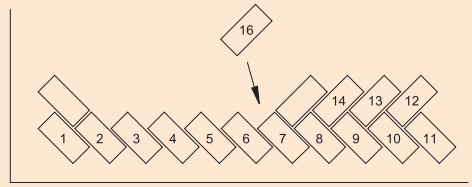
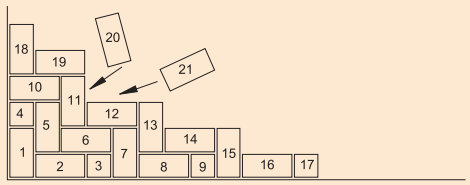


Figura 109

Ejemplo adoquinado espina de pez a 90°



Con el diseño de espina de pez a 45º sólo podrá trabajar un albañil; a 90º más de uno. Continuamente ha de comprobarse la linealidad de las juntas: cordeles a 90º marcarán la buena realización del pavimento.

Una de las grandes ventajas del pavimento flexible es la rapidez de su ejecución. Para mejorar los rendimientos aconsejamos seguir las siguientes recomendaciones:

- Colocar los adoquines simplemente dejándolos caer sobre la cama de arena, alineándolos de forma aproximada, una vez se haya avanzado un tramo de dos a tres metros, se corrigen las desviaciones del tramo completo colocando un tablón contra los cantos del borde libre y golpeando con una maceta[13] hasta llevar las piezas a la alineación requerida. Para aparejos en espiga pueden colocarse provisionalmente piezas de remate de borde para conseguir una línea recta sobre la que apoyar el tablón o bien preparar una madera con la forma de los dientes de sierra que encaje en los huecos.

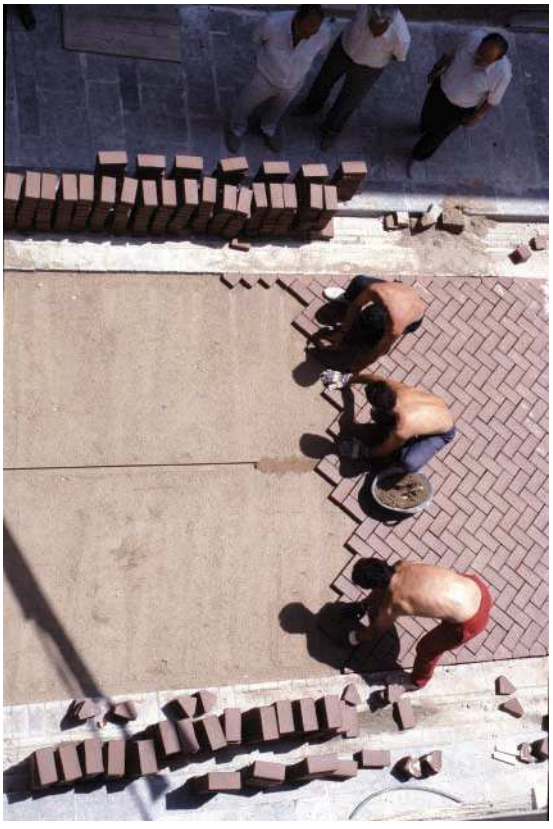
13 Martillo con cabeza de dos bocas iguales y mango corto.



Alineación de adoquines golpeando con maceta

- Cuando se pretendan corregir alineaciones en paños encajados entre bordes de confinamiento ya ejecutados y no se pueda seguir el método anterior, o bien para alinear piezas en aparejos donde alguna de las juntas es corrida y en la dirección de ésta, pueden utilizarse uñetas y palancas, que introducidas en las juntas desplazaran fácilmente las hiladas a la posición correcta; en este caso sólo hay que tener la precaución de encajar estos útiles de forma que no desportillen los bordes de las piezas.

- Cuando las piezas se colocan por varios operarios a la vez, especialmente si el aparejo es en espiga, es conveniente que vayan alternando sus posiciones. De esta forma se corrige las diferencias entre los tajos.



Colocación en espiga por varios operarios

Con estos sistemas no sólo se aumenta el ritmo de ejecución, sino que el resultado final mejorará de forma visible, al absorberse las ligeras diferencias de calibre de las piezas y las imperfecciones de colocación de las mismas.

Tampoco es preciso comprobar la nivelación del pavimento pieza a pieza de forma exacta, siempre que se sitúen sobre una cama de arena bien rasanteada, pues en el proceso de compactación posterior quedarán corregidas las pequeñas irregularidades que pudieran existir. Sin embargo, es conveniente que las piezas no queden demasiado "cabeceadas", lo que se consigue fácilmente golpeando con mazo de goma los bordes que sobresalgan de manera anormal antes de compactar; de esta forma evitaremos roturas en el apisonado.

El rendimiento de colocación del adoquinado puede variar entre los 15 m2/día/hombre y los 25 m2/día/hombre, dependiendo de las características y organización de la obra. Se desaconseja el uso de procedimientos mecanizados o automatizados en los que no se permitan establecer una junta ideal entre adoquines comprendida entre 3 y 5 mm.

5.7. Llenado de juntas y compactado

- Llenado de juntas.

Una vez colocada una superficie suficiente de adoquines cerámicos, se procederá al relleno de juntas.

La arena se extenderá sobre el pavimento, barriéndose posteriormente sobre el mismo hasta conseguir el relleno satisfactorio de las juntas; la arena sobrante se retirará de la superficie a compactar mediante barrido y no por lavado con agua.

Las características de la arena vienen reflejadas en el apartado 4.3.2.1. Pavimento flexible.



Relleno de juntas mediante barrido

- Compactado.

Antes de proceder al compactado estarán totalmente rematados los encuentros de los adoquines con los elementos de sujeción y no se compactarán a menos de 1 metro de distancia de bordes sin contención del pavimento.

El tipo de compactador a utilizar dependerá de las dimensiones de la obra. Para paños reducidos pueden usarse bandejas vibrantes (normalmente con un área de 0,2 – 0,4 m2) provistas de suelas de neopreno u otro material que amortigüe los impactos sobre esquinas salientes, que podrían desportillar los bordes de los adoquines. Para superficies mayores se aumenta el rendimiento empleando compactadores de rodillos vibrantes; en estos casos se tendrá la precaución de extender sobre el pavimento, a modo de alfombra, una lámina de fieltro o cualquier otro material que disminuya los impactos directos; será necesario en todo caso hacer una comprobación de la fuerza útil que deberá transmitir el rodillo para obtener la compactación requerida sin dañar las piezas. Para grandes extensiones pueden utilizarse junto a los rodillos vibrantes de llanta metálica, compactadores de ruedas de goma.



Compactación del adoquinado

Los elementos utilizados deberán transmitir una fuerza útil comprendida entre 50 y 75 kN/m2 a frecuencias entre 60 y 100 Hz. Habitualmente se requieren dos o tres pasadas con los apisonadores para conseguir la compactación adecuada. Tras cada una de las pasadas se comprobará el estado de las juntas, añadiéndose arena a medida que ésta se va introduciendo en las llagas.

Completada la compactación, se comprobarán los niveles del adoquinado, rectificándose, caso de ser necesario, las piezas que hayan quedado fuera de rasante. Se recebarán las juntas que no estén llenas. Una vez retirados los sobrantes de arena[14] es conveniente regar el pavimento para facilitar el apelmazamiento del árido. Tras esta operación, el pavimento estará listo para ser utilizado.



Regado del adoquinado

14 La arena sobrante sobre el pavimento después de la compactación, al igual que en el llenado de juntas, se retirará mediante barrido y no por lavado con agua.

6. Ejecución de pavimentos rígidos

En este apartado se detallan todas las fases de las que se compone la ejecución de pavimentos rígidos con adoquín cerámico, que son:

- Preparación de la explanada.
- Extendido y compactación de la sub-base.
- Ejecución de la base.
- Extendido de la capa de mortero.
- Colocación de los adoquines cerámicos.
- Relleno de las juntas y limpieza.

6.1. Preparación de la explanada

Todo lo indicado en la preparación de la explanada para pavimentos flexibles (apartado 5.1.) es válido para este apartado.

6.2. Extendido y compactación de la sub-base

Todo lo indicado en el extendido y compactación de la sub-base para pavimentos flexibles (apartado 5.2.) es válido para este apartado.

6.3. Ejecución de la base

Como base del pavimento se utilizará una solera de hormigón en masa, cuya sección dependerá de las cargas previstas, pudiendo añadirse una armadura de reparto cuando se estime necesario. Es importante respetar las rasantes con el mínimo de tolerancias.

Se dejarán previstas juntas de dilatación en todo el perímetro siempre que las dimensiones de los lados sobrepasen los 5 m, la separación entre juntas de dilatación no superará esta misma distancia de 5 m, y se procurará que los paños resultantes sean de lados sensiblemente iguales; en zonas expuestas a fuertes variaciones de temperatura puede ser necesario reducir estas dimensiones a 4 m. Se procurará hacer coincidir las juntas del pavimento con las de la base.

También es necesario colocar juntas en los encuentros con elementos rígidos, como arquetas de registro, farolas, pilares y cualquier elemento anclado a la base.

6.4. Extendido de la capa de mortero

Sobre la solera de hormigón de la base se extenderá una capa de mortero de unos 3 cm. Se aconseja utilizar un mortero M-15 (con dosificaciones 1:3, o bien 1:1/4:3 si se quiere adicionar cal). El mortero se colocará con consistencia dura; en ocasiones se utilizan morteros de consistencia seca, completándose su hidratación por regado a medida que se van colocando las piezas. Esta última solución, sin embargo, no es apropiada por las dudas que puede ofrecer la correcta hidratación del mortero y, por tanto, la homogeneidad de su comportamiento.

Existen otros métodos para conseguir pavimentos semi-flexibles, en los que se utilizan bases de mortero pobre, con lo que pueden espaciarse a mayor distancia las juntas de dilatación, aunque no se aconseja su empleo, por los problemas que comportan, especialmente de limpieza. Básicamente consisten en colocar los adoquines sobre una capa de mortero pobre y seco; en estos casos se suele compactar y rasantear las piezas mediante mazos de goma, aunque también podrían utilizarse, siempre que se tenga la seguridad de que el mortero aún no ha empezado a fraguar, bandejas vibrantes con suela forrada de goma o rodillos de pequeño o mediano tamaño, en este caso, protegiendo las piezas de impactos directos interponiendo fieltros u otra lámina adecuada. Posteriormente se procede a la hidratación del mortero mediante riego abundante. Una vez seca la superficie, se procede al relleno de las juntas, para lo que se utiliza una mezcla de arena y cemento en seco, que se introduce por barrido con cepillos en las juntas, se retiran entonces los sobrantes y se procede a su riego, cuidando de no lavar la mezcla de las juntas.

Con este método los restos de cemento manchan la superficie del pavimento y la limpieza del mismo resulta difícil, puesto que la poca resistencia del material con que se rellena la llaga puede ocasionar su desprendimiento y arrastre en este proceso de limpieza. Por otra parte, es difícil conseguir una hidratación homogénea del mortero, lo que puede traducirse en comportamientos variables del pavimento entre unas zonas y otras.

6.5. Colocación de los adoquines cerámicos

Una vez extendida la capa de mortero se procederá a la colocación de los adoquines cerámicos, sin olvidar la necesidad de ejecutar juntas de dilatación, en todo el espesor del adoquinado, cada 5 x 5 m como mínimo.

Antes de introducir el material elástico en la junta de dilatación y proceder al sellado de la misma, se deben tener en cuenta las siguientes precauciones:

- La cavidad de la junta debe estar limpia y libre de mortero.
- El espesor de la junta debe ser constante (aprox. 20 mm).
- Antes de proceder al sellado de la junta, el pavimento estará seco.

Es recomendable que antes de la aplicación del sellante se proteja el acabado superficial del pavimento, para evitar que se manche. El acabado del sellado debe ser cóncavo, debiendo seguir las instrucciones del fabricante en su aplicación.

Los adoquines cerámicos a emplear no tendrán picos espaciadores o separadores, pues éstos sólo servirían para crear una discontinuidad en la junta de mortero, además por estética favorecería que fueran de cantos sin biselar[15]. Por tanto, los adoquines cerámicos estarán separados sólo por una junta de mortero de entre 6 y 10 mm nominales. En algunas ocasiones se emplean juntas rellenas de arena con lo que se puede reducir la separación incluso a 5 mm nominales.

Se recomienda mezclar adoquines de varios paquetes a la vez, tomándolos en tandas verticales, para igualar las ligeras diferencias de calibre o tono que pudieran aparecer. Un buen replanteo previo, teniendo en cuenta las auténticas dimensiones de adoquines y llagas, es fundamental para evitar cortes de piezas no deseados y para marcar ejes y referencias de nivel que servirán de guía al colocador.

Para el asiento de los adoquines cerámicos sobre la capa de mortero se emplearán mazos de goma y reglas metálicas o de madera con las que se irán igualando las piezas de cada paño.

6.6. Relleno de las juntas y limpieza

Una vez colocados los adoquines cerámicos correctamente alineados y nivelados, se procederá a completar el relleno de las juntas, para lo que se utilizará un mortero de igual dosificación que el de asiento pero con consistencia blanda o fluida, en este último caso pueden utilizarse recipientes con embocadura tipo jarra, lo que permitirá menor ensuciamiento de los adoquines.

Se procurará manchar lo menos posible el adoquín cerámico durante la tarea de rejuntado, limpiando en lo posible las manchas a medida que se ejecuta el relleno, mediante trapos o estropajos limpios y sin extender el mortero por la cara de la pieza.

15 De esta forma se evitan la formación de juntas excesivamente anchas.

A pesar de que se sigan estos consejos, es previsible que queden restos de mortero sobre la superficie de la cerámica, por lo que se procederá posteriormente a una limpieza del pavimento, una vez endurecido suficientemente el mortero de las llagas para evitar su desprendimiento. Para limpiar los restos de mortero fraguado se procederá de la siguiente forma:

1) Se regará con agua limpia la superficie a tratar, lo que disminuirá la succión de la llaga de mortero.
2) Utilizando una mezcla de una parte de ácido clorhídrico comercial (agua fuerte) y diez partes de agua, se limpiará el pavimento, bien proyectándolo a presión (método más rápido y que aporta resultados más homogéneos) o bien frotando con cepillos de raíces.
3) A continuación, se volverá a regar abundantemente con agua limpia para arrastrar la suciedad y los residuos de ácido.

Completada la limpieza y una vez alcanzadas las resistencias mínimas del mortero, el pavimento estará listo para ser utilizado.

7. Mantenimiento y reutilización de los adoquines cerámicos

7.1. Mantenimiento

Siguiendo las recomendaciones de ejecución de pavimentos flexibles y rígidos con adoquines cerámicos (apartados 5 y 6 del Manual, respectivamente), el mantenimiento de la pavimentación con adoquín cerámico es muy bajo y proporciona una gran superficie durante décadas, debido a las extraordinarias características de este tipo de pavimentación y del adoquín cerámico en concreto (ver apartado 2.4.).

Las tareas de conservación únicamente se limitan al relleno de juntas con arena de sellado cada cierto tiempo, debido a la acción erosiva de los agentes climatológicos y ambientales, con el fin de que la respuesta a las solicitaciones se mantenga en un nivel satisfactorio.

No obstante, durante la exposición, tanto a tráfico rodado como peatonal, en la vida útil del pavimento, da lugar a posibles apariciones de suciedades y manchas.

La identificación de las manchas y la posterior aplicación del limpiador adecuado harán factible la limpieza exhaustiva del pavimento.

A continuación se exponen una serie de manchas más habituales y el procedimiento de limpieza a emplear para cada una de ellas:

- Residuos y manchas de mortero.

  Quitar la mayor cantidad posible mediante cepillado para después lavar con una solución de ácido clorhídrico (con dosificación de 1 parte de ácido por 10 partes de agua, en volumen). No se recomienda usarlo en una concentración mayor.

- Alquitrán.

  Eliminar la mayor parte con espátula, aplicar después una pasta a base de parafina y polvo inerte o bien tricloroetileno o tetracloruro de carbono.

- Asfalto y emulsiones asfálticas.

Enfriar con hielo, raspar y frotar la superficie con polvos abrasivos. Posteriormente, se aclara con agua.

- Oxido de hierro.

Lavar la superficie manchada con una solución de:

600 grs de ácido oxálico
220 grs de fluoruro sódico
150 grs de ácido cítrico
10 litros de agua

Se puede aplicar también una mezcla de glicerina, citrato sódico y agua (relación 7:1:6), añadiendo un polvo inerte para conseguir una pasta, la cual se aplicará sobre la mancha durante varios días.

- Manchas de arcilla.

Raspar el material seco, frotar y aclarar con agua caliente y detergente.

- Humo.

Normalmente desaparecen lavando con detergente común, en las zonas donde sea más persistente se puede utilizar una pasta formada por tricloroetileno y polvo inerte.

Debe existir una buena ventilación cuando se usa en interiores.

- Pintura.

Aplicar algún disolvente comercial y lavar después con agua. Se puede utilizar también una solución de fosfato trisódico y agua (1:5 en peso), cuando la pintura se reblandezca se elimina la mancha mediante cepillado o espátula. Lavar después con agua jabonosa y posteriormente con agua limpia.

- Chicles.

Helar cada trozo de chicle con aerosol de dióxido de carbono o con hielo. Después proceder a arrancar el chicle con un rascador de alto rendimiento por medios mecánicos o hidráulicos.

Previamente al proceso de limpieza se recomienda realizar alguna prueba para evaluar el tratamiento a emplear.

No se recomienda limpiar la superficie mientras el chicle esté pegajoso.

- Aceite y grasa.

El tratamiento depende del tipo de aceite, ya que si se trata de aceites minerales pueden ser adecuados petróleo o gasolina con polvo inerte, mientras que si son aceites vegetales son más idóneos otros disolventes como aguarrás o tetracloruro de carbono.

- Hongos y musgo.

Pueden eliminarse con una solución de silicofluoruro de magnesio y agua (1:40 en peso).

- Rodadas de neumáticos.

Frotar el área manchada con agua, detergente y polvos quitamanchas.

- Graffitis.

Existen productos específicos para tal fin. Aplicar estos productos con brocha o rodillo, dejando entre 5 y 15 minutos para que actúe en función de la temperatura ambiente, se produce un reblandecimiento y ampollamiento de la pintura que se retira a continuación con espátulas o agua a presión.

- Madera.

Las manchas producidas por agua que ha permanecido en contacto con madera, se eliminan con una solución de ácido oxálico y agua (1:40 en peso).

Es importante en este apartado no olvidar los siguientes puntos fundamentales:

- Siempre que se utilice un producto químico, lavar abundantemente con agua limpia antes y después del tratamiento, así como canalizar el agua sucia de forma que no alcance otras partes de la obra.

- Utilizando una técnica incorrecta para la eliminación de cualquier tipo de mancha se puede producir un daño permanente, en consecuencia cualquier propuesta de método de limpieza debe ensayarse en una pequeña zona discreta, esperar al menos una semana y después juzgar los resultados.

7.2. Reutilización

La pavimentación flexible con adoquín cerámico ofrece la ventaja, entre otras muchas[16], de la posibilidad de levantamiento de los adoquines cerámicos sin provocar deterioros en los mismos, en el caso de que, por ejemplo, sea necesario reparar algún servicio urbano, pudiendo en consecuencia volver a ser reutilizados. Esta propiedad hace también que resulte especialmente indicado en zonas que aún no poseen todos los servicios públicos instalados.

Esta reutilización de los adoquines cerámicos en pavimentación flexible ofrece un ahorro económico importante, debido al material a emplear (el propio adoquín cerámico levantado), a la disminución en los tiempos de la reparación, etc, evitando además los habituales "parches" que se producen en otros pavimentos.

Cada vez adquiere mayor protagonismo el uso y las ventajas de esta pavimentación, ya que actualmente, para intentar controlar el número total de zanjas que se abren y reducir los problemas que causan a peatones y conductores, los ayuntamientos están aprobando nuevas Ordenanzas de Obras en la Vía Pública, sancionando incluso a las empresas reparadoras por no pavimentar adecuadamente la acera levantada o por incumplimiento de los plazos de obras fijados por los Ayuntamientos.

En las reparaciones del subsuelo, el procedimiento de apertura y rehabilitación del pavimento de adoquines cerámicos se compone de los siguientes pasos:

1º.- Quitar la máxima cantidad de arena posible de las juntas, empleando una paleta u otra herramienta adecuada.

16 Ver apartado 2.4. Ventajas de los pavimentos con adoquín cerámico.

2º.- Levantar el primer adoquín cerámico usando palancas adecuadas.

3º.- Los restantes adoquines cerámicos se levantan con menores problemas (sin trabazón), usando una pata de cabra u otra herramienta adecuada, hasta el levantamiento de toda la superficie necesaria para poder realizar las operaciones de reparación del subsuelo.

4º.- Limpieza con cepillo de alambres de los adoquines cerámicos levantados y apilamiento al lado de la zanja para su posterior recolocación.

5º.- Excavación de las siguientes capas y reparación, mantenimiento o instalación de los servicios urbanos correspondientes.

6º.- Reposición y compactación, si fuese necesario, de las capas inferiores del firme y, extensión y nivelación de la capa de arena del adoquinado cerámico.

7º.- Recolocación de los adoquines cerámicos, anteriormente levantados y limpiados, ajustados con martillo de goma.

Se recomienda volver a colocar los adoquines cerámicos con las caras en la misma posición en la que estaban, con el objeto de evitar posibles cambios de tono en el pavimento.

8º.- Llenado de juntas y compactado según el método descrito en el apartado 5.7. del Manual.

8. Controles de calidad

De acuerdo a lo establecido en la norma europea armonizada UNE EN 1344: "Adoquines de arcilla cocida. Especificaciones y métodos de ensayo", el fabricante deberá demostrar la conformidad de sus productos con esta norma y adaptará los procedimientos para los ensayos iniciales y el control de producción en fábrica que en este apartado se exponen.

La norma UNE EN 1344 establece los requisitos para el marcado CE que deben cumplir los adoquines de arcilla cocida y sus piezas especiales para uso en pavimentación flexible y/o rígida, según la Directiva de Productos de Construcción 89/106/CEE.

8.1. Ensayos iniciales de tipo

La primera vez que se aplique la norma UNE EN 1344 se realizará un ensayo inicial de tipo, teniendo en cuenta ensayos realizados previamente y de conformidad con la norma.

Se asignará un nuevo tipo de adoquín cerámico siempre y cuando se cambie el origen, proporciones y/o naturaleza de la materia prima, o cuando se produzcan cambios importantes en las condiciones de fabricación (por ejemplo: tiempo de horneado, temperatura, etc.), debiendo repetirse los ensayos iniciales de tipo para el nuevo adoquín.

Los ensayos de tipo se corresponden con los ensayos exigidos por la norma UNE EN 1344, para caracterizar el producto según el tipo de producto y su utilización prevista.

Los ensayos iniciales de tipo correspondientes a las distintas clases de adoquín cerámico y donde se requieran según su uso previsto, son:

Característica	Método de ensayo	Tamaño de la muestra
Dimensiones	Anexo B (UNE EN 1344)	10
Tolerancias dimensionales (no aplicable a las piezas especiales)	Anexo B (UNE EN 1344) Valor medio ≤ 0,4 $\sqrt{d}$ (mm) Rango: Clase R1 ≤ 0,6 $\sqrt{d}$ (mm) ó el declarado por el fabricante d: dimensión nominal (mm)	10
Resistencia al hielo/ deshielo	Anexo C (UNE EN 1344)	10
Carga de rotura transversal	Anexo D (UNE EN 1344)	10
Resistencia a la abrasión	Anexo E (UNE EN 1344)	5
Resistencia al deslizamiento/ derrape sin pulido	Anexo F (UNE EN 1344)	5
Resistencia a los ácidos	Anexo G (UNE EN 1344)	5

8.2. Control de la producción en fábrica

Previamente a la verificación de la conformidad del adoquín cerámico con la norma UNE EN 1344, se deberá establecer y documentar un sistema de control de producción en fábrica que permita incorporar métodos para el control interno de la producción que asegure que los adoquines son conformes con la norma y con los valores declarados por el fabricante.

El control interno deberá incluir inspecciones regulares, comprobaciones y ensayos y la utilización de los resultados para controlar las materias primas, los equipos, el proceso de fabricación y el producto acabado.

A continuación se muestra una tabla con las tareas del fabricante:

TAREAS DEL FABRICANTE
CONTROL DE PRODUCCIÓN EN FÁBRICA: Implantación de ciertos aspectos de la ISO9000: ■ Sistema documentado de calidad: Gestión de calidad: responsabilidades, representante de la dirección, etc. ■ Manual de Calidad. ■ Control del proceso: materia primas y demás componentes. ■ Ensayos de producto acabado: ensayos de rutina y repetición de ensayos de tipo. ■ Control de existencias de producto acabado ■ Control de documentación: registros de calidad.

8.3. Marcado CE

Los aspectos más destacados de este marcado son:

- El marcado CE es el requisito indispensable para que un producto pueda comercializarse en su país de fabricación y dentro de la Unión Europea (libre circulación).
- Indica la conformidad del producto con los requisitos esenciales de la Directiva de Productos de Construcción que le afectan y con las especificaciones técnicas de la norma armonizada.

- Es una certificación obligatoria según la norma armonizada de producto correspondiente (UNE EN 1344).

- La fijación del marcado CE es responsabilidad del fabricante, de su agente o representante autorizado establecido dentro de la UE.

- El fabricante deberá cuidar que el marcado CE figure en el producto, en una etiqueta aplicada al mismo, en su embalaje o en los documentos comerciales de acompañamiento.

- El marcado CE no es una marca de calidad, pero puede coexistir con otras marcas de calidad voluntarias (p.ej: marca AENOR).

- Las marcas de calidad voluntarias :

  - Cumplen una función diferente al Marcado CE.

  - Son conformes con objetivos diferentes o adicionales (mayor nivel de exigencia) a los relacionados con el marcado CE

  - Representan un valor añadido de producto.

  - Son voluntarias y no deben prestarse a confusión con el marcado CE, de carácter obligatorio. No deberán reducir ni obstaculizar la legibilidad y visibilidad del marcado CE.

La evaluación de conformidad del producto deberá realizarse de acuerdo con el anexo ZA de la norma UNE EN 1344, teniendo en cuenta el uso previsto.

Los adoquines de arcilla cocida y sus piezas especiales deberán cumplir el sistema de verificación de conformidad 4, lo que implica que el fabricante deberá demostrar la conformidad de sus productos con la norma UNE EN 1344 mediante los ensayos iniciales de tipo y un sistema de control de producción en fábrica, sin necesidad de intervención de un organismo notificado.

A continuación se resume en la tabla adjunta el sistema de certificación:

CERTIFICACIÓN DE CONFORMIDAD CE		
TAREAS		**SISTEMA 4**
FABRICANTE	Control de producción de la fábrica	X
	Ensayo de muestras tomadas en fábrica de acuerdo a un plan determinado de ensayos	
	Ensayo inicial de tipo del producto	X

(X = Tarea requerida)

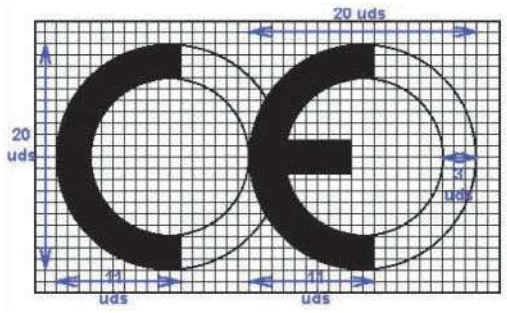
- **Sistema 4 = *Declaración del fabricante sin intervención de organismo notificado.***

El fabricante es el responsable de estampar el marcado CE en el producto. El marcado CE deberá aparecer en el embalaje y/ o en los documentos comerciales de acompañamiento (albaranes).

La información adicional que debe acompañar al símbolo del marcado CE es:

- Símbolo CE
- Nombre o marca distintiva del fabricante.
- Dirección del fabricante
- Los dos últimos dígitos del año en que se estampó el marcado.
- Norma del producto: UNE EN 1344
- Descripción del producto en función de las especificaciones técnicas indicadas en la norma armonizada, según tipo de pieza y uso previsto.
  - Tipo de Pieza (adoquín de arcilla cocida).
  - Uso (pavimentación interior, exterior, o ambas).
  - Tipo de colocación (rígida, flexible, o ambas)
- Información sobre las características esenciales recogidas en la tabla ZA.1 de la norma EN 1344 en función del uso previsto.

Ejemplo de marcado CE del adoquín cerámico para pavimentación exterior

<table>
<tr><td colspan="2">

(Deben conservarse las proporciones, siendo la dimensión vertical mínima de 5 mm)</td><td>■ Símbolo CE</td></tr>
<tr><td colspan="2">Cerámica XXX</td><td>■ Nombre o marca distintiva del fabricante.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Domicilio XXX
Ciudad XX, CP XXXX</td><td>■ Dirección del fabricante</td></tr>
<tr><td colspan="2">04</td><td>■ Los dos últimos dígitos del año en que se estampó el marcado.</td></tr>
<tr><td colspan="2">EN 1344</td><td>■ Norma del producto</td></tr>
<tr><td colspan="2">Adoquín de arcilla cocida para uso exterior peatonal o de vehículos, de colocación flexible y/o rígida.</td><td>■ Descripción del producto en función de las especificaciones técnicas indicadas en la norma armonizada, según tipo de pieza y uso previsto.</td></tr>
<tr><td>Carga de rotura transversal</td><td>Clase T0, T1, T2, T3 ó T4 (N/mm)</td><td rowspan="4">■ Información sobre las características esenciales recogidas en la tabla ZA.1 de la norma EN 1344 en función del uso previsto.</td></tr>
<tr><td>Resistencia a flexión</td><td>(N/mm2)</td></tr>
<tr><td>Resistencia al deslizamiento/derrape</td><td>Clase U0, U1, U2 ó U3</td></tr>
<tr><td>Durabilidad Resistencia al hielo/deshielo)</td><td>FP100</td></tr>
</table>

Anexos

ANEXO 1: Resumen de las recomendaciones de uso del adoquín cerámico

Recomendaciones para la ejecución de pavimentos flexibles.

La ejecución de firmes flexibles con adoquín cerámico, consiste en la colocación de las piezas sobre una cama de arena gruesa, precompactada sin aglomerantes y el relleno posterior de las juntas con arena de menor diámetro y compactación del conjunto.

Se recomienda la solución de firme flexible por las siguientes razones:

1.- La utilización de arena supone una disminución de los costos.

2.- No es necesario realizar juntas de dilatación en este tipo de adoquinado.

3.- Permite con total garantía, la pavimentación de viales que soporten tráfico de vehículos pesados.

4.- Facilita cualquier tipo de reforma que quiera hacerse al pavimento con posterioridad.

5.- La puesta en servicio de estos pavimentos es inmediata.

Se pueden ejecutar pavimentos de adoquín sobre cualquier estructura resistente.

Realizar un soporte adecuado en función de las solicitaciones que va a soportar. De la buena ejecución de la base y en su caso de la subbase, así como de un acertado examen del suelo natural sobre el que se va a actuar, dependerá en buena medida la duración del adoquinado.

Una vez rasanteada y precompactada la capa de arena, de 3 a 5 cm de espesor, se procederá a colocar sobre ella los adoquines cerámicos.

Para firmes destinados a soportar tráfico de vehículos pesados se desaconsejan aquellos aparejos que presenten juntas continuas en el adoquinado.

Se obtienen mejores resultados tomando adoquines de varios paquetes a la vez, lo que minimiza la influencia de pequeñas diferencias de calibre o tono de las piezas.

Realizar un perfecto replanteo del pavimento, evita el corte innecesario de piezas.

No es aconsejable colocar piezas de tamaño menor de 1/4 del adoquín, pudiéndose solucionar los encuentros de borde con la inclusión de medias piezas o piezas a 3/4.

La junta ideal entre adoquines cerámicos estará comprendida entre 3 y 5 mm. No se colocarán en ningún caso piezas a tope.

La colocación del adoquín cerámico se realizará evitando pisar la capa de arena.

No se colocarán adoquines sobre camadas de arena encharcadas o excesivamente húmedas. Colocar los adoquines simplemente dejándolos caer sobre la cama de arena, alineándolos de forma aproximada, una vez se haya avanzado un tramo de dos a tres metros.

Se corrigen las desviaciones del tramo completo colocando un tablón contra los cantos del borde libre y golpeando con una maceta hasta llevar las piezas a la alineación requerida.

Una vez colocada una superficie suficiente de adoquines, se procederá al relleno de juntas, utilizando arena de granulometría comprendida entre 0 y 2 mm.

Antes de proceder al compactado estarán totalmente rematados los encuentros de los adoquines con los elementos de sujeción y no se compactarán a menos de un metro de distancia de bordes sin contención del pavimento.

Para compactar paños reducidos pueden usarse bandejas vibrantes provistas de suelas de neopreno u otro material que amortigüe los impactos sobre esquinas salientes, que podrían desportillar los bordes de los adoquines. Para superficies mayores se aumenta el rendimiento empleando compactadores de rodillos vibrantes; en estos casos se extendería sobre el pavimento una lámina de fieltro o cualquier otro material que disminuya los impactos directos.

Se requieren dos o tres pasadas para conseguir la compactación adecuada; tras cada una de

ellas se comprobará el estado de las juntas, añadiéndose arena a medida que ésta se va introduciendo en las llagas.

Recomendaciones para la ejecución de pavimentos rígidos.

Los adoquinados cerámicos colocados como pavimento rígido son aconsejables en los siguientes casos:

- Pavimentos con pendiente superior al 9%.
- Zonas donde se prevean proyecciones continuadas de agua.
- Cuando el prescriptor busque el efecto de llaga ancha, o lo requieran otros condicionantes del proyecto.

Realizar una subbase adecuada en función de las solicitaciones que va a soportar.

Como base del pavimento se utilizará una solera de hormigón en masa, cuya sección dependerá de las cargas previstas, pudiendo añadirse una armadura de reparto cuando se estime necesario.

Se recomiendan anchos de junta de mortero de al menos 6 mm, aunque si las juntas son rellenadas con arena se puede reducir la separación incluso a 5 mm nominales.

Se dejarán previstas juntas de dilatación adecuadas procurándose hacer coincidir las juntas del pavimento con las de la base. También es necesario colocar juntas en los encuentros con elementos rígidos, como arquetas de registro, farolas, pilares y cualquier elemento anclado a la base.

Sobre la solera de hormigón se extenderá una capa de mortero de unos 3 cm. Se aconseja utilizar un mortero M-15 (con dosificaciones 1:3, o bien 1:1/4:3 si se quiere adicionar cal). El mortero se colocará con consistencia dura.

Se recomienda mezclar adoquines de varios paquetes a la vez, tomándolos en tandas verticales, para igualar las ligeras diferencias de calibre o tono que pudieran aparecer.

Es fundamental un buen replanteo, teniendo en cuenta las dimensiones de adoquines y llagas, para evitar cortes de piezas y para marcar ejes y referencias de nivel que servirán de guía al colocador.

Para el asiento de los adoquines cerámicos sobre la capa de mortero se emplearan mazos de goma y reglas metálicas o de madera con las que se irán igualando las piezas de cada paño.
Una vez colocados los adoquines, se procede al relleno de las juntas con un mortero de igual dosificación que el de asiento pero con consistencia fluida.
Limpiar en lo posible las manchas mientras se ejecuta el relleno sin extender el mortero por la pieza. No obstante, quedarán restos de mortero, por lo que se limpiará del pavimento una vez endurecido el mortero de las llagas, procediendo de la siguiente forma:
1.- Regar con agua limpia la superficie a tratar.
2.- Limpiar el pavimento con una mezcla de una parte de agua fuerte (ácido clorhídrico) y diez partes de agua, proyectándola a presión o bien frotando con cepillos de raíces.
3.- A continuación, se volverá a regar abundantemente con agua limpia.

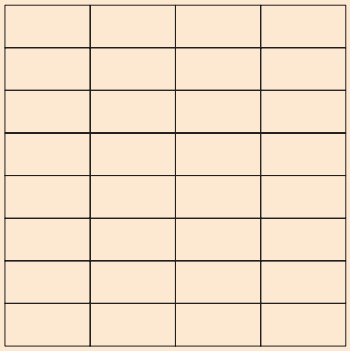
Completada la limpieza y una vez alcanzadas las resistencias mínimas del mortero, el pavimento estará listo para ser utilizado.

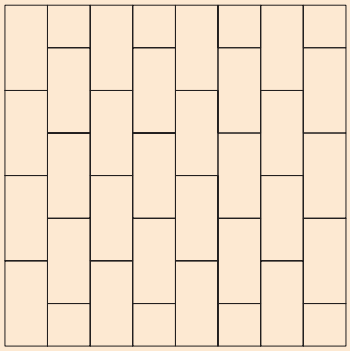
ANEXO 2: Ejemplos de tipos de aparejo

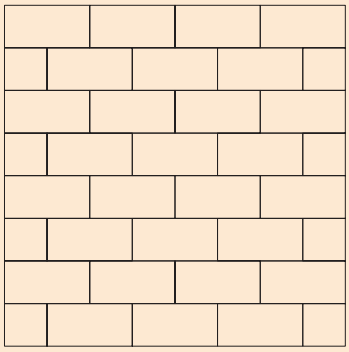
A continuación se muestran 16 tipos comunes de aparejo:

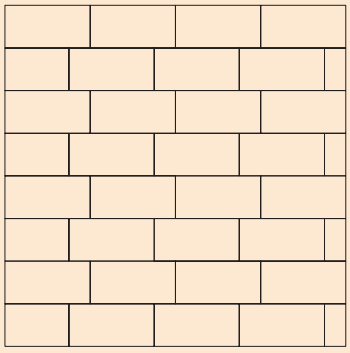
a) formación en hilera:

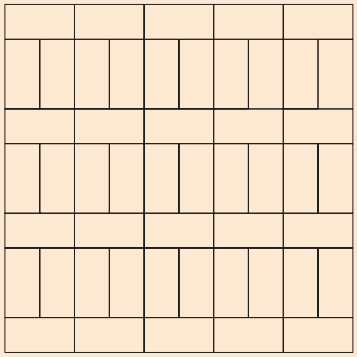
Formación en hilera





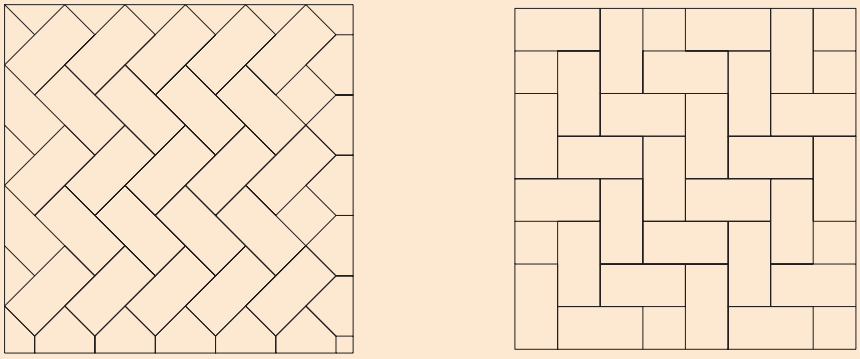






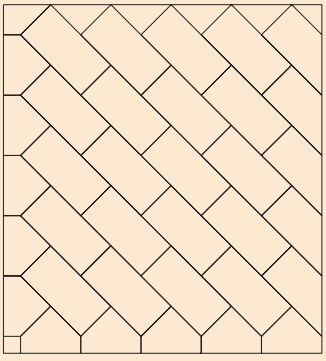
b) formación en espina de pez:

Formación en espina de pez



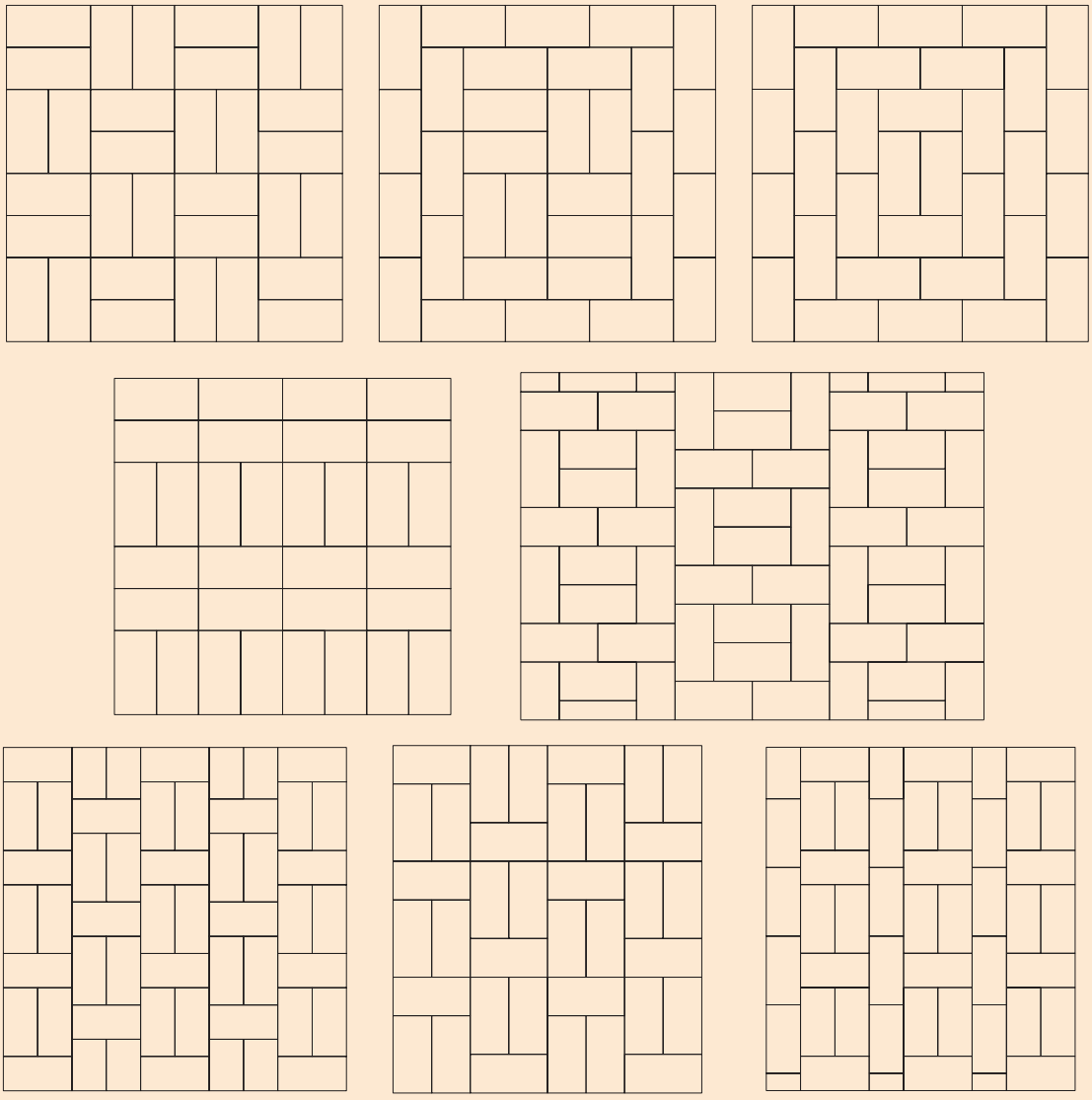
c) formación en diagonal:

Formación en diagonal



d) formación en bloques o parqué:

Formación en bloques o parqué



Bibliografia

- AENOR / RP 34.12: Reglamento particular de la marca Aenor para adoquines de arcilla cocida y sus accesorios.
- ASESORIA TECNICA CERAMICA: El Pavimento.
- ASOCIACION PARA I+D DEL ADOQUIN DE HORMIGON: Manual Euroadoquín.
- DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES DE LA E.T.S.I. DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS: Explanaciones y Drenaje.
- DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES DE LA E.T.S.I. DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS: Firmes y Pavimentos.
- FOMBELLA GUILLEM, RICARDO: Estructuras de Ladrillo.
- IECA: Pavimentos de Hormigón en Entornos Urbanos e Industriales.
- MALPESA GUERRERO, JOSE: El ladrillo cara vista y el adoquín cerámico.
- MINISTERIO DE FOMENTO: Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes, Dirección General de Carreteras.
- MINISTERIO DE FOMENTO: Secciones de Firme y Capas Estructurales de Firmes, Orden Circular 10/2002/ Dirección General de Carreteras.
- MOCAYO V., JESUS: Manual de Pavimentos.
- NORMA UNE-EN 1344: Adoquines de arcilla cocida. Especificaciones y métodos de ensayo.