Guías técnicas ANDECE

PAVIMENTOS Y OTROS ELEMENTOS URBANOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN

Versión 2 – julio 2019

1. INTRODUCCIÓN 4

2. TIPOLOGÍAS DE PAVIMENTOS 6

2.1. Adoquines 6
2.2. Baldosas 12
2.3. Bordillos 19
2.4. Otros elementos prefabricados para pavimentación 22
Pavimento para el Tanatorio Sancho de Ávila en Barcelona 25

3. ELEMENTOS URBANOS 27

3.1. Generalidades 27
3.2. Elementos de uso exterior 28
3.3. Elementos de uso interior 39

4. PRINCIPIOS BÁSICOS DE PROYECTO DE PAVIMENTOS 43

4.1. Generalidades 43
4.2. Elección del prefabricado de hormigón como material de pavimentación 43
4.3. Consideraciones generales de proyecto: adoquines 45
4.4. Consideraciones generales de proyecto: baldosas 57
4.5. Otras consideraciones de diseño 67
4.6. Reglamentación aplicable 70

5. PRINCIPIOS BÁSICOS DE EJECUCIÓN 73

5.1. Adoquines 73
5.2. Baldosas 77
5.3. Bordillos 81

6. SOSTENIBILIDAD 86

6.1. Generalidades 86
6.2. Declaración ambiental de producto (DAP) 86
6.3. DAP de pavimentos prefabricados de hormigón 87
6.4. Otras consideraciones 89

7. METODOLOGÍA BIM 90

7.1. Conceptos básicos 90
7.2. Estrategia BIM de las empresas de prefabricados 91
7.3. Entrada del prefabricador al proyecto 93

EMPRESAS ASOCIADAS 94

SOCIOS ADHERIDOS ***94***

REFERENCIAS ***95***

1. INTRODUCCIÓN

Por lo general no somos realmente conscientes de la abrumadora presencia de elementos prefabricados de hormigón en nuestro entorno e incluso aquellos que se encuentran de manera oculta en los edificios o bajo tierra. Basta con echar un vistazo a tu alrededor y podrás encontrarte con numerosas piezas prefabricadas, habiéndose convertido en un elemento familiar y cotidiano.

Actualmente la oferta de elementos prefabricados de hormigón es tan amplia y versátil que permite realizar, casi en su totalidad, cualquier edificio, infraestructura o espacio urbano sin caer necesariamente en una construcción rígida de catálogo.

Una de las categorías más asentadas es la relativa a los pavimentos prefabricados de hormigón.

El pavimento es la piel del paisaje donde transcurre la mayor parte de nuestra vida en comunidad: la calle, la plaza, el paseo junto al mar, el parque, el patio del hogar, de ahí que sea uno de los grandes campos dentro de la construcción a la que se da cada vez una mayor importancia en la fase de proyecto, en la que arquitectos y clientes con los propios prefabricadores, deben buscar soluciones que transformen el espacio público y el espacio privado en un entorno nuevo y atractivo.

Los primeros pavimentos realizados utilizaban materiales como la piedra natural, la madera o la cerámica, aunque a partir de finales del siglo XIX, e igual que ha sucedido con muchas otras soluciones constructivas, el hormigón en su vertiente prefabricada se ha consolidado como el sistema más universal para la ejecución de pavimentos exteriores, ya que es indudablemente el que mejor responde de forma global a los criterios de diseño y puesta en obra requeridos, preserva su comportamiento a largo plazo, y ofrece enormes posibilidades estéticas para crear pavimentos únicos.

Esta categoría abarca distintos elementos con que recubrir espacios exteriores como aceras, paseos, plazas, recintos interiores abiertos, jardines, etc.: adoquines, baldosas de hormigón o de terrazo, bordillos, losas de césped, rígolas, peldaños, canaletas o rejillas integradas en el pavimento, etc. y que junto a otros elementos de hormigón para el mobiliario urbano que también veremos, conforman un sistema crucial del entorno rural y urbano actual.

En la etapa de proyecto, en la toma de decisión sobre el elemento externo que conformará el pavimento o solado, es necesario que se tengan en cuenta los siguientes factores:

- Funcional:

  - Características resistentes del pavimento: cargas (paso de vehículos, barredoras, peatones), grado de deslizamiento/resbaladicidad admisible
  - Durabilidad (agresividad del ambiente exterior)
  - Diseño (evacuación de aguas)

- Estético: componente formal que se pretenda dar a la zona a pavimentar.
- Coste: materiales, rendimientos de ejecución, posible reutilización futura de los elementos, etc.

Esta guía técnica pretende introducir al lector en todo el potencial que ofrecen los pavimentos y otros elementos urbanos prefabricados de hormigón, frente a otros sistemas alternativos. Repasaremos las principales tipologías de elementos y describiremos una serie de principios básicos que deben tenerse en cuenta para un correcto diseño de estos pavimentos, así como enseñar cuáles son los procesos productivos de los elementos y cómo se ejecutan correctamente dichos sistemas, además de introducir algunas de las tendencias más actuales como la metodología BIM o el cumplimiento de criterios de sostenibilidad.

Figura.- Pavimento descontaminante para el High Line de Sants (Barcelona)

2. TIPOLOGÍAS DE PAVIMENTOS

2.1. Adoquines

2.1.1. Descripción

Los adoquines son piezas prefabricadas de hormigón en masa, normalmente bicapa, que pueden tener multitud de tamaños y formatos. La definición de adoquín según la Norma Europea de producto, indica que cualquier sección transversal a una distancia de 50 mm de cualquiera de los bordes del adoquín, no tendrá una dimensión horizontal inferior a 50 mm. Además, la longitud total dividida por el espesor será menor o igual que cuatro.

En cada unidad de adoquín podemos distinguir dos capas:

- Capa vista: superficie que queda a la intemperie una vez se coloca la pieza, que suele comprender desde 4 hasta 10 mm;
- Capa de base o apoyo: superficie paralela a la capa vista que queda enterrada al colocarse el adoquín.

La gama de adoquines presentes en el mercado es muy extensa, contando con una variedad enorme de acabados obtenidos a partir de diferentes texturas, colores, degradados para obras de rehabilitación en zonas antiguas que se pretenda simular las piezas antiguas (piedra) o distintos tonos dentro de la misma pieza, geometrías, combinaciones de distintos formatos, etc. consiguiendo así lograr distintos efectos estéticos que le permiten al proyectista explotar al máximo su libertad creativa.

La tipología más básica es la del adoquín rectangular de borde liso, pero podemos encontrarnos elementos cuadrados, poligonales, con bordes especiales (redondeados, biselados), etc.

Figura.- Modelos básicos de adoquines rectangulares

No obstante, el habitual adoquín rectangular es cada vez más reemplazado por otros que pueden incluso tener bordes curvos o ensambles especiales. Los moldes permiten además diseñar piezas con resaltes que facilitan la correcta colocación y mejoran el comportamiento del pavimento globalmente.

2.1.2. Algunas consideraciones de diseño

La elección del pavimento con adoquines se basa en una serie de características que proporciona esta solución frente a otras (cerámicas, pavimentos bituminosos, hormigones impresos, etc.), resultando especialmente indicada en situaciones donde resulte necesario soportar cargas elevadas o muy concentradas, en condiciones pobres del terreno en que se asiente, o en áreas en que el pavimento vaya a estar expuesto a condiciones ambientales agresivas.

Los adoquines presentan una serie de prestaciones que lo convierten en un material muy habitual en determinadas zonas, fundamentalmente en exterior, y que en buena medida son también

extensibles a otros elementos prefabricados de hormigón para pavimentación que veremos en el resto de apartados de la guía.

Figura.- Pavimentación de la Plaza del Ayuntamiento de Cervera de Pisuerga (Palencia). 1.050 m2. Un estudiado diseño para ejecutar el escudo de la localidad con adoquines de hormigón 10x10x6 cm envejecido en varios colores

Resistencia: cualquier pavimento tiene que garantizar una adecuada respuesta a los esfuerzos a que estará expuesto, por lo que los sistemas de adoquín son realmente competitivos en las zonas que es necesario soportar grandes esfuerzos por tráfico rodado como puertos marítimos, zonas industriales donde se prevean operaciones de carga y descarga, etc.

Permeabilidad: es una solución permeable, característica necesaria en zonas urbanas donde deben evacuarse las aguas y transportarlas hacia los elementos de recogida de la red de saneamiento o hacia la propia subbase del terreno, y no hacia lo edificios colindantes. Otro aspecto interesante, y que puede extenderse a cualquier pavimento con elementos prefabricados de hormigón, es que facilita la traspiración de la humedad del terreno. La colocación de pavimentos semiflexibles (elementos discontinuos sobre lecho de árido) permite la evacuación de la humedad procedente del terreno, aspecto fundamental en zonas de alto nivel freático (zonas urbanas próximas a ríos, alta pluviometría, etc.). Esto además impide el daño que la humedad provoca sobre los edificios colindantes que carezcan de una adecuada

impermeabilización en los arranques de los muros exteriores, zona por la que se suele canalizar la humedad cuando el pavimento es rígido y continuo y no se cuenta con vías de escape.

Figura.- Línea de losas SUDS (sistemas urbanos de drenaje sostenible) que permite la infiltración del agua pluvial, disminuyendo el volumen de escorrentía minimizando los daños por inundaciones y beneficiando con esto la recarga de acuíferos

Durabilidad: tienen un buen comportamiento frente al vertido de combustibles, aceites, grasas y lubricantes en general, frente a los pavimentos bituminosos que experimentan una mayor degradación ante estos vertidos. Esto se pone de manifiesto especialmente en determinadas zonas de circulación, como pueden ser las paradas de autobús, áreas de alta concentración de vertidos, y se necesita filtrarlos para reducir el deslizamiento de la superficie.

Menor deslizamiento/resbalamiento: la rugosidad de la cara exterior le proporciona una buena resistencia al deslizamiento y/o resbalamiento (también resbaladicidad), según el caso.

Acústica: esto tiene especial trascendencia en vías urbanas, donde se quiere ralentizar la velocidad de circulación de los vehículos por motivos de seguridad. Una superficie adoquinada provoca una sensación de incomodidad en la circulación que alerta al conductor si avanza a velocidades excesivas, evitando otro tipo de limitadores (badenes) que representan una barrera, en ocasiones peligrosos y costosos de mantener.

Ecológico: otra función que cada vez tiene mayor importancia en los pavimentos en general es su vertiente ecológica, al encontrarse en zonas de gran generación de contaminación, por ejemplo dotándoles de distintas propiedades adicionales como la capacidad de captación del CO2 ambiental, mediante la transformación en carbonato cálcico (fenómeno de carbonatación); la acción biocida (impide la fijación de microorganismos vivos e inertiza los sedimentos orgánicos); la reducción de la concentración ambiental de contaminantes como los óxidos de nitrógeno o los compuestos orgánicos volátiles (principio activo fotocatalítico); e incluso proporcionarle la capacidad de autolimpieza.

Térmico: la alta inercia térmica del hormigón permite a los elementos prefabricados una menor contribución al efecto "isla de calor urbana", frente a otros tipos de materiales utilizados como pavimentación (mezclas bituminosas) que de día absorben el calor del sol y, de noche dificultan su disipación, haciendo que se eleve la temperatura media en la ciudad

Movimientos orogénicos: al tratarse de pavimentos semi-rígidos, absorbe mejor los movimientos que se producen de manera constante en la superficie terrestre.

Escasos gastos de conservación: frente al mantenimiento que cualquier pavimento requiere bajo la acción agresiva de las cargas y del medio ambiente, en un pavimento de adoquines se reduce a eliminar la vegetación, que eventualmente se produzca en las juntas entre bloques, y a suministrar, en su caso, la arena de sello. Por otro lado, en el caso de ser necesaria una

corrección de regularidad superficial (asientos localizados), este pavimento es el que presenta una mayor facilidad de levantamiento, con posible reutilización de los mismos adoquines en su reposición, y en consecuencia, un mayor valor residual. Esta última propiedad, lo hace especialmente indicado en zonas que aún no poseen todos los servicios públicos instalados (caso frecuente en ciudades), o en aquellas susceptibles de asiento (rellenos inestables). Durante los procesos de renovación, se prevé que entre un 90 y 95% de los adoquines originales podrán ser empleados en usos posteriores, además de facilitar las tareas de reparación del subsuelo.

A todas estas características técnicas debemos añadir el componente **estético**, cuyos tratamientos superficiales principales veremos más adelante en el apartado de baldosas.

2.1.3. Algunas consideraciones de fabricación

El adoquín se fabrica a partir de hormigón vibroprensado, consiguiendo una mejora de la resistencia a compresión. El vibroprensado es un proceso automatizado que consiste en la superposición de dos amasadas en moldes metálicos de las piezas, para posteriormente comprimirlas a una determinada presión, produciéndose la vibración del conjunto al mismo tiempo que la compresión. Esta operación se realiza dos veces, una para cada capa de la pieza (si son bicapa), asegurándose así la perfecta cohesión entre ambas.

Los moldes con los que se fabrican estas piezas permiten además diseñar adoquines con resaltes que facilitan la correcta colocación y mejoran el comportamiento global del pavimento.

2.1.4. Algunas consideraciones de puesta en obra

La mayoría de los elementos prefabricados de hormigón para pavimentación tienen la ventaja de que pueden ser instalados de forma manual, ágil y sencilla, aunque también se han desarrollado técnicas y equipos de colocación mecanizada.

Independientemente del método de colocación, la puesta en obra se puede realizar dentro de áreas confinadas o de difícil acceso, pudiéndose resolver complicadas alineaciones o aplicarse en zonas de altas pendientes, cargas muy pesadas, etc.

Es fundamental que la base que sustentará el adoquín esté debidamente ejecutada, como la capa de árido en la que apoyará que deberá ser uniforme y correctamente compactada.

2.2. Baldosas

2.2.1. Descripción

Consiste en un elemento prefabricado de hormigón de mayores dimensiones que los adoquines, que satisface las siguientes condiciones:

- Su longitud total no suele exceder de 1 m;
- Su longitud dividida por su espesor es mayor que 4.

Generalmente tienen formato cuadrado o rectangular, siendo las dimensiones más comunes entre 200x200 y 600x600 mm. Cuando nos referimos a baldosas de gran formato (superiores a 600 mm de lado y espesores mayores de 50 mm) se conocen como losas de pavimentación; para medidas inferiores (espesores entre 25 y 60 mm) se conocen como losetas.

Igual que en los adoquines, son elementos de hormigón no armado y se fabrican normalmente bicapa, aunque también cabe la posibilidad de ser monocapa (ejemplos de formatos: 50x50x2,5 cm, 60x60x2,8 cm, compuesta exclusivamente de material noble).

PRODUCTO	LONGITUD X ANCHURA (cm x cm)	ESPESOR (cm)
TECNOLOSETA	15 X 15	2,5-6 (*)
	20 X 20	
	25 X 25	
	CARTABÓN 15	
TECNOTERRAZO Y TECNOBALDOSA	25 X 25	3-6
	30 X 30	
	33 X 33	
	40 X 40	
	50 X 50	
	33 X 50	
	40 X 60	
	60 X 60	
	HEXÁGONOS	
TECNOLOSA	60 X 60	6-10
	80 X 80	
	80 X 40	
	90 X 90	
	100 X 100	

Figura.- Dimensiones nominales de las baldosas (valores comunes)

Su aplicación puede ser en exterior (áreas peatonales, cubiertas de edificios, pavimentos registrables, piscinas, etc.) o interior.

Existe una variante que es la llamada baldosa de terrazo, que cuenta con unas características mecánicas y estéticas adicionales, que explicaremos a continuación. Hay otras variedades y denominaciones para las baldosas prefabricadas de hormigón, productos que se diferencian en sus métodos de fabricación y en el tamaño de las series de producción, pero aúnan las mismas características y ventajas.

De la misma forma que con los adoquines, la combinación de formatos, colores, tamaños de grano de la capa vista, etc. tiene como resultado una amplia gama de soluciones que permite la creación de solados interiores o exteriores de gran belleza, fácil mantenimiento, resistencia y durabilidad.

2.2.2. Tipos

2.2.2.1. Baldosas de hormigón

En general, no deja a la vista los áridos, presentando en su cara vista acabados de prensa (pétreos o texturizados). Su cara vista puede ser sometida a tratamientos secundarios, como granallado u otras texturas.

2.2.2.2. Baldosas de terrazo

Son baldosas de hormigón en las que la capa superficial deja los áridos vistos. La capa vista o de huella está compuesta por cemento, marmolina, pigmentos (inorgánicos u orgánicos) y triturados de mármol, granito o piedras duras. En este producto el aspecto decorativo del pavimento es predominante y sus métodos de fabricación aseguran una gran variedad de gama con series de fabricación cortas. Para su uso en interior suele precisarse tratamientos de acabado superficial en obra.

2.2.2.3. Variantes

2.2.3.1.1. Pavimentos táctiles

Su misión es proporcionar información sobre barreras arquitectónicas y urbanísticas del entorno a peatones parcial o totalmente invidentes (pasos de peatones, paradas de autobuses, accesos a edificios, bocas de metro, etc.). Se emplean tanto en exterior como en interior, colocándose al inicio del elemento u obstáculo a alertar. Las dos configuraciones habituales son las baldosas de botones (como señal de alerta) y las baldosas de barras longitudinales (indicar la dirección correcta).

2.2.3.1.2. Pavimentos flotantes

Los pavimentos flotantes o practicables están constituidos por baldosas que se apoyan sobre soportes o plots, que dejan un espacio libre inferior para el paso de canalizaciones, o bien porque se quiera una rápida evacuación de las aguas de lluvia o de las utilizadas en la limpieza del pavimento.

2.2.3.1.3. Baldosas de gran formato

Por sus dimensiones (incluso más de 1 m) pueden conocerse también como losas y admitir distintas variantes de diseño.

Figura.- Baldosas de hormigón de gran formato para salvar desniveles

2.2.3. Algunas consideraciones de diseño

2.2.3.1. Uso interior

Requiere fundamentalmente que la cara vista de la baldosa quede pulida. En este caso prima la resistencia y la no reactividad al fuego. Asimismo, presentan un buen comportamiento al deslizamiento (ruedas) y resbalamiento (personas).

En función del uso de la zona a pavimentar, las baldosas pueden fabricarse en diferentes clases resistentes (normal, intensivo ó industrial), para mejorar su comportamiento y durabilidad. Este pavimento tiene un fácil mantenimiento, que se limita a una simple limpieza. Tras años de exigente servicio puede sometérsele a un pulido y abrillantado superficial, para devolver la cara vista a su estado original.

2.2.3.2. Uso exterior

Las baldosas cumplen con las características mínimas exigibles para cualquier pavimento de áreas exteriores, igual que vimos anteriormente con los adoquines.

Figura.- Pavimento resuelto con baldosas y adoquines prefabricados de hormigón

2.2.3.3. Acabados

Además de las prestaciones funcionales que cumple estos elementos, es importante destacar las amplias posibilidades estéticas que ofrecen las baldosas, condicionadas especialmente por el tipo de acabado superficial y los colores.

Pulidos: acabado mediante el cual la cara vista queda perfectamente lisa, con el empleo en fábrica de pulidoras industriales, pudiéndose suministrar con diversos grados de pulido en función de los requerimientos del cliente. En las baldosas pulidas se puede conseguir una amplia gama de colores y tonalidades al combinar los áridos y la pigmentación de la cara vista. Suele ser la técnica habitual empleada para las baldosas de interior.	
Granallados: con este procedimiento se consigue una superficie rugosa, antideslizante y plana. El proceso de granallado se realiza mediante proyección a alta velocidad, por turbinas, de granalla de acero sobre la cara vista de la baldosa. Al someter la superficie a estos tratamientos mecánicos, se detecta en fábrica cualquier defecto estructural o superficial, constituyendo un control estricto de la calidad de la baldosa.	
Texturizados: la textura de la cara vista se obtiene directamente del molde de la prensa, sin someter ésta a tratamientos mecánicos. Las baldosas pueden presentar diversidad de texturas, bien de aspecto natural (pizarras, pergaminos...) o artificial (granallados...)	
Bajorrelieves: diseños especiales de la capa vista, obtenidos directamente de prensa: pastillas, escudos, motivos decorativos, señales de identificación, etc. Los bajorrelieves se pueden suministrar tal como salen de prensa, o después de ser sometidos a un proceso de pulido, consiguiendo una mejor estética de la cara vista. El diseño del bajorrelieve se debe realizar atendiendo a conseguir un mínimo deslizamiento en cualquier dirección.	

Táctiles: acabado que cuenta con relieves especiales de las baldosas obtenidos directamente del molde o prensa, posibilitando plantas y alzados de la capa vista específicos, que proporcionan informaciones a usuarios discapacitados, permitiendo a su vez el paso de sillas de ruedas y el apoyo estable de bastones.	
Lavados: acabado en el que, mediante procesos secundarios, se elimina parcialmente el mortero de su capa vista con el fin de dejar visibles los áridos.	
Mixtos: acabado en el que se combinan algunos de los tratamientos superficiales anteriores, obteniéndose diseños especiales de la cara vista, ampliándose las posibilidades de tonos, brillos, texturas, formas y diseños.	

2.2.4. Algunas consideraciones de fabricación

Las baldosas se fabrican individualmente bien por compresión y/o vibración, o moldeadas como grandes placas o bloques, antes de cortarlas al tamaño especificado. Se pueden aplicar algunos de los tratamientos de acabado superficial indicados.

Son elementos sujetos a unos controles importantes por parte del fabricante, para de esta forma asegurar las características finales del producto. Podemos destacar el ensayo de flexión, que determinará la resistencia mecánica del elemento.

2.2.5. Algunas consideraciones de puesta en obra

En un elemento constructivo tan común y extensamente utilizado, destaca la facilidad de reparación y montaje. De peso reducido y facilidad de colocación, permite también la emular series ya colocadas. Se garantiza así, no sólo el mantenimiento y la reposición sino también la reconstrucción de suelo tras las obras.

Figura.- Estación de metro con baldosa como pavimento, baldosa tactil, revestimiento vertical y bancos

2.3. Bordillos

2.3.1. Descripción

Elemento prefabricado de hormigón no armado de sección prismática que, de forma individual o combinada con otras unidades, se destina a separar superficies del mismo o diferente nivel para proporcionar confinamiento o delimitación física o visual, y separación entre superficies sometidas a distintos tipos de tráfico, como por ejemplo, calzadas, aceras, carriles-bici, jardines, etc. También empleados como elementos de drenaje superficial.

Al igual que en el resto de los elementos prefabricados para pavimentación, al conseguir un hormigón muy compacto y de alta resistencia, es un producto con características mecánicas contrastadas y durabilidad muy alta, especialmente en situaciones de abrasión o impacto ya que son los elementos que normalmente sufren en primer lugar las acciones de los vehículos.

Soportan perfectamente la exposición a las inclemencias naturales como el hielo, la lluvia y el calor. Son a la vez resistentes a vertidos de sustancias químicas y disolventes en general (aceites, grasas, lubricantes, gasolinas).

Figura.- Limitación de zona ajardinada con bordillo

2.3.2. Algunas consideraciones de diseño

Cada fabricante suele contar con una gama determinada de modelos, con unas dimensiones fijas: longitudes habituales (50 a 100 cm), espesores (20 a 30 cm) y alturas (10 a 35 cm). También cabe la posibilidad de bordillos pequeños, especialmente en aplicaciones más decorativas (jardines, etc.).

Normalmente son piezas rectas, pero también existe la posibilidad de encontrarnos bordillos con cierta curvatura para adaptarse a los trazados que delimitan.

El perfil normal suele tener el borde exterior en chaflán o ángulo, de forma que se elimina el riesgo que habría en caso de que el borde fuese cortante. Las caras vistas suelen ser planas (con cierto grado de rugosidad).

Al color se añade las posibilidades del acabado de la cara vista puede ser liso, pintado, abujardado, pigmentado, lavado, texturizado, con relieves acústicos o rebajes para incorporación de reflectantes...

Otras variantes especiales que hay en el mercado son

- Los bordillos de esquina (o escuadra): pieza destinada al encuentro en ángulo recto de dos líneas de bordillos perpendiculares;
- Imbornales: tipo de bordillo sumidero que cuenta con un rebaje o buzón para evacuar las aguas superficiales hacia la red de saneamiento;

- Los bordillos de seguridad: producto específico de mayores dimensiones para separaciones de vehículos en determinadas áreas (aparcamientos, accesos para delimitar los carriles, etc.);
- Los bordillos de redireccionamiento de vehículos: cuentan con un perfil especial, que en caso de que un vehículo se salga de la calzada, ayuda a éste a recuperar la dirección de marcha previa;
- Los vados: bordillos con un perfil específico en pendiente que desempeñan una importante función de transición entre los planos de calzada, aceras, isletas, rotondas, etc. Se distinguen entre vados peatonales (intersección entre tramos peatonales a distinto nivel) y vados para vehículos (facilitan la entrada o salida de vehículos desde los garajes hacia la calzada pasando por la acera).
- El alcorque: tipo de bordillo con la misión de formar un perímetro de protección alrededor de un árbol.

Figura.- Vados

Figura.- Alcorque

2.3.3. Algunas consideraciones de fabricación

Pueden fabricarse en bicapa (más habitual si se quiere dotarle de una característica estética en la capa superficial) o monocapa. Como ya hemos indicado, son elementos que estarán a la intemperie y se les exige unas garantías mínimas mecánicas y de durabilidad, por lo que se debe jugar con una rica dosificación de las materias primas empleadas en la fabricación del hormigón.

2.3.4. Algunas consideraciones de puesta en obra

Normalmente, la colocación de los bordillos es previa a la ejecución de los pavimentos que delimitará. El proceso suele pasar por las siguientes etapas: preparación de la línea de soporte; construcción de la solera; colocación en línea y a nivel; asiento de las piezas; y refuerzo posterior.

Para soportar el bordillo es fundamental la base sobre la que se asiente, para poder transmitir las cargas a que puedan someterse y mantener su posición inicial.

Por otra parte, los bordillos también pueden servir como marcadores visuales que destacan los bordes del pavimento o advirtiendo de un cambio de nivel, de ahí que es imprescindible guardar la linealidad y nivel correctos, pues de lo contrario quedará afectado funcional y estéticamente.

2.4. Otros elementos prefabricados para pavimentación

2.4.1. Peldaños o escalones

Se trata de elementos que pueden recubrir la escalera cumpliendo la función de pavimento, o incluso conformar los escalones de la misma. Se trata de una solución muy apreciada en zonas de mucho tránsito de personas (parques, zonas comerciales, etc.) tanto en escaleras de exteriores como de interiores, donde se busca dotarles de un componente estético adicional.

2.4.2. Losas de césped

También conocidas como celosías, rejillas o pavicésped, es una pieza prefabricada de hormigón en masa destinada a la realización de pavimentaciones de uso peatonal o en áreas sometidas a tráfico de vehículos ligeros donde se precise el crecimiento de vegetación dando lugar a un pavimento de menor impacto visual y, por tanto, más ecológico. Además, pueden utilizarse en taludes de baja inclinación como muro decorativo para sujeción del terreno.

Otra variante son las placas de césped, elementos continuos que se disponen para permitir el paso de personas a través de espacios o caminos ajardinados.

Figura.- Pavicésped

Figura.- placas de césped

2.4.3. Rodapiés

También llamado zócalo, es una pieza prefabricable en hormigón que se coloca en la base de los tabiques o muros de los locales interiores como elemento estético y para protegerlos de golpes o roces. Suelen ser del mismo color que el pavimento.

2.4.4. Elementos de encauzamiento de agua

Tienen una función de canalización superficial y de encintado de la capa de rodadura de la calzada, por lo que también se conocen como rígolas, cunetas o caces (*también incluidas en la guía técnica de canalizaciones de ANDECE*). Se emplean en conjunción con el resto del pavimento para recogida lateral del agua de calzada o bien utilizadas independientemente como

canalización central. Igual que en el caso de los bordillos, pueden además servir como borde de confinamiento del pavimento.

OBRAS CON ELEMENTOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN

Pavimento para el Tanatorio Sancho de Ávila en Barcelona

Los arquitectos Jordi Frontons, Pau Frontons y Xavi Duran, de JFA Estudio de Arquitectura, han sido los encargados de la renovación del tanatorio Sancho de Ávila, ubicado en Barcelona, que abrió sus puertas en 1968 siendo originalmente el primero en introducir en España el concepto de velar a los difuntos fuera del domicilio familiar. 50 años después, se ha diseñado un nuevo modelo para este tanatorio adaptado a las necesidades del presente y del futuro del sector, con el objetivo de convertirlo en un referente en la ciudad.

El proyecto se ha diseñado en base a dos volúmenes que albergan los usos diferenciados del mismo complejo, creando una plaza interior como eje principal del mismo. El resultado es un nuevo parque urbano que integra todas las edificaciones, gestiona los flujos y enmarca el conjunto en el entorno urbano.

Tal y como describen los arquitectos “Buscamos que los espacios destinados a las familias resulten amables desde la sencillez, la luz y la versatilidad. A nivel de ciudad, buscamos reforzar la marca Sancho de Ávila desde la modernidad y abrir el complejo funerario a todo el barrio a través de un nuevo paisaje urbano de transición, descanso y servicios.”

Una de nuestras empresas asociadas ha participado en este proyecto con el suministro de una de sus baldosas para la pavimentación del área exterior. La Llosa Vulcano es una losa de 60x40x7cm de alta calidad que permite garantizar una pieza de dureza singular y un colorido estable ante el paso del tiempo.

La Llosa Vulcano es adecuada para pavimentar superficies destinadas a plazas públicas, aceras y accesos a edificios. Por lo que, ha resultado ser una solución ideal para el edificio, donde predominan los grandes espacios abiertos al espacio público llenos de calma y personalidad. Destacamos el uso del color ceniza para el pavimento, que se fusiona a la perfección con todos los elementos del proyecto.

Ficha resumida del proyecto

- Oficina de arquitectura: JFA- Estudio de arquitectura
- Ubicación: Calle Almogavers, 93 – Barcelona, España.
- Área: 10.250 m2
- Año finalización proyecto: 2018
- Fotografías: Adrià Goula

Fuente web ANDECE

3. ELEMENTOS URBANOS

3.1. Generalidades

Una de las características fundamentales del hormigón es su carácter formáceo para reproducir casi cualquier diseño que se requiera, además que responde de forma idónea una vez puesto en servicio por sus características mecánicas y gran durabilidad, lo que ha permitido que los múltiples elementos prefabricados de hormigón empleados como elementos ornamentales exteriores, ofrezcan mayores garantías que otros materiales (metálicos, plásticos, madera, etc.) frente a las condiciones ambientales, e incluso a cualquier acto vandálico.

Generalmente de hormigón en masa, la gama de productos es tan extensa que sólo vamos a citar aquellos que nos encontramos con mayor frecuencia, aunque podríamos incluir otros como elementos para zonas de juego infantil, estatuas, esculturas, buzones de correo y un largo etcétera.

Figura.- La plaza frente a la biblioteca Renate Media Center en Ingelheim (Alemania) se organiza con tres islas verdes en forma de ameba y de distinto tamaño, con plantación de árboles de sombra, limitadas por piezas a medida de hormigón moldeado de color blanco, que ejercen la función de banco y de contención de tierras. Las distintas curvaturas se resuelven con diez modelos diferentes y un total de 72 piezas para todo el proyecto

3.2. Elementos de uso exterior

3.2.1. Bancos y sillas

Son empleados como equipamiento permanente, siendo instalados en zonas en las que no se prevé su traslado durante largos períodos de tiempo. Muy resistentes, lo que les hace aptos para cualquier tipo de clima. Pueden cumplir simultáneamente una misión funcional y estética, van desde formas simples y rectas hasta auténticas esculturas de sinuosos relieves, dependiendo de las necesidades de diseño.

Bancos sin respaldo

Desde formas más simples y rectas hasta curvas y ornamentadas, se emplean tanto para su función básica que es la de ofrecer descanso, como para separar distintos ambientes a lo largo del paisaje urbano.

Bancos con respaldo

Se puede dotar al prefabricado con una serie de acabados, como son los texturizados, e incluso con el diseño de los mismos elementos, para crear espacios y ambientes integrados.

Bancos ocio-juego

Empleados en zonas infantiles y de ocio.

Bancos jardinera

Aprovechamiento del espacio al máximo en el que se unen descanso y zonas verdes en el paisaje urbano.

Sillas y asientos

Silla “para sentarse bien”, de forma simple y anatómica. La modularidad de la pieza puede aportar la posibilidad de crear espacio, de contener o de crear un banco lineal. Consta de un amplio programa de complementariedades de color y posibilidades de combinaciones (con reposabrazos integrado, etc.)

3.2.2. Mesas

Las mesas, junto con sus respectivos asientos, ofrecen lugares de descanso, con acabados pulidos y de líneas puras, siempre integrándose con el entorno. Solución muy típica en merenderos, jardines o campings.

3.2.3. Jardineras y floreros

Para la integración de espacios verdes en zonas donde por geometría o por imposibilidad con el entorno no sea posible la realización de los mismos, estos elementos se mimetizan con el entorno para reducir la contaminación y favorecer la calidad del aire.

Una variante son las macetas integradas en el propio terreno que sirven de elemento contenedor para la filtración y drenaje del agua procedente de la lluvia, y que pueden adoptar formas y dimensiones diversas.

También existe otra combinación interesante de jardineras, que por un lado se emplean como elemento arquitectónico y por otro como barrera para delimitar ciertos espacios públicos o privados a los que se pretende impedir o entorpecer el paso por motivos de seguridad.

3.2.4. Fuentes y bebederos

Elementos integrados con el espacio que los rodea, desde diseños más tradicionales hasta formas más innovadoras.

3.2.5. Papeleras y ceniceros

Resistentes a la intemperie, cubren necesidades de recogida de residuos urbanos, implementados con diseños en mayor o menor medida integrados.

3.2.6. Parrillas

La antigua costumbre de preparar la carne asada en el primitivo fogón constituido por un hoyo excavado en el suelo se ha ido modernizando, llegando hasta los centros urbanos convertido en una construcción sencilla, pero cómoda y estable. Es así como actualmente vemos en la casa

de campo o fin de semana, lugares de recreo, etc., diversos tipos de fogones que permiten preparar asados y cocinar alimentos a la gran cantidad de personas que buscan en la vida al aire libre saludable y agradable esparcimiento.

3.2.7. Farolas y balizas

En estos elementos se puede jugar añadiendo valores estéticos y de diseño para la integración de estos elementos en el paisaje urbano.

3.2.8. Elementos viales

En este apartado se incluyen bolardos, esferas, protectores de vado, plataformas para autobuses, topes de estacionamiento, mojones, segregadores de carril, aparcabicicletas, hitos, etc.

Figura.- Los bordillos CABIR 20 y 30 pueden definirse como un elemento protagonista de los más de 120 km de carril bici ejecutados en varias fases en la ciudad de Valencia.

3.2.9. Marquesinas

En arquitectura y construcción, una marquesina es una estructura que sirve como un refugio de la lluvia, viento o sol. Se trata de una tipología constructiva que se puede conformar a partir de elementos prefabricados de hormigón, especialmente por su mayor durabilidad y resistencia mecánica (riesgo de colisión de vehículos en zonas urbanas, actos vandálicos, etc.)

Figura.- Marquesina prefabricada de hormigón en el puerto de Málaga (España). Cumple simultáneamente dos objetivos: uno funcional (proyectar sombra a las personas que caminen por el paseo marítimo) y estética (característica demandada en este tipo de zonas)

3.2.10. Totems y letras decorativas

Se agrupan en esta categoría todos aquellos elementos de hormigón prefabricado de formas geométricas variadas que llevan impreso en bajo o alto relieve alguna inscripción, como es el

caso habitual de muchas empresas que lo colocan a la entrada de sus instalaciones, o para identificar ciertos lugares.

3.2.11. Elemento de delimitación de espacios

3.2.11.1. Vallas

Elementos que se utilizan para el cierre de fincas, parcelas, etc. Puede resolverse mediante paneles macizos o con sistemas discontinuos (con postes y travesaños), incluso proporcionando algún valor estético adicional (colores, texturas, modulación dimensional, etc.).

Aunque no necesariamente quedan incluidos como tal en esta categoría, también podrían reseñarse aquellos elementos prefabricados de pequeña dimensión que se utilizan para el apoyo temporal de vallas urbanas (generalmente metálicas).

3.2.11.2. Barreras contra ataques terroristas o vandálicos

Se trata de un elemento que, desafortunadamente, la industria se está viendo obligada a diseñar y poner en el mercado ante el incremento de actos terroristas o vandálicos. El hormigón por su propia naturaleza masiva y resistente, se presenta como el material idóneo para conformar elementos espaciales que impidan o limiten el acceso intencionado a determinadas zonas, y minimice los efectos indeseados en caso de ataques.

3.2.11.3. Balaustradas

Cumpliendo una función similar, pero con un valor estético adicional por una mayor gama en diseños y acabados, nos encontramos con las balaustradas o balaustres empleados para actuar como barandillas y cerrar balcones, terrazas, escaleras, accesos a casas, etc.

3.3. Elementos de uso interior

El hormigón empleado es un material versátil, de muy altas prestaciones para la realización de elementos moldeados más livianos y con excelentes acabados, texturas y colores. En este sentido, se busca una mayor ligereza del material (fibras, áridos finos, etc.) para conformar secciones mínimas, que además permitan fabricar formas complejas y una fácil manipulación de los elementos.

3.3.1. Mobiliario interior

Mesas, sillas, tableros, taburetes, etc.

Hay posibilidad incluso de que suministre directamente el hormigón, más como mortero seco listo para usar en la fabricación.

3.3.2. Objetos de decoración

Jarrones, lámparas, esculturas, etc.

3.3.3. Diseño comercial

Stands, expositores, mostradores, estanterías, etc.

3.3.4. Baños y cocinas

Lavabos, fregaderos, encimeras, platos de ducha, etc. Aquí se puede citar el empleo del GRC, el hormigón reforzado con fibras poliméricas o el hormigón polímero, ofreciendo una aplicación con mucho recorrido para la industria.

Aquí aparece una técnica más innovadora para revestimientos como encimeras, lavabos o platos de ducha, pero también para otros elementos como peldaños, zócalos, remates especiales, albardillas, mobiliario, etc. cortando las piezas a medida a partir de grandes bloques de aglomerado de cemento y triturado de mármol.

3.3.5. Paredes y techos

El hormigón prefabricado comienza poco a poco a introducirse como material de revestimiento interior, ya sea mediante paneles, baldosas u otros elementos de pequeño espesor (10 mm como máximo) y que incluso se pueden colocar contra la superficie existente para mejorar la estética

de los espacios en habitaciones, baños o cocinas, de viviendas, restaurantes, hoteles, centros comerciales, edificios de oficinas, etc.

4. PRINCIPIOS BÁSICOS DE PROYECTO DE PAVIMENTOS

4.1. Generalidades

Las funciones de un firme son básicamente las siguientes:

- Dar lugar a una superficie de rodadura segura, confortable y de características fijas bajo las cargas periódicas del tráfico a lo largo del periodo de proyecto durante el cual solo sería precisa alguna que otra actuación esporádica de mantenimiento;
- Soportar las cargas del tráfico previsto y transmitir las presiones verticales producidas por estas cargas, de forma que a la explanada sólo llegue una pequeña fracción de las mismas, compatible con la capacidad de soporte de la explanada;
- Servir de protección a la explanada de las incidencias climatológicas, y más en particular a las precipitaciones y al efecto nocivo de las heladas, con los efectos que éstas tienen sobre la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos.

El procedimiento básico de proyecto incluye dos etapas:

1) Identificación de la zona a pavimentar, incluyendo la caracterización de la composición del firme, determinando el tipo de material y espesor que conformará el pavimento o capa superior, basándose en criterios funcionales, estéticos y económicos;
2) Elección del acabado superficial.

En esta guía técnica nos centraremos fundamentalmente en el diseño de pavimentos exteriores, pues son éstos los que deben satisfacer un mayor grado de exigencias, al estar expuestos al tráfico rodado y a una mayor agresividad de las condiciones ambientales.

4.2. Elección del prefabricado de hormigón como material de pavimentación

4.2.1. Decisiones del proyectista

En primer lugar, el proyectista debe decidir con qué material o materiales cerrará superiormente el firme, según la oferta del mercado (prefabricados de hormigón, asfálticos, cerámicos, piedra natural, vinílicos, etc.) Dentro de las características que ofrecen cada uno de ellos, la elección

vendrá condicionada por aspectos tales como funcionalidades requeridas (rodadura cómoda y segura, durabilidad e integridad), precio, disponibilidad, experiencia previa en su uso, gastos de conservación y reparación, estética, etc. No obstante, la primera limitación importante es que los prefabricados de hormigón sólo tienen cabida en calzadas con una velocidad de circulación máxima de 50-60 km/h, que es la habitual de muchas zonas urbanas, además de las calles y aceras de uso exclusivamente peatonal o de tráfico ligero.

En cualquier caso, debe reseñarse que la buena resolución de un pavimento dependerá especialmente de la correcta ejecución, mucho más que la definición precisa durante el proyecto.

4.2.2. El rol del prefabricador

Normalmente el prefabricador desempeña un perfil bajo durante el proyecto, llegando en muchos casos a no intervenir en ninguna de las discusiones técnicas que se pueden abordar en esta fase. Es el caso en que se requiere al fabricante que oferte y suministre un tipo de adoquín, baldosa, terrazo, etc. dentro de su gama de modelos de catálogo.

Sin embargo y con mayor frecuencia, empiezan a ganar terreno empresas prefabricadoras que además cuentan con un servicio de asistencia técnica de proyecto, prestando un servicio completo e integral a lo largo de todo el proceso de diseño y construcción del pavimento:

- Propuesta inicial: se realiza una primera aproximación a lo que podría ser el resultado final del proyecto, incluyendo infografías y presentaciones multimedia;
- Anteproyecto: dossier con información más detallada en cuanto a planos, estimaciones económicas y de rendimientos de ejecución;
- Proyecto: desarrollo completo del proyecto, con todo lo necesario (planos, memorias, certificados y presupuestación) para poner en marcha la obra;
- E incluso dirección de obra: la propia empresa se encarga de la puesta en marcha y seguimiento de la obra.

4.3. Consideraciones generales de proyecto: adoquines

4.3.1. Datos de partida

4.3.1.1. Principios generales

Entre las secciones estructurales especificadas se deberá seleccionar en cada caso la más adecuada, dependiendo de las técnicas constructivas y de los materiales disponibles, así como de los aspectos funcionales y de seguridad de la circulación vial. Además, se debe incorporar un estudio de los costes de construcción y de conservación, junto a la consideración de aspectos relacionados con la protección ambiental, de manera que la solución elegida quede plenamente justificada.

Los datos de partida que se precisan para el diseño de un pavimento de adoquines de hormigón tienen relación con la calidad de la explanada y el nivel de tráfico que soportará, a partir del cual se puede estimar la composición de las distintas capas que conformarán el firme.

4.3.1.2. Calidad de la explanada

Para la caracterización de la explanada, los dos procedimientos más usuales son el ensayo de placa de carga [+] y el índice CBR (*California Bearing Ratio*) [+], clasificando la explanada en tres grupos según su capacidad portante en función de su estado, densidad y humedad, así como de la sobrecarga que se le aplique.

E1	5 ≤ CBR < 10	Explanada deformable
E2	10 ≤ CBR < 20	Explanada poco deformable
E3	20 ≤ CBR	Explanada muy poco deformable

4.3.1.3. Nivel de tráfico

Para caracterizar el nivel de tráfico es necesario realizar conteos directos o previsiones del mismo, con especial prevalencia de los vehículos pesados por día que circularán por el carril en el momento de la puesta en servicio y la vida útil del pavimento (por ejemplo, 20 años). Existen reglamentaciones que determinan la intensidad media diaria de vehículos pesados, dependiendo

del tipo de vía (autovías o autopistas, carreteras de titularidad nacional, regional o local, si se trata de zona urbana, etc.)

4.3.1.4. Viales y zonas de aparcamiento

Categoría	Tráfico de proyecto (vehículos pesados al día)	Ejemplos
C0	De 50 a 150	Calles, arteriales o principales, estaciones de servicio, paradas de autobuses, etc.
C1	De 25 a 49	Calles, arteriales o principales, que no sean travesías de carreteras
C2	De 15 a 24	Calles muy comerciales. Calles con 6 m o más de ancho y con servicio regular de autobuses (más de 1 autobús/hora)
C3	De 5 a 14	Calles comerciales, es decir, con tiendas, pequeñas industrias, talleres u otros. Calles con 6 m o más de ancho sin servicio regular de autobuses urbanos (menos de 1 autobús/hora)

C4	De 0 a 4	Calles exclusivamente residenciales con las edificaciones ya construidas y sin tráfico comercial. Calles con anchura inferior a 6 m, sin tráfico comercial. Aparcamientos de vehículos ligeros. Zonas peatonales sin acceso de vehículos pesados.

Tabla.- Caracterización del tráfico en viales urbanos y zonas de aparcamiento

Considerando que en las vías estrechas donde no se dispone de un carril en cada sentido, el tráfico tiende a circular por el centro del mismo, se aplica al número medio diario de vehículos pesados, un coeficiente corrector en función del ancho de la calzada, para obtener así el denominado tráfico de proyecto.

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

Tabla.- Coeficiente corrector por ancho de calzada

4.3.1.5. Zonas industriales

Se caracteriza por la posibilidad de tener que soportar tránsito de vehículos de carga media, y acciones derivadas de un uso más exigente. Algunos ejemplos de aplicación son los siguientes: talleres, fábricas, zonas de manejo de equipajes en andenes, aeropuertos, estaciones, muelles de carga, almacenes, etc.

Área		Uso	Carga de calculo
Área comercial	De operación		Alta
	Almacenamiento	Mercancía convencional	Media
		Mercancía pesada	Alta
	De manipulación de mercancía		Alta
	Estacionamiento	Vehículos pesados y ligeros	Media
		Vehículos pesados exclusivamente	Alta
		Semirremolques	Alta
Área militar	De operación		Alta
	Almacenamiento	Mercancía convencional	Media
		Mercancía pesada y semirremolques	Alta
Área pesquera	Almacenamiento		Media
	Manipulación		Alta

	De clasificación, preparación y venta		Media
Área industrial	De operación		Alta
	Almacenamiento	Mercancía convencional	Media
		Mercancía pesada	Alta

A efectos de unificación de secciones tipo, se recomienda aplicar la carga de cálculo más exigente que resulta de analizar los diversos usos a los que se pueda destinar un área determinada durante su vida útil. Una vez determinada la carga de cálculo a considerar y teniendo en cuenta la intensidad de uso prevista en el área, se obtiene la categoría de tráfico (A, B, C ó D).

Intensidad de uso	**Carga de cálculo**		
	Alta	Media	Baja
Elevada	A	B	C
Media	A	B	D
Reducida	B	C	D

4.3.2. Dimensionamiento del firme

4.3.2.1. Sección del firme

El firme se compone de los siguientes subsistemas o capas:

- Explanada: parte superior de terreno natural obtenida al llevar a cabo las obras de explanación en la cota de la coronación de terraplenes y fondos de desmonte.;
- Subbase: su función es proporcionar a la base un cimiento uniforme y constituir una plataforma de trabajo adecuada para su puesta en obra y posterior compactación;
- Base: su función es eminentemente resistente constituyendo el principal elemento portante de la estructura del firme, absorbiendo la mayor parte de los esfuerzos verticales

y su rigidez o su resistencia a la deformación bajo las solicitaciones repetidas del tráfico suelen corresponder a la intensidad del tráfico pesado;

- Lecho de apoyo: base de apoyo del pavimento, destinada a absorber sus diferencias de espesor debidas a las posibles tolerancias de fabricación, de manera que éstos una vez compactados formen una superficie homogénea;
- El pavimento: capa superior que, en este caso, se resolverá mediante adoquines prefabricados de hormigón de un espesor determinado;
- Bordes de confinamiento: los pavimentos de adoquines de hormigón requieren obligatoriamente un confinamiento lateral en todo su perímetro para evitar el desplazamiento de las piezas, la apertura de las juntas y la pérdida de trabazón entre los adoquines. Debe tener una profundidad por lo menos de 15 cm por debajo de los adoquines, pudiéndose utilizar los bordillos, cunetas de hormigón, u otro pavimento en caso de que se reemplace sólo una parte del mismo. Es indispensable que este elemento esté colocado antes de la puesta en servicio del pavimento.

Figura.- Ejemplos de bordes de confinamiento

4.3.2.2. Viales y zonas de aparcamiento

Cuando se justifique el empleo de bases rígidas de hormigón, o en el supuesto de que se deban colocar los adoquines sobre una base rígida preexistente, las secciones tipo se indican en la tabla siguiente:

4.3.2.3. Zonas industriales

En la siguiente tabla se indica una serie de secciones tipo para zonas industriales, igualmente en función del tipo de explanada y la categoría de tráfico:

4.3.3. Disposición en planta. Forma geométrica del adoquín

La respuesta del pavimento frente depende además de la disposición en planta de los adoquines y su forma, que participan en cierta medida en la transmisión de esfuerzos horizontales.

Existen ciertos criterios técnicos sobre la óptima disposición en planta de los adoquines, evitando las líneas de junta continuas en la dirección de tráfico predominante. Asimismo, hay que precisar la disposición del adoquín para no mermar los rendimientos de ejecución.

Respecto a la elección del tipo o forma geométrica del adoquín, no existe una unanimidad tan clara. La utilización de formas machihembradas asegura, en general, una mejor transmisión de las acciones horizontales, puesto que un desplazamiento de un adoquín implicará el movimiento de un mayor número de ellos, a causa de su forma trabada.

Figura.- Las cuatro caras verticales del adoquín disponen de unos separadores en forma de salientes y entrantes verticales en las juntas, que crean un efecto de prevención de posibles desplazamientos. La parte inferior del adoquín también dispone de un ranurado que trabaja como prevención del desplazamiento horizontal, independientemente de las mallas verticales. Este diseño permite un perfecto ensamble de las piezas en dónde la presión ejercida sobre el pavimento queda repartida por el conjunto del área pavimentada. Además, logra una reducción notable del ruido provocado por la rodadura de los vehículos

Puede afirmarse que donde los requisitos estructurales del pavimento son la primera consideración en el diseño, es recomendable elegir las formas machihembradas multidireccionales frente a las formas machihembradas unidireccionales, las cuales a su vez son preferibles frente a las unidades no machihembradas.

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

Figura.- Las combinaciones de geometrías y disposiciones en planta de los adoquines son ilimitadas

4.3.4. Pendientes

En toda área a pavimentar deben tenerse en cuenta las pendientes necesarias para evacuar las aguas superficiales hacia las cunetas o bordes de la vía. Se recomienda un mínimo del 2% para facilitar el correcto drenaje transversal. La pendiente longitudinal mínima debe ser superior al 0,5 % en el peor de los casos.

Estas pendientes, que deben quedar reflejadas en el proyecto, han de respetarse desde la base, de forma que esta capa y las superiores tengan un perfil superior adecuado a las mismas.

4.3.5. Elección del acabado superficial

Por otro lado, los firmes deben poseer unas determinadas características superficiales que afectan fundamentalmente a los usuarios. Entre las características superficiales destacan:

- La resistencia al deslizamiento/resbalamiento obtenida a través de una adecuada textura superficial, y que tiene una gran influencia en la seguridad vial. Se asume que los elementos prefabricados de hormigón para pavimentación aseguran un nivel adecuado de resistencia al deslizamiento y/o resbalamiento y que superan los valores mínimos que exigen las reglamentaciones (según norma europea, USRV > 45), salvo en aquellos casos de que estos sean sometidos a un tratamiento superficial posterior de pulido o abrillantado (algo que puede suceder en los elementos para suelos interiores);
- La regularidad superficial del pavimento, tanto transversal como longitudinal, que afecta fundamentalmente a la comodidad de los usuarios;
- Las propiedades de reflexión de la luz, vitales para el diseño de las instalaciones luminosas y para la conducción nocturna;

- El ruido de rodadura, tanto en el interior de los vehículos como en el exterior;

4.3.6. Estética

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

- La gama de colores, así como su posible combinación;
- La textura superficial;
- La geometría del adoquín y la disposición en planta.

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

Figura.- La realidad virtual ofrece la posibilidad de simular virtualmente el entorno. Así se podrán escoger el color y las diferentes combinaciones de elementos. Ejemplo de la simulación del pavimento del paseo marítimo de Sitges (Barcelona)

4.4. Consideraciones generales de proyecto: baldosas

4.4.1. Datos de partida

Los factores más importantes que hay que tener en cuenta en el proyecto de cualquier pavimento con baldosas, son los siguientes:

- Las características de su base de apoyo;
- Las cargas que ha de soportar en función de su uso, estáticas o dinámicas, que determinarán las características mecánicas de las baldosas;
- La resistencia a la abrasión, según la intensidad de tráfico peatonal, rozamiento por vehículos, etc. que permitirán definir el acabado superficial del pavimento.

Como ya ocurría con el caso de los adoquines, conviene insistir que ningún pavimento cumplirá con los requisitos funcionales que se le presuponen si la solera no está perfectamente realizada y se adecúa a las cargas previstas. También hay que incidir en la necesidad de conseguir un perfecto agarre entre las baldosas y la solera que las sustentan.

4.4.2. Caracterización del tipo de solera

4.4.2.1. Baldosas de uso interior

Las baldosas pueden colocarse apoyadas directamente sobre la parte superior del forjado, capa de compresión), uniéndose al mismo mediante el mortero de agarre (Sección F1). No obstante, muchas áreas a pavimentar en interiores exigen una capa de nivelación por las existencias de diferencias de cotas entre la superior del forjado y la de uso (Sección F2).

Sección.- Colocación directa sobre forjado

Sección.- Colocación sobre material de relleno

En este caso, habrá que tener en cuenta también consideraciones de carácter estructural, tales como deformaciones instantáneas y diferidas, disposición de juntas, impermeabilización, etc.

4.4.2.2. Baldosas de uso exterior

Cuando se trate de colocar pavimento exterior que esté prevista para el paso de vehículos ligeros y el tránsito peatonal, éste no debe apoyarse directamente sobre el terreno natural, sino que es necesario preparar una explanada adecuada que soporte las posibles acciones del tráfico, ésta debe estar libre de asentamientos posteriores.

Igualmente, la calidad de la explanada se evalúa a través de su capacidad de soporte, bien a partir del ensayo de placa de carga o del índice CBR. La capacidad portante es fácilmente alcanzable con la mayoría de los suelos, si bien en ocasiones puede ser necesario el empleo de tratamientos especiales de mejora como, por ejemplo, la sustitución del material existente por un suelo de aportación.

Sección.- Explanada de CBR > 5 sometida al tránsito de peatones

Sección.- Explanada de CBR > 5 sometida al paso ligero de vehículos y peatones

Sección.- Explanada de CBR > 5 sometida al paso intenso de vehículos y peatones

Tráfico de vehículos	Número de vehículos comerciales (< 3.500 Kg) al día
Ligero	≤ 5
Pesado	≤ 15

4.4.3. Características mecánicas y acabado superficial

4.4.3.1. Baldosas de uso interior

Para la selección de las baldosas de terrazo de uso interiores adecuadas a su aplicación final, en primer lugar hay que identificar la zona a pavimentar. A continuación, la selección de la baldosa es función del uso y de la resistencia al deslizamiento/resbalamiento requerida para esa zona, que viene establecida normalmente en el Código Técnico de la Edificación (DB-SU Seguridad de Utilización). El uso previsto mínimo recomendado según la zona a pavimentar y la superficie recomendada de la cara vista se establecen en la Norma UNE 127748-1.

Zona a pavimentar	Uso	Cara vista recomendada
Viviendas y edificios privados		
Vivienda	Normal	Pulida
Accesos comunes	Intensivo	Pulida
Garajes cubiertos	Industrial	Pulida /lisa sin pulir/rugosa
Centros comerciales		
Tiendas y restaurantes	Intensivo	Pulida con tratamientos impermeabilizantes
Pasillos	Intensivo	Pulida
Garajes	Industrial	Lisa/rugosa
Almacenes	Industrial	Pulida/lisa
Zonas de manipulación de alimentos	Industrial	Pulida con tratamientos impermeabilizantes
Centros de ocio		
Locales comerciales y de restauración	Intensivo	Pulida
Pasillos	Industrial	Pulida
Garajes	Industrial	Lisa/rugosa
Almacenes	Industrial	Pulida/lisa
Zonas de manipulación de alimentos	Industrial	Pulida con tratamientos superficiales
Hoteles		
Habitaciones	Normal	Pulida
Locales de ocio	Intensivo	Pulida
Garajes	Industrial	Lisa/rugosa
Almacenes	Industrial	Pulida/lisa
Zonas de manipulación de alimentos	Industrial	Pulida con tratamientos superficiales
Colegios y cuarteles		
Aulas	Intensivo	Pulida
Zonas comunes	Intensivo	Pulida
Comedores	Intensivo	Pulida
Zonas de servicios	Intensivo	Pulida
Zonas de manipulación de alimentos	Industrial	Pulida con tratamientos superficiales
Garajes	Industrial	Lisa/rugosa

Figura.- Recomendaciones para la elección de baldosas de uso interior. Fuente: Tabla B.1 UNE 127748-1

Como se indicaba en el apartado de adoquines, la resistencia al resbalamiento sólo es un posible problema en el caso de elementos prefabricados cuya cara vista sea sometida a un proceso de pulido y abrillantado, algo que suele ocurrir con las baldosas de terrazo para interior.

En cuanto a la elección del tamaño, para el uso normal, no existe ninguna limitación. Igual que en el caso de los pavimentos exteriores, se recomiendan tamaños de baldosa mayores de 25 ó 35 cm de lado, para reducir el número de juntas.

Los mismos argumentos se pueden utilizar para recomendar baldosas mayores de 25 ó 30 cm de lado en el caso de uso intensivo, porque las condiciones de tráfico, aunque más severas, son de la misma tipología.

En el caso de uso industrial, la situación es diferente porque el tráfico puede ser no sólo peatonal, sino que también pueden intervenir vehículos ligeros, pesados o incluso cargas concentradas. Por ello, para casos de tráfico mixto ligero se puede recomendar colocar baldosas de hasta 40 cm de lado mayor, mientras que si se prevé tráfico mixto pesado o el paso en algún momento de cargas excepcionales es recomendable usar baldosas de máximo 30 cm.

4.4.3.2. Baldosas de uso exterior

Las baldosas de hormigón y terrazo para uso en zonas exteriores quedan definidas por la clase resistente, la resistencia al desgaste por abrasión y el tamaño máximo.

La clase resistente se obtiene a partir de un ensayo normalizado que consiste básicamente en apoyar la probeta en dos rodillos inferiores y aplicar una fuerza creciente sobre un rodillo superior colocado sobre la cara vista de la baldosa, hasta llegar a la rotura de la pieza.

Los valores de flexión y rotura obtenidos se transforman mediante un control estadístico. Según la norma europea EN 1339, se definen 3 clases resistentes:

Marcado	Resistencia a flexión característica (MPa)
S	3,5
T	4,0
U	5,0

Marcado	Carga característica a rotura (kN)

3	3,0
4	4,5
7	7,0
11	11,0
14	14,0
25	25,0
30	30,0

Según la zona a pavimentar y la titularidad (pública o privada) puede exigirse un valor mínimo de clase resistente, como es el caso, por ejemplo, de los pliegos de prescripciones técnicas de los ayuntamientos.

Zona		Clase rotura longitud lado		Clase desgaste (valor máximo)
		≤ 40 (cm)	40 < L ≤ 50 (cm)[1)]	
Viviendas y edificios privados				
	Terrazas y balcones	4T	4T	H
	Parques y jardines	4T	7T	H
	Cubiertas planas sobre solera	4T	4T	H
	Piscinas privadas	4T	4T	H
	Rampas de garajes	4T	7T	H
	Garajes	4T	7T	H
	Aceras privadas	4T	7T	H
Edificios públicos y servicios				
	Terrazas y patios	4T	4T	H
	Jardines	7T	11T	H
	Cubiertas planas sobre solera	4T	4T	H
	Piscinas públicas	7T	11T	H
	Rampas de garaje	4T	7T	H
	Garajes	4T	7T	H
Viales				
	Aceras < 1,2 m de ancho	7T	7T	H
	Aceras > 1,2 m de ancho	7T	7T	H
	Paseos, plazas y bulevares	7T	7T	H
	Paso	7T	7T	H
	Parques y jardines	7T	7T	H
	Rampas	7T	7T	H

Figura.- Recomendaciones para la elección de baldosas de uso exterior. Fuente: Tabla B.1 UNE 127748-2

En cuanto al tamaño de las baldosas, no existe ninguna limitación en zonas peatonales. Por razones prácticas, se recomiendan tamaños mayores de 25 ó 35 cm de lado, a fin de disminuir el número de juntas.

Igual que sucedía con las baldosas de uso interior, en el caso de tráfico mixto ligero, se recomienda colocar baldosas que no superen los 40 cm de lado mayor; si se prevé tráfico mixto pesado o el paso de cargas excepcionales en algún momento, el lado máximo recomendado es 30 cm.

	Espesor (mm)		
Dimensiones (mm)	**Normal e intensivo**	**Industrial**	
		Ligero	**Pesado**
L≤200	20	26	
200≤L≤250	22	26	
250≤L≤300	24	28	
300≤L≤330	25	28	-
330≤L≤400	26	30	-
400≤L≤500	28	-	
500≤L≤600	35	-	
L>600	-	-	

Figura.- Espesor recomendado de las baldosas en función del uso

La planificación de cualquier superficie a pavimentar debe considerar también la necesidad de disponer juntas que toleren los distintos desplazamientos de origen térmico que el pavimento pueda sufrir. En algunos casos, se puede producir el levantamiento parcial de las piezas si no se ha dispuesto algún tipo de junta de dilatación. Este comportamiento "casi continuo" del pavimento tiene su origen en la estructura que adquiere el mismo a causa de la forma de colocación, con un material de agarre que lo fija al soporte, y el rejuntado de las piezas con lechada, que da lugar a un acusado monolitismo entre ellas. Como norma de buena práctica las juntas de dilatación deben disponerse en dos direcciones perpendiculares, de manera que la superficie total del

pavimento quede dividida en "módulos" de forma aproximadamente cuadrada y de superficie no superior a los 25 - 30 m2.

Figura.- Ejemplo de juntas en pavimentos interiores ejecutados previamente a la tabiquería

En cuanto a los acabados superficiales, los pavimentos de exteriores deben ser antideslizantes (cumplimiento natural del hormigón), así como resistente a las heladas en aquellas zonas en que puedan estar sometidos a bajas temperaturas. Esto se asegura limitando el valor de absorción de agua por debajo de un valor de referencia que ronda el 6%. También puede requerirse que las baldosas sean de hormigón poroso, especialmente en las zonas que se puedan producir altos niveles de humedad o encharcamiento, como por ejemplo, los bordes de las piscinas y se necesite drenar el agua.

4.4.3.3. Pavimentos táctiles

El proyectista debe seleccionar el área que será resuelta con los pavimentos táctiles.

En exterior se colocan para identificar pasos de peatones, paradas de autobuses, entradas de edificios y jardines, esquinas y cruces de acera, escaleras, andenes de ferrocarril, bocas de metro, cabinas telefónicas, vados y rampas, aparcamientos, etc.

En interiores, identifican a escaleras, rampas, ascensores, andenes de metro y tren, salidas de edificios, etc.

4.5. Otras consideraciones de diseño

4.5.1. Agresividad del entorno

En algunas aplicaciones se debe tener en cuenta durante el proyecto del pavimento, una serie de acciones atípicas que no proceden de las cargas ni de otras acciones más habituales. Este tipo de acciones van estrechamente ligadas al emplazamiento y a la actividad que se realiza en el mismo.

En el caso de un pavimento exterior, aparte de los tradicionales agentes atmosféricos que se deben contemplar (agua y sol) y que repercuten en la durabilidad, se debe considerar la posibilidad de cambios extremos de temperatura, que por dilatación térmica puedan producir la combadura de las losas del pavimento, las acciones de grasas y aceites procedentes de vehículos que atacan y manchan el pavimento, etc.

En los ambientes interiores, se debe considerar la posibilidad de que actúen líquidos o materiales corrosivos (tintes, desperdicios de animales en salas de despiece de mataderos) o que se quieran obtener propiedades especiales antideslizantes, baja conductividad térmica o eléctrica, etc.

Estos factores, muy importantes a la hora de diseñar un pavimento y que no vienen reflejados normalmente en los manuales de proyecto, nos pueden dan los criterios cuando tengamos que decidir parámetros tales como la textura, los materiales que lo componen, el tratamiento posterior a su colocación, etc.

4.5.2. Propiedades descontaminantes y autolimpiantes

La infatigable escalada en materia de innovación de pavimentos en los últimos años ha hecho posible la aplicación de la tecnología fotocatalítica, especialmente en las aceras y plazas en grandes ciudades. Se trata de un pavimento en el que se aloja un catalizador (normalmente óxido de titanio) que entra en una reacción química cuando se pone en contacto con la luz natural o artificial, consiguiendo mineralizar parte de las concentraciones de óxidos de nitrógeno de la atmósfera, convirtiéndolas en nitritos y nitratos que irán a parar a las redes de recogida de pluviales cuando llueva. Fundamentalmente la tecnología fotocatalítica colabora en la eliminación de óxidos de nitrógeno (NOx), compuestos orgánicos volátiles (COV) y óxidos de azufre de la atmósfera.

Este proceso ayuda a la descontaminación de las ciudades, cada vez más sensibilizadas por los daños que ocasiona en términos medioambientales, sociales y económicos. Por esta razón, cada vez se demandan más pavimentos con propiedades descontaminantes, aunque también pueden dotárseles de otras capacidades como autolimpieza, bactericida y desodorizante, estas dos últimas muy interesante en el caso de elementos constructivos domésticos.

El reto de este tipo de pavimentos reside en la realización de un buen diseño de la mezcla de hormigón a la que se añade la sustancia fotocatalítica, teniendo en cuenta que el elemento estará sometido en su uso a la degradación normal del pavimento, de forma que mantenga sus capacidades durante toda la vida útil del mismo.

Existen tres razones fundamentales por las que la utilización de pavimentos de hormigón descontaminantes es en la actualidad una de las soluciones más eficaces para minimizar los problemas derivados de la contaminación ambiental:

- El hormigón es, por su naturaleza, el mejor soporte para que esta reacción natural se produzca;
- En el suelo se consigue la mayor perpendicularidad de los rayos del sol y por tanto donde se alcanza la mayor eficiencia;
- Es determinante que la mayor parte de las actuales fuentes de contaminación se encuentran a tan solo 25-30 cm del suelo (tubos de escape de los vehículos, en especial los NOx derivados de los motores de combustión diésel).

Esta solución permite eliminar un cierto porcentaje de los elementos contaminantes, con la garantía de los diferentes sistemas de ensayo que actualmente existen. No menos importante, es el hecho de que se pueda garantizar la actividad descontaminante durante el periodo de servicio del pavimento (25 años o más) a pesar de los habituales procesos de abrasión, con una simple limpieza periódica. Además de todo esto, cumpliendo a la perfección con las funciones arquitectónicas y estéticas que se le puede exigir a cualquier pavimento.

Figura.- Burdeos (Francia) apuesta por esta losa descontaminante. El arquitecto del proyecto es Sisley Carnus de la agencia Squad Archi. Más de 4.000 m² de losas XXL y adoquines, con dos tipos de gris oscuro

PAVINOX Asociación de fabricantes de pavimentos prefabricados de hormigón de efectos descontaminante

Entre los objetivos de PAVINOX, está promover y contribuir en la innovación, investigación y el desarrollo tecnológico de los pavimentos prefabricados de hormigón descontaminantes, en sus aspectos de diseño, fabricación, innovación, investigación, desarrollo y utilización [+]

4.6. Reglamentación aplicable

La calidad debe asegurarse desde el origen: en la fábrica, donde se efectúan los controles sobre más de 50 parámetros a lo largo del proceso, contrastados mediante la realización de ensayos externos que aseguren los valores que el fabricante declara. El marcado CE es el requisito mínimo que deben satisfacer las empresas, pero se puede ir más allá a través de marcas de calidad certificadas, como es el caso de la marca N de AENOR.

Los productos prefabricados de hormigón para pavimentos que están amparados por una norma armonizada y requieren marcado CE obligatorio, son los siguientes:

<table>
<tr><th>NORMA DE REFERENCIA</th><th colspan="2">TÍTULO</th><th colspan="3">SISTEMA EVCP</th></tr>
<tr><td>UNE-EN 1338:2004</td><td rowspan="2">Adoquines de hormigón</td><td>Especificaciones y métodos de ensayo</td><td colspan="3" rowspan="9">4</td></tr>
<tr><td>UNE 127338:2007</td><td>Propiedades y condiciones de suministro y recepción</td></tr>
<tr><td>UNE-EN 1339:2004</td><td rowspan="2">Baldosas de hormigón</td><td>Especificaciones y métodos de ensayo</td></tr>
<tr><td>UNE 127339:2012</td><td>Propiedades y condiciones de suministro y recepción</td></tr>
<tr><td>UNE-EN 1340:2004</td><td rowspan="2">Bordillos de hormigón</td><td>Especificaciones y métodos de ensayo</td></tr>
<tr><td>UNE 127340:2006</td><td>Especificaciones y métodos de ensayo</td></tr>
<tr><td>UNE-EN 13748-1:2005</td><td colspan="2" rowspan="2">Baldosas de terrazo para uso interior</td></tr>
<tr><td>UNE 127748-1:2012</td></tr>
<tr><td>UNE-EN 13748-2:2005</td><td colspan="2" rowspan="2">Baldosas de terrazo para uso exterior</td></tr>
<tr><td>UNE 127748-2:2012</td></tr>
<tr><td>UNE-EN 15285:2009</td><td colspan="2">Piedra aglomerada. Baldosas modulares para suelos (uso interno y externo)</td><td>1</td><td>3</td><td>4</td></tr>
</table>

Por otro lado, la geometría de los pavimentos táctiles viene definida en la Norma UNE CEN TS 15209 EX Indicadores para pavimentos de superficie táctil de hormigón, arcilla y piedra natural.

Uno de los aspectos que aún hoy suscita más dudas es el relativo a la documentación reglamentaria que debe acompañar a los productos anteriores, que deben disponer de marcado CE obligatorio. Para sintetizar esta información, ANDECE ha desarrollado la siguiente ficha de control documental [+], de la que se extraen los principales documentos para que todos los agentes conozcan qué documentación debe proporcionar el suministrador de canalizaciones prefabricadas de hormigón.

ANTES DEL SUMINISTRO

Documentos de conformidad o autorizaciones administrativas exigidas reglamentariamente

En caso de productos con marcado CE (A), podrá comprobarse su conformidad simplemente mediante la verificación documental del citado marcado CE y de los valores asociados, sin necesidad de realizar comprobaciones o ensayos adicionales en su recepción.

☐ Etiquetado marcado CE (B)
☐ Declaración/es de prestaciones conforme al Reglamento de Productos de Construcción (C)
☐ Instrucciones de uso y seguridad (D)
☐ Información técnica de acompañamiento (catálogo de producto): para detalles constructivos, durabilidad, datos geométricos y otros parámetros (entrega opcional), véase en cada norma. Información a presentar dependiendo del método de declaración de las propiedades elegido por el fabricante:

(A) La relación de productos de construcción con marcado CE (normas europeas UNE-EN) se indica en el siguiente enlace [+] y en las Resoluciones que periódicamente publica el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio [+]. Se recomienda comprobar el alcance de las normas de productos prefabricados de hormigón en la web de la Asociación Española de Normalización UNE.

(B) Debe llegar siempre al cliente. El fabricante debe elegir en al menos uno de los siguientes lugares, y por este orden de prioridad: a) En el producto; b) En una etiqueta adherida al mismo; c) En el embalaje; d) En una etiqueta adherida al embalaje ó e) En los documentos comerciales de acompañamiento.

(C) La declaración de prestaciones podrá agrupar todos los productos incluidos por cada norma armonizada o referirse a productos más específicos. Este documento sustituyó a la Declaración CE de conformidad, con la entrada en vigor del Reglamento de Productos de Construcción nº 305/2011 [+]

(D) Al comercializar un producto, los fabricantes verificarán que el producto vaya acompañado de sus instrucciones y de la información de seguridad. El Ministerio de Industria valida los Manuales de ANDECE como Documentación de Uso y Seguridad según el RPC [+]

Adicionalmente, el fabricante puede contar con una marca de calidad voluntaria, como puede ser el caso de la marca N de AENOR [+] que certifica que el producto es conforme a la normativa y/o reglamentación de aplicación, y además proporciona al producto un valor añadido con respecto al mínimo establecido por la legislación. En el caso de los pavimentos prefabricados de hormigón, la marca N de AENOR implica que éstos alcanzan una calidad superior a la mínima legal a través de unos mayores controles y más exhaustivos, con la diferencia significativa de que interviene una entidad externa que interviene en el proceso de certificación que verifica, entre otros, la adecuación del sistema de control de calidad de la empresa, la capacidad técnica

del laboratorio y los medios de control interno, la verificación de algunos controles rutinarios de las características del producto, etc.

5. PRINCIPIOS BÁSICOS DE EJECUCIÓN

5.1. Adoquines

Antes de proceder a la ejecución del firme propiamente dicho, es preciso analizar cuidadosamente la localización de los diferentes servicios urbanos, para asegurar así que las diferentes operaciones constructivas no dañarán las conducciones existentes bajo tierra. Debe comprobarse también que la maquinaria a utilizar no interferirá con los tendidos existentes (red telefónica, tendido eléctrico, etc.) Por último, será necesario preparar convenientemente las vías de acceso de los vehículos y maquinaria para evitar demoras en la realización del trabajo:

1) Preparación de la explanada: es una fase fundamental, en la que se llevan a su vez las siguientes tareas:
    a. Se comienza asegurando que la explanada queda seca y bien drenada,
    b. Se retiran todas las raíces y materia orgánica y/o añadir el material necesario hasta obtener la cota de proyecto definida en los estudios preliminares.
    c. Compactación adecuada de la explanada de forma que se garantice la capacidad portante exigida en proyecto, incluso con la colocación de geotextiles que eviten la intrusión de material de la explanada dentro de la subbase, además de fortalecer la explanada.
2) Extensión de la subbase en tongadas con un espesor suficientemente reducido para que se obtenga el grado de compactación exigido, utilizando materiales sueltos como la roca machacada o la grava;
3) Extensión y compactación de la base, mediante zahorra artificial u hormigón “pobre”. Se realiza de forma análoga a la subbase granular, pero con un grado de compactación mayor;
4) Ejecución de los bordes de confinamiento, como puede ser mediante bordillos a lo largo del perímetro exterior del pavimento. Estos se colocan antes del adoquinado para evitar el desplazamiento de las piezas. Estos bordes se colocarán 15 cm bajo el nivel inferior de los adoquines para garantizar la fijación;
5) Extensión y nivelación de la capa de arena: tiene como objetivo conseguir una capa uniforme en cuanto a comportamiento y espesor. Para realizar dicha nivelación puede

utilizarse un listón con guías longitudinales. La extensión de la capa de arena debe hacerse de modo que, la cantidad de arena colocada diariamente permita precisamente que los adoquines colocados cada día sean completados. Una vez que se ha extendido la arena, ésta no debe permanecer a la intemperie esperando la colocación de los adoquines, ni siquiera una noche, ya que la arena es propensa a cambios en el contenido de humedad;

6) Colocación de los adoquines: en primer lugar, debe decidirse por dónde comenzar la instalación. En un lugar con pendiente, es conveniente empezar por el punto más bajo y continuar pendiente arriba. Los adoquines deben situarse lo más cerca posible de la superficie de colocación para no ralentizar la ejecución. Para transportar los adoquines desde los palés de almacenamiento hasta la superficie de trabajo, pueden utilizarse distintos tipos de carretilla, y donde las distancias a cubrir sean menores de 5 - 6 m.

Figura.- Secuencia de operaciones constructivas

a. Colocación manual: si carecen de muesca distanciadora (espaciador o separador), los adoquines deben ser colocados con un interespaciado aproximado de 2 a 3 mm. Los adoquines no deben ser martilleados, ya que se pueden provocar astillamientos o desgajamientos de los mismos. El orden de colocación debe garantizar que no se fuerce nunca la colocación de un adoquín

entre los ya instalados. Bajo ninguna circunstancia durante la colocación debe ser pisado el lecho de arena. La obra debe organizarse de manera que los obreros y el material pasen por encima del pavimento colocado. Todos los adoquines deben quedar nivelados, garantizándose que no existan diferencias de más de un centímetro cuando se comprueba la superficie con una regla de 3 m. En caso de que se presenten diferencias mayores, es necesario corregir la colocación de la arena. La diferencia de nivel entre 2 bloques adyacentes no debe diferir en más de 2 mm.

Como alternativa, pueden emplearse mallas de adoquines, que tienen como ventajas que no requieren mano de obra altamente especializada y proporcionan unos rendimientos de colocación superiores.

b. Colocación mecanizada: los adoquines también pueden ser colocados utilizando máquinas especiales, aunque no es lo habitual. La máquina va retirando los adoquines distribuidos correctamente en un pallet y los deja caer sobre el lecho de arena. Es necesario un posterior ajuste a mano. En este caso deben estar fabricados con salientes (espaciadores o separadores) en cada una de sus caras laterales, para asegurar que durante la colocación mecánica del pavimento es posible mantener un espesor de juntas adecuado (3 mm ± 1 mm).

7) Compactación e igualación del pavimento: esta operación se realiza con placas vibratorias o con rodillos mecánicos, recubiertas de una capa protectora (goma), estáticos o dinámicos y se realiza antes del final de cada turno de trabajo;

8) Sellado con arena: por último, debe extenderse una ligera capa de arena fina y seca para rellenar las juntas verticales entre adoquines. En aquellas zonas de paso que sean estrictamente peatonales y que no están sometidas al tránsito de ningún tipo de vehículo, se puede prescindir de esta capa.

TIPO	RECURSOS	RENDIMIENTOS (m^2/h)
Colocación sólo adoquín de hormigón	Manual: oficial 1ª, ayudante	4 – 6
	Mecánica: máquina y conductor	12 – 15

5.2. Baldosas

La colocación de este elemento destaca por su fácil ejecución y consta de las siguientes fases:

1) Preparación del terreno: la superficie a pavimentar debe estar totalmente limpia y adecuadamente nivelada. Las pequeñas irregularidades existentes en la capa de apoyo suelen absorberse, en caso necesario, mediante la extensión de una capa de arena de nivelación, cuyo espesor no debe rebasar los 5 cm para evitar posibles patologías producidas por una mala compactación de esta capa. En el caso de que existiesen irregularidades que exigiesen espesores mayores, debe procederse a la regularización de toda la superficie o a su corrección mediante el empleo de un mortero adecuado. También han de adoptarse las precauciones necesarias para evitar que la humedad pueda producir manchas, exudaciones y eflorescencias en la superficie del pavimento;

2) Replanteo de la superficie: para velar por la horizontalidad y el perfecto escuadrado de las baldosas, se deben trazar unas hileras de referencia, denominadas líneas maestras. Normalmente hay que efectuar dos hileras maestras perpendiculares entre sí, una de ellas en una dirección escogida. Una correcta planificación y ejecución de éstas puede simplificar, optimizar y abaratar el resto de la colocación. Es muy importante controlar la nivelación y el encuadre de todas las piezas a medida que se va avanzando en la colocación;

3) Extendido del material de agarre: una vez que la superficie a pavimentar está preparada se procede a la extensión del material de agarre que, además de transmitir las cargas, adhiere firmemente las baldosas a la base soporte, influyendo en el comportamiento del futuro pavimento. Las baldosas se reciben normalmente con mortero de agarre, o con cemento cola e utiliza únicamente en pavimentación interior. Es importante que el mortero de agarre se vaya preparando y extendiendo a medida que avance el trabajo, utilizándose inmediatamente después de su amasado, antes de que tenga lugar el principio de fraguado. El espesor de la capa de mortero está comprendido entre 25-40 mm. El empleo

de morteros preparados que contengan aditivos retardantes del fraguado no es recomendable;

4) Juntas: al igual que en otro tipo de pavimentos, deben disponerse juntas con el fin de optimizar su funcionamiento y permitir los movimientos originados por efecto de esfuerzos de variaciones térmicas o propios de la estructura. Como norma general, son tres los tipos de juntas que pueden disponerse en un pavimento:
    a. Juntas de dilatación o aislamiento: suelen disponerse ante la existencia de un elemento fijo, por ejemplo, un pilar, un muro, una arqueta de registro, para evitar que los esfuerzos de compresión originados por efectos térmicos puedan producir algún tipo de daño en las baldosas;
    b. Juntas de contracción o alabe: se disponen para absorber los pequeños desplazamientos originados en los paños de solado, debido a saltos térmicos, y evitar que se produzcan roturas en el pavimento. Son habitualmente perfiles metálicos;
    c. Juntas de separación entre baldosas: tienen como finalidad evitar que se puedan producir desconchados en las baldosas
5) Colocación de baldosas: se colocan manualmente. Antes de la instalación de las baldosas, conviene humedecerlas o espolvorear la superficie del mortero o el cemento cola, con cemento Portland para mejorar la adherencia. Es imprescindible proceder a colocar las baldosas inmediatamente después del extendido del mortero antes que este empiece a fraguar. En el caso de aplicación en interior, hay que tener un especial cuidado al colocar las baldosas evitando, durante el proceso de rejuntado, golpear los cantos entre sí. No hay que golpear con los mazos en las aristas y vértices evitando así la aparición de descascarillados y mordeduras. Las baldosas se colocan apoyándolas sobre la arista inferior de uno de sus lados, dejándolas caer suavemente sobre el mortero,

presionándolas para conseguir una perfecta unión entre el dorso de la baldosa y el mortero en toda su superficie, respetando las juntas de separación. Posteriormente se nivelan las baldosas y se comprueba el paralelismo entre ellas utilizando un martillo de goma para evitar que quede ceja. Las baldosas se colocarán con una separación de entre 1 y 1,5 mm en interior y entre 1,5 y 3 mm en exterior, dependiendo de las dimensiones de las piezas y del ámbito en donde estarán colocadas. Especialmente en el caso de pavimentos interiores, se suelen utilizar piezas complementarias de remate perimetral y como elemento funcional y estético, como rodapiés.

6) Relleno de juntas:

   a. Pavimentos interiores: la operación de relleno de juntas se efectuará a las 24 horas de la colocación del pavimento. Tanto las baldosas como las juntas de separación deberán estar totalmente limpias. A continuación, se procede a extender una pasta húmeda de cemento que tenga la misma tonalidad y calidad que las baldosas, para rellenar las juntas y/o cualquier pequeña irregularidad que pudiera existir en la cara vista. Para asegurar que la pasta penetra en todo el espesor de la junta se realizan varias pasadas en todas las direcciones, preferentemente según las diagonales encontradas de las baldosas. Posteriormente se espolvoreará con la pasta seca. Al cabo de aproximadamente 2 horas se procederá a la limpieza de la superficie de las baldosas, manteniéndolas húmedas al menos durante 24 horas, para que durante el fraguado y endurecido de la pasta de juntas, ésta no se deshidrate. 48 horas después de la colocación, se puede transitar sobre el pavimento (operarios),

debiendo esperar entre 4 y 7 días, siempre que el pavimento esté debidamente protegido, para continuar con las labores de construcción (instalación de andamios, paso de carretillas, etc.) Transcurrido este tiempo, la pasta ya estará suficientemente endurecida para realizar las operaciones de pulido.

Limpieza juntas

Preparación pasta

Extendido pasta

Habilitación pavimento

b. Pavimentos exteriores: en baldosas con texturas superficiales tipo pétreo, abujardado y/o granallado se utiliza arena para rellenar las juntas. Si el acabado superficial no es ninguno de los anteriores se utilizará pasta para juntas. Esta operación es especialmente importante para garantizar un buen comportamiento del pavimento. La arena debe extenderse seca para que penetre con facilidad entre las juntas, utilizándose para ello escobas manuales o mecánicas. La arena sobrante sobre el pavimento debe retirarse mediante un barrido, y nunca por medio de un lavado con agua.

Existe la posibilidad de realizar un pavimento flotante, es decir, elevado de la superficie una pequeña altura. En este caso se colocarían las baldosas sobre unos soportes elevados colocados en las esquinas de ellas. Las juntas no se sellan, ni se utilizan morteros en ningún caso. El pavimento esta ligeramente inclinado para facilitar el drenaje a través de las juntas.

Figura.- Ejecución baldosas flotantes

TIPO	OPERARIOS	RENDIMIENTOS (m^2/h)
Baldosa interior	Oficial solador, alicatador, peón ordinario	2,5 – 3,5
Peldaño	Oficial 1ª Peón ordinario	1,5 – 2,5
Rodapié	Oficial solador, Alicatador, peón ordinario	8,5 - 10
Baldosa terrazo	Cuadrilla A (oficial 1ª, ayudante, peón ordinario)	2 - 3
Losa hormigón		2 – 2,5

5.3. Bordillos

Antes de proceder a la ejecución, es preciso analizar cuidadosamente la localización de los diferentes servicios urbanos, para asegurar así que las diferentes operaciones constructivas no dañarán las conducciones bajo tierra. También debe comprobarse que la maquinaria a utilizar no interferirá con los tendidos existentes (red telefónica y tendido eléctrico entre otros). Por último, será necesario preparar convenientemente las vías de acceso de la maquinaría y mano de obra para evitar demoras en la realización del trabajo.

1) Preparación de la superficie de la explanada: se comienza asegurando que la misma se mantiene seca y bien drenada, retirando todas las raíces y materia orgánica y/o añadir

material necesario hasta obtener la cota de proyecto definida en los estudios previos. El comportamiento del terreno natural deberá ser lo más uniforme posible, por lo que es conveniente retirar las zonas blandas y sustituirlas por terreno adecuado, y compactar si éste lo requiere;

2) Realización del hormigón de la cama o solera: todo bordillo ha de recibirse en una cama o solera de hormigón hidráulico, clave para su funcionamiento general. El espesor mínimo de la solera será de 15 cm, llegando a 20 cm en caso de soportar tráficos importantes. La anchura de la base será la del bordillo más 10 cm a cada lado del mismo. Existen dos métodos de ejecución, según se encofre esta cama de hormigón o no. Usando encofrados de madera, el coste no se encarece sensiblemente, si bien es necesario el empleo de más tiempo en la ejecución. El no recurrir a encofrados y extender el hormigón directamente puede significar una pérdida de hormigón si no se requiere este exceso en las capas de la calzada.

3) Extensión del mortero y colocación de los bordillos: el bordillo se recibirá en la cama o solera mediante una capa de mortero de cemento y arena de río en la proporción de 1 a 3, respectivamente. A veces el bordillo se coloca directamente encima de la solera cuando está fresca. Este procedimiento presenta inconvenientes al demoler el bordillo en caso de rehabilitaciones. El bordillo se colocará manualmente a nivel, manteniendo el operario una leve presión sobre el mismo para la situación correcta en el lugar correspondiente.

Para el método mecanizado de colocación, poco extendido por la inversión inicial que representa, se utiliza una simple máquina con un aparato que, succionando aire, coge los bordillos del pallet donde estén acopiados y los sitúa en el mortero con ayuda de dos operarios para afinar la posición.

Es conveniente comenzar la colocación en una alineación recta y por el punto más bajo del tramo y continuar pendiente arriba, siempre que se pueda.

La colocación de los primeros bordillos requiere un cuidado especial, puesto que esto se reflejará en la disposición de sucesivos elementos. Para obtener un modelo de colocación es una buena norma el tendido de una cuerda a modo de replanteo para delimitar el borde de la alineación y que ésta sirva de referencia permanente.

Una recomendación para optimizar la organización del trabajo consiste en acopiar los pallets de bordillos separados por una distancia equivalente a la longitud de los bordillos

de cada paquete de expedición. También se pueden situar de pie los bordillos sobre la tierra próxima a donde se van a colocar, para facilitar el manejo manual de las piezas.

De cualquier forma, se hace indispensable un retacado de los bordillos con el mismo mortero, a modo de trasdosado.

Los bordillos no deben ser martilleados, ya que se pueden provocar marcas permanentes, astillamientos o desgajamientos de los mismos, y sólo en los casos en que sea imprescindible se permite usar un martillo de goma interponiendo un elemento amortiguador (banda de caucho, madera, etc).

4) Tratamiento de juntas: la junta entre piezas será de 5 mm como máximo, y se rellenará con el mismo tipo de mortero que se usa para colocar el bordillo. Para conseguir una apertura uniforme en las juntas es conveniente es uso de separadores o distanciadores. El llagueado de las juntas es opcional según la estética y la exigencia del proyecto, y su ejecución se lleva a cabo, a partir de los 30 minutos desde la colocación de los bordillos en su lugar. Este llagueado puede ser en forma de V, de U, "con escalón", o simplemente continuando el nivel de la cara superior.

5) Limpieza del bordillo: tras la ejecución de los pavimentos, y especialmente tras la extensión de mezclas bituminosas, si es el caso, o bien tras el barrido de la lechada de cierre de juntas de la capa de rodadura de las aceras, se procederá a la limpieza de los bordillos, operación necesaria para eliminar las manchas que hayan provocado las otras unidades de obra, y poder conseguir así una línea de bordillo de aspecto agradable y uniforme.

TIPO	OPERARIOS	MAQUINARIA	RENDIMIENTOS (m/h)
Manual	Oficial 2ª, peón ordinario	-	4-5
Automático	Operario máquina, oficial 2ª, peón ordinario	Máquina tipo Jumbo	6-7

6. SOSTENIBILIDAD

6.1. Generalidades

A medida que ha ido incrementándose la conciencia ambiental en la sociedad, las empresas se han dado cuenta de la enorme importancia de evaluar cómo afectan sus actividades al medio ambiente. Ante esta creciente demanda, las empresas deben responder ofreciendo productos más ecológicos y empleando procesos de producción “más limpios". Una de las herramientas que se pueden aplicar para mejorar los productos y los procesos es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), siendo el soporte de las declaraciones ambientales de producto (DAP).

6.2. Declaración ambiental de producto (DAP)

Una DAP plasma, en un documento verificado por una tercera parte independiente, los resultados de esa evaluación ambiental objetiva. El contenido de esa DAP y los detalles de lo que hay que considerar en el estudio de ACV correspondiente vendrá definido bien en una norma, en este caso en la UNE-EN 16757:2018 “Sostenibilidad de las obras de construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de Categoría de Producto para hormigón y elementos de hormigón”, que a su vez se referencia en la norma europea UNE-EN 15804:2012+A1:2014, que establece unas reglas de categoría de producto (RCP) comunes para el sector de la construcción. De esta forma, la DAP proporcionará un perfil ambiental basado en datos cuantificados y verificables, empleando una serie de categorías de impacto normalizadas.

En la construcción, una declaración ambiental de producto es una importante herramienta para valorar las características de sostenibilidad de los diferentes materiales de construcción que van a utilizar en sus proyectos. Poco a poco comienza a ser una información demandada por promotores (como factor de diferenciación), administraciones (para implementar los compromisos en materia ambiental), usuarios (creciente sensibilización hacia el medio ambiente) u otros agentes. Especialmente están dirigidas a obras que se certifiquen conforme a sistemas de certificación de la sostenibilidad, siendo los más implantados las herramientas LEED y BREEAM, y estos estar orientados a edificios de titularidad privada. También comienza a observarse una mayor sensibilización en la Administración, pudiendo el componente medioambiental y/o social ser un criterio a puntuar en la contratación pública. Además, da respuesta a una de las novedades que introdujo el Reglamento Europeo de Productos de Construcción con el nuevo requisito “Uso sostenible de los recursos naturales”.

6.3. DAP de pavimentos prefabricados de hormigón

Las DAP sectoriales resultan útiles cuando diferentes empresas fabricantes del mismo tipo de producto se agrupan para recopilar en conjunto los datos del inventario de ciclo de vida del producto y mostrar la información "media" de los resultados como representativos.

Por esta razón, ANDECE ha realizado 6 DAP sectoriales entre sus empresas asociadas, una de las cuales relativa a los pavimentos prefabricados de hormigón.

6.3.1. Declaración de los parámetros ambientales derivados del ACV

CATEGORIA DE IMPACTO	PARAMETRO	UNIDAD	ETAPA DEL CICLO DE VIDA			
			ETAPA DE PRODUCTO			
			A1	A2	A3	A1-A3
Calentamiento global (kg CO2 eq)	Potencial de calentamiento global	kg CO2 eq	1,08E+02	8,37E+00	3,52E+01	1,52E+02
Agotamiento de la capa de ozono (kg CFC 11 eq)	Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico	kg CFC 11 eq	9,72E-06	1,57E-06	1,91E-05	3,04E-05
Acidificación del suelo y el agua (kg SO2 eq)	Potencial de acidificación del suelo y de los recursos de agua	kg SO2 eq	2,56E-01	2,92E-02	2,19E-01	5,05E-01
Eutrofización (kg PO4 eq)	Potencial de eutrofización	kg (PO4)eq	6,23E-02	5,50E-03	2,03E-02	8,81E-02
Formación de ozono fotoquímico (kg Etileno eq)	Potencial de formación de ozono troposférico	kg Etileno eq	2,76E-02	1,07E-03	1,31E-02	4,17E-02
Agotamiento de recursos abióticos - elementos (kg Sb eq)	Potencial de agotamiento de recursos abióticos para recursos no fósiles	kg Sb eq	1,34E-05	3,13E-08	1,37E-04	1,51E-04
Agotamiento de recursos abióticos – comb. fósiles (MJ)	Potencial de agotamiento de recursos abióticos para recursos fósiles	Mj valor calorífico neto	7,20E+02	1,22E+02	1,77E+03	2,62E+03

Leyenda: A1. Suministro de materias primas. A2. Transporte. A3. Fabricación

6.3.2. Uso de recursos

PARAMETRO	UNIDAD	ETAPA DEL CICLO DE VIDA			
		ETAPA DE PRODUCTO			
		A1	A2	A3	A1-A3
Uso de energía primaria renovable, excluyendo los recursos de energía primaria renovable utilizada como materia prima (MJ)	Mj valor calorífico neto	3,01E+01	0,00E+00	0,00E+00	3,01E+01
Uso de energía primaria renovable utilizada como materia prima (MJ)	Mj valor calorífico neto	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Uso total de la energía primaria renovable (energía primaria y recursos de energía primaria renovable utilizada como materia prima)	Mj valor calorífico neto	3,01E+01	0,00E+00	0,00E+00	3,01E+01
Uso de energía primaria no renovable, excluyendo los recursos de energía primaria no renovable utilizada como materia prima (MJ)	Mj valor calorífico neto	7,84E+02	0,00E+00	0,00E+00	7,84E+02
Uso de la energía primaria no renovable utilizada como materia prima (MJ)	Mj valor calorífico neto	4,49E-03	0,00E+00	0,00E+00	4,49E-03
Uso total de la energía primaria no renovable (energía primaria y recursos de energía primaria renovable utilizada como materia prima)	Mj valor calorífico neto	7,84E+02	0,00E+00	0,00E+00	7,84E+02
Uso de combustibles secundarios renovables (MJ)	Mj valor calorífico neto	1,81E+01	3,65E-01	1,33E+01	3,18E+01
Uso de combustibles secundarios no renovables (MJ)	Mj valor calorífico neto	3,36E+01	1,19E+02	8,77E+01	2,40E+02
Uso de materiales secundarios (kg)	KG	4,29E+00	1,93E-02	4,43E-01	4,75E+00
Uso neto de recursos de agua dulce (m3)	M3	1,69E+02	6,95E-03	2,17E-02	1,69E+02

Leyenda: A1. Suministro de materias primas. A2. Transporte. A3. Fabricación

6.3.3. Categorías de residuos y flujos de salida

PARAMETRO	UNIDAD	ETAPA DEL CICLO DE VIDA			
		ETAPA DE PRODUCTO			
		A1	A2	A3	A1-A3
Residuos peligrosos eliminados (kg)	kg	7,93E-03	0,00E+00	0,00E+00	7,93E-03
Residuos no peligrosos eliminados (kg)	kg	1,86E-02	0,00E+00	0,00E+00	1,86E-02
Residuos radiactivos eliminados (kg)	kg	1,42E-06	0,00E+00	0,00E+00	1,42E-06

Leyenda: A1. Suministro de materias primas. A2. Transporte. A3. Fabricación

PARAMETRO	UNIDAD	ETAPA DEL CICLO DE VIDA			
		ETAPA DE PRODUCTO			
		A1	A2	A3	A1-A3
Componentes para su reutilización (kg)	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Materiales para el reciclaje (kg)	kg	2,68E-02	0,00E+00	0,00E+00	2,68E-02
Materiales para valorización energética (recuperación de energía) (kg)	kg	3,35E-01	0,00E+00	0,00E+00	3,35E-01
Energía exportada (MJ)	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Leyenda: A1. Suministro de materias primas. A2. Transporte. A3. Fabricación

6.4. Otras consideraciones

El hecho de que un producto disponga de una DAP no implica necesariamente que sea medioambientalmente mejor que otro que no lo tenga, pero sí la información que se obtenga como elemento imprescindible para mejorar el comportamiento ambiental (por ejemplo, identificar puntos de mejora para reducir el consumo eléctrico o de agua asociado, sin menoscabo de sus prestaciones).

Esta DAP considera el alcance "de la cuna a la puerta" incluyendo todas las etapas del ciclo de vida del producto hasta la puerta de la fábrica como producto terminado.

Figura.- Etapas y módulos de información para la evaluación. Ciclo de vida del edificio/infraestructura

El periodo de "cuna a puerta" sólo cubre la parte inicial del proceso, siendo el más habitual de los productos de construcción ya que en la mayoría de los casos son componentes que quedan integrados dentro de sistemas constructivos dentro del edificio o de la infraestructura, que es sobre la que es más razonable analizar todo el ciclo de vida. En el caso de los elementos prefabricados de hormigón, no se cuantifican así algunas de las características diferenciadoras como la mayor durabilidad o su potencial de reciclabilidad/reutilización al final de su vida útil, que se analizarían en el caso de abordar el ciclo de vida completo. Por tanto, cabe pensar que en próximos estudios sea recomendable hacer un análisis de ciclo de vida completo para poner en valor dichas ventajas atendiendo a su comportamiento medioambiental.

7. METODOLOGÍA BIM

7.1. Conceptos básicos

La metodología BIM (modelado de información de la construcción) es un fenómeno imparable que irremediablemente empieza a cambiar la forma en que se ha concebido la construcción hasta ahora. Alineada con la llamada Industria 4.0 o Construcción 4.0, BIM viene fundamentalmente a "poner orden" en los proyectos de construcción, estableciendo mecanismos que permiten a todos los agentes participantes (estudios de arquitectura, consultoras e ingenierías, direcciones de proyecto y obra, empresas constructoras y subcontratistas, proveedores de materiales de construcción, administraciones, gestores de edificios e infraestructuras, etc.) establecer una comunicación más fluida, basándose en el desarrollo y acceso a modelos tridimensionales virtuales del edificio o infraestructura que se comparten, y que contienen información más allá de la geométrica con el fin de facilitar su uso en las diferentes fases del ciclo de vida del proyecto.

El sector de la construcción debe afrontar este salto hacia la digitalización de los proyectos, algo que atañe especialmente a los fabricantes y proveedores de productos de construcción, elementos imprescindibles para realizar cualquier proyecto constructivo.

En la etapa pre-BIM, cada proyecto, véase un edificio, se componía a su vez de determinados sub-proyectos (estructura, fachadas, instalaciones, accesos, etc.) que se han diseñado y ejecutado mayoritariamente mediante planos, y de forma independiente y a veces contradictoria (por ejemplo, una tubería que se define por donde ya transcurre una columna), provocando un número muchas veces elevado de errores que se manifiestan fundamentalmente durante la fase de ejecución, con los consecuentes perjuicios en plazos y costes.

En cambio, BIM actúa como una gran base de datos de todos los elementos que forman parte de un proyecto de construcción. Cada elemento está catalogado, por así decirlo, y cada cambio que pueda realizarse (por ejemplo, una viga cuya posición se cambia por un determinado motivo) permite visualizar cualquier alteración de los elementos adyacentes (por ejemplo, las conexiones con los pilares en los que apoya). Además, al ir incluyendo y refinando información a lo largo del proyecto, se genera un historial donde se archivan las decisiones tomadas, los datos de los materiales y los servicios realizados con la conformidad legal adecuada.

La metodología BIM y especialmente la construcción industrializada con elementos prefabricados de hormigón se basan en parámetros similares: control más exigente desde la fase de diseño, un estricto cumplimiento de la geometría y la posición de los distintos elementos constructivos,

mayor calidad, costes y plazos controlados y, como consecuencia de todo ello, mayor eficiencia al término de la obra.

7.2. Estrategia BIM de las empresas de prefabricados

Cada vez más, cualquier fabricante que aspire a participar en proyectos desarrollados bajo esta metodología, deba desarrollar antes un catálogo de productos en lenguaje electrónico BIM que permita a los proyectistas utilizar y conocer esta información. Se pasa de una información técnica basada en planos o ficheros de texto, a archivos digitalizados legibles por software BIM. La forma de transformar esta información en BIM diferirá según el tipo de fabricante: su magnitud, capacidad técnica y económica, ámbito geográfico de actuación, etc.

Para ello, es fundamental que el fabricante digitalice su catálogo de producto, algo que será más o menos complejo en función básicamente del grado de estandarización de los elementos. En el caso de los pavimentos debe ser relativamente sencillo, ya que cada fabricante suele contar con un catálogo de productos bastante definido.

Figura.- Ventana de presentación del pavimento genérico de adoquines de hormigón en la galería BIMETICA

”Galería de productos genéricos de ANDECE en BIMETICA” [+]

”Galería de productos genéricos de ANDECE en BIM&CO” [+]

Ejemplo de contenidos del objeto genérico “Baldosas de terrazo de hormigón” desarrollado directamente por ANDECE dentro de la plataforma BIM&CO

- Información general: datos creación, enlaces útiles (por ejemplo, al buscador de fabricantes de la web de ANDECE al tratarse de un producto genérico), código QR para poder descargarlo, etc.;
- Fotografías seleccionadas de los elementos;
- Modelos 3D para descarga en el/los software en que se haya desarrollado (en este caso REVIT);

- Documentos adicionales: libertad para añadir información técnica, comercial, etc. que el fabricante quiera añadir;
- Propiedades y variantes: descripción técnica del elemento (en este caso, clasificado por los distintos cantos habituales);
- Clasificaciones según los estándares más reconocidos globalmente;
- Países de distribución: se puede dejar abierto, o acotarlo al país/países donde se comercialice el producto para concentrar la atención en un área geográfica determinada.

7.3. Entrada del prefabricador al proyecto

Los proyectos con sistemas constructivos con elementos prefabricados de hormigón deben definirse de forma completa e inequívoca en proyecto (como en BIM), comenzando por la forma (precisión geométrica más elevada debido al proceso industrial) y las propiedades técnicas de los elementos individuales (adoquines, baldosas,...) hasta conformar el sistema constructivo completo (pavimento), concibiendo, como debiera ser lógico, que lo proyectado debe ser construible. Con este enfoque, el prefabricador se presenta cada vez más como un apéndice del proyecto, al tener inevitablemente que contar con su asistencia técnica en el desarrollo del proyecto. Por tanto, BIM probablemente refuerce la necesidad de tener en cuenta su participación desde etapas más iniciales siendo un elemento diferencial que el prefabricador podría hacer valer.

EMPRESAS ASOCIADAS

Relación de fabricantes asociados de ANDECE que declaran fabricar elementos prefabricados de hormigón para pavimentos, en el momento de edición de esta guía. Seleccionar “pavimentos y solados” en el siguiente enlace: http://www.andece.org/directorio-de-negocios/

SOCIOS ADHERIDOS

Relación de socios adheridos de ANDECE que suministran productos y/o servicios directamente relacionados con los elementos prefabricados de hormigón para pavimentos, en el momento de edición de esta guía: http://www.andece.org/miembros-adheridos/

REFERENCIAS

- Máster de construcción industrializada en hormigón. http://capacitacionprefabricados.com/
- “Prefabricados de hormigón para pavimentación”. 2007, CEMENTO Y HORMIGÓN [+]
- “Adoquines de hormigón: La fusión del diseño y funcionalidad”. 2008, ANDECE [+]
- “Pavimentos prefabricados de hormigón”. 2013, Revista Diseño en la Ciudad [+]
- “Pavimentos con adoquines de hormigón”. 2014, IECA-ANDECE [+]
- "Pavimentos prefabricados de hormigón". 2014, Diseño de la Ciudad http://bit.ly/2Uw6k2E
- "Pavimentos urbanos descontaminantes". 2014, Diseño en la ciudad http://bit.ly/2Ppsrqq
- "Estado actual y proyección de los pavimentos prefabricados de hormigón". 2018, Diseño en la Ciudad http://bit.ly/2UWBZPX
- Guía Autodeclaraciones ambientales de productos prefabricados de hormigón – ANDECE http://www.andece.org/declaraciones-ambientales-andece/
- Guía BIM para empresas de prefabricados de hormigón http://www.andece.org/galeria-genericos-bim-de-andece/