



FIRMES DE HORMIGÓN EN CARRETERAS

FICHAS TECNICAS

INTRODUCCIÓN

Los pavimentos de hormigón poseen unas cualidades técnicas, económicas y ecológicas que los convierten en la solución óptima en muchas situaciones. Se trata de una alternativa que contribuye a una mayor sostenibilidad económica y medioambiental, dada su elevada durabilidad y reducido mantenimiento, que permite un uso más eficiente de los recursos al incrementar considerablemente el periodo de servicio del pavimento. Su aplicación sigue creciendo, tanto en los países donde cuentan con una larga tradición, como en aquellos con escasa experiencia anterior.

En España su uso está generalizado en puertos, aeropuertos, caminos rurales y entornos urbanos, donde está demostrada la idoneidad de la técnica en estas soluciones. Sin embargo, su aplicación en carreteras, ajena al buen comportamiento de estos firmes tanto en España como en otros países, ha sido mucho más discreta.

La técnica de los pavimentos de hormigón en carreteras dispone de una amplia variedad de soluciones constructivas en función de los condicionantes de cada obra. Estos son, básicamente, el tráfico, el tipo de explanada y, en menor medida, el clima.

No obstante, todas las soluciones presentan una característica común: el hormigón del pavimento asume la responsabilidad estructural de resistir las tensiones originadas por las cargas del tráfico y las variaciones de la temperatura y de la humedad ambientales. La misión principal de las restantes capas del firme es proporcionar un apoyo uniforme y estable a dicho pavimento. En ocasiones se dispone una armadura (pavimentos armados continuos o con juntas) cuya misión no es estructural (para resistir estas tensiones), sino de control de las fisuras que pueden formarse en el pavimento, impidiendo que éstas se abran excesivamente y se deterioren con el paso de los vehículos.

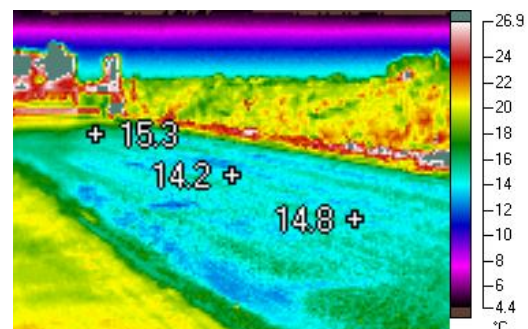
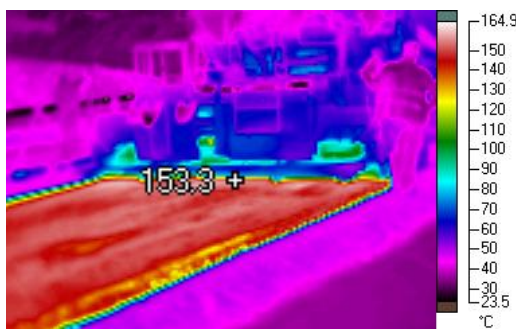
VENTAJAS Y CONTRIBUCIÓN A LA SOSTENIBILIDAD

Ventajas medioambientales

- Emplean recursos naturales locales prácticamente inagotables (no consumen derivados del petróleo)
- El consumo de áridos de calidad es menor que el de otras alternativas
- Permiten el empleo de áridos reciclados (RCDs), procedentes de pavimentos existentes
- Son reciclables en su totalidad al final de su vida útil, posibilitando el ahorro de áridos naturales
- Son muy duraderos, por lo que se evita el consumo de nuevos recursos y se reducen las emisiones de CO₂ debidas a las operaciones de mantenimiento o refuerzo
- Pueden capturar CO₂, lo que contribuye a mejorar el balance de emisiones a lo largo de su vida útil
- Requieren menor iluminación dada su claridad, con la consiguiente disminución del consumo energético
- Reducen el efecto invernadero y contribuyen al enfriamiento global, al disminuir la cantidad de radiación solar absorbida por la superficie de la Tierra
- No emiten lixiviados ni volátiles
- Es una técnica especialmente adaptada al empleo de cementos con alto contenido de adiciones. Ello se traduce en una disminución de las emisiones durante su fabricación, al reducir la cantidad de clínker empleado e incorporar subproductos industriales como escorias o cenizas volantes, lo que favorece el cumplimiento del protocolo de Kioto y de los compromisos de desarrollo sostenible.

Ventajas técnicas

- Los pavimentos de hormigón tienen una excelente capacidad estructural
- La durabilidad es más elevada que la del resto de soluciones sin apenas mantenimiento. Son numerosos los ejemplos de pavimentos sometidos a tráficos importantes que superan los 40 años en muy buenas condiciones de servicio
- Poseen una alta resistencia a los ataques de carburantes y agentes químicos
- Pueden dárseles fácilmente una gran variedad de texturas. Las de árido visto permiten obtener niveles de sonoridad inferiores al resto de pavimentos, sobre todo a largo plazo, sin sacrificar la resistencia al deslizamiento
- Reducen la distancia de frenado, lo que se traduce en mayor seguridad para el usuario
- Son incombustibles y resistentes al fuego. Tanto por su menor carga de fuego como por no emitir gases tóxicos están particularmente indicados para garantizar la seguridad en el interior de túneles
- Evitan la aparición de roderas
- En función de la textura elegida, permiten obtener niveles de resbaladidad y de resistencia al deslizamiento adaptados a cualquier tráfico y condición meteorológica
- Es posible combinar colores y texturas mediante el empleo de pigmentos y el tratamiento de la superficie del hormigón para conseguir una gran variedad de acabados estéticos
- Permiten reforzar cualquier firme agotado, incluso bituminoso (técnica conocida como whitetopping), aprovechando éste como base para el nuevo pavimento
- En su puesta en obra se evita la exposición de los operarios a altas temperaturas, gases nocivos y partículas en suspensión.



Temperaturas (asociadas a las condiciones de puesta en obra para los operarios) de un pavimento asfáltico (izquierda) y uno de hormigón (derecha)

Ventajas económicas

- El consumo de combustible es menor que sobre otros tipos de firmes, por las menores deformaciones que se producen en el pavimento de hormigón al paso de los vehículos. Estas reducciones son especialmente significativas en los vehículos pesados. Algunos estudios llevados a cabo en diferentes países (Suecia, Canadá, Japón) han medido disminuciones del 1,1% en el consumo en vehículos ligeros y del 6,7% en vehículos pesados
- Con un coste de construcción similar al de otras soluciones, la vida útil es mayor, y menores las necesidades de mantenimiento. Por ello, los costes totales (inversión inicial + conservación) son siempre inferiores a los de cualquier otra solución

- Debido a que las operaciones de mantenimiento son muy escasas, la afección que producen sobre los usuarios es mínima. Por ello son muy bajos los costes derivados de dichas operaciones, como los debidos a retenciones, accidentes u otros
- La práctica totalidad de las ventajas medioambientales y técnicas anteriormente citadas también se traducen en ventajas económicas.

TIPOLOGÍA

En función de la existencia o no de armaduras y de la disposición de las juntas, los pavimentos de hormigón se pueden clasificar en:

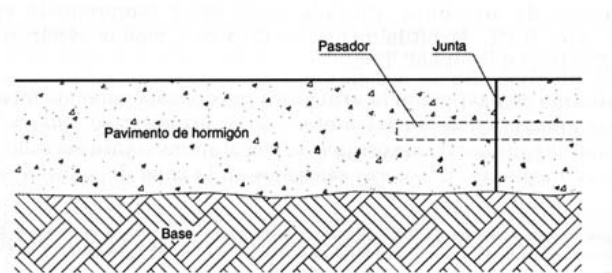
- Pavimentos de hormigón en masa con juntas (sin o con pasadores en las mismas)
- Pavimentos de hormigón armado con juntas
- Pavimentos continuos de hormigón armado

Hay otros tipos de pavimentos de hormigón cuyo empleo es mucho menos frecuente en carreteras. Entre ellos pueden citarse los de hormigón pretensado, los de hormigón armado con fibras, los de hormigón compactado con rodillo, de hormigón poroso, y los de elementos prefabricados (losas o adoquines).

Pavimentos de hormigón en masa con juntas

Son los pavimentos de hormigón más económicos y sencillos de construir, empleados en la mayoría de las categorías de tráfico (hasta 2.000 vehículos pesados/carril/día aproximadamente). En ellos se controla la fisuración mediante la ejecución de juntas. Estas juntas son longitudinales y transversales y, dependiendo de su función, pueden ser juntas de construcción, de contracción o de dilatación.

La separación entre juntas está relacionada con el espesor de la losa. En la práctica dicha distancia no debe ser superior a 25 - 30 veces el espesor de la losa cuando no existan gradientes importantes de temperatura. En caso contrario dicha separación deberá reducirse a 15 - 20 veces dicho espesor. Se recomienda disponer las juntas a distancias inferiores a 5 m, siendo aconsejable que estas no superen los 4 m en el caso de juntas sin pasadores. Como regla general, las losas formadas deben ser sensiblemente cuadradas, procurando que la relación entre los lados de las mismas no sean superiores a 1,5. En calzadas de ancho mayor de 5 m se han de disponer juntas longitudinales.

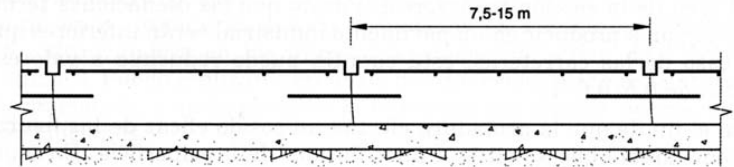


Como regla general, las losas formadas deben ser sensiblemente cuadradas, procurando que la relación entre los lados de las mismas no sean superiores a 1,5. En calzadas de ancho mayor de 5 m se han de disponer juntas longitudinales.

Con tráfico medios (IMD entre 200 y 2.000 vehículos pesados) se suelen disponer pasadores en las juntas transversales para aumentar la eficacia de la transmisión de cargas entre losas y asegurar con ello que las losas a uno y otro lado de la junta transversal tengan una deflexión similar al paso de los vehículos. Aunque el empleo de pasadores permite reducir el espesor de las losas y aumentar la separación entre las juntas, se han obtenido también excelentes resultados en pavimentos sin pasadores cuando las juntas se han dispuesto a distancias no superiores a 4 m.

Pavimentos de hormigón armado con juntas

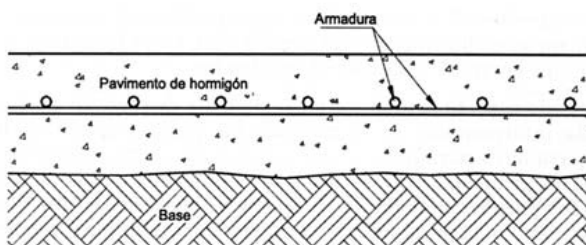
En esta tipología, poco utilizada actualmente en carreteras (pero si en pavimentos industriales y en otros tipos de aplicaciones), se coloca una armadura en el tercio superior de la losa para mantener cosidas las fisuras que eventualmente puedan formarse entre las juntas. Éstas se disponen a distancias tanto mayores cuanto mayor sea la cuantía de armadura, con lo que se reduce el número total de juntas. La distancia entre juntas longitudinales se mantiene, como en el caso anterior, en torno a los 4-6 m. La cuantía geométrica de armadura utilizada suele estar comprendida entre el 0,07% y el 0,10% del área de la sección transversal, siendo usual el empleo de mallas electrosoldadas como, por ejemplo, las de tipo ME 15 x 15 A \varnothing 6 - 6 B 500 T.



En general, la armadura no se dispone de manera continua sino que queda interrumpida en la zona de juntas, donde se instalan siempre pasadores para mejorar las condiciones de transferencia de carga.

Pavimentos continuos de hormigón armado (PCHA)

Esta tipología se emplea en general para pavimentos con elevado tráfico pesado (superior a 2.000 vehículos pesados/carril/día). En estos casos no se disponen juntas transversales sino que se utiliza la armadura, con una cuantía muy superior a la de un pavimento armado con juntas (0,6 a 0,7 %), para provocar la formación de una serie de fisuras transversales a distancia próxima (entre 0,5 y 2,5 m) con el objetivo de que se mantengan con una abertura inferior a 0,5 mm. Las únicas juntas que se disponen en este caso son las de contracción entre carriles (longitudinales), las de dilatación antes de un elemento rígido como una estructura (transversales) y las estrictamente necesarias de construcción.



La principal ventaja de esta técnica es la eliminación de las juntas. La elevada transmisión de cargas en las fisuras reduce las tensiones originadas por las cargas de los vehículos, así como las debidas a las variaciones de temperatura y de humedad. Ello permite disminuir el espesor del pavimento. Además, el mantenimiento a largo plazo es todavía más reducido que el de un pavimento con juntas. Como ejemplo, pueden mencionarse los 34 km de doble calzada de la autopista Oviedo – Gijón – Avilés (Y de Asturias), abierta al tráfico en 1976 y en la que a lo largo de más de 35 años apenas ha sido necesario realizar algunas reparaciones de roturas muy locales con un coste mínimo.

Como ejemplo, pueden mencionarse los 34 km de doble calzada de la autopista Oviedo – Gijón – Avilés (Y de Asturias), abierta al tráfico en 1976 y en la que a lo largo de más de 35 años apenas ha sido necesario realizar algunas reparaciones de roturas muy locales con un coste mínimo.



Pavimentos bicapa

En los distintos tipos de pavimentos descritos anteriormente puede recurrirse a una ejecución en dos capas. Se trata de una técnica cada vez más utilizada en autopistas, que consiste en disponer una capa

de rodadura de espesor reducido sobre otra capa de hormigón, extendiéndolas conjuntamente para asegurar su adherencia con el fin de que trabajen como una sola. Con ello se pueden disponer áridos de inferior calidad en la capa inferior o incluso áridos reciclados (lo que evita la sobreexplotación de las canteras existentes), limitando las exigencias de resistencia al desgaste y al pulimento a los áridos de la capa superior. A esta capa se le da la textura deseada. Son muy utilizados actualmente los acabados de árido visto por su menor sonoridad sin comprometer la adherencia y la seguridad. La ejecución requiere el uso de dos extendedoras de encofrados deslizantes trabajando conjuntamente.

Otros pavimentos

En los pavimentos de hormigón pretensado se aplica una compresión a las losas a fin de contrarrestar las tracciones ocasionadas por las cargas, los gradientes térmicos y la retracción, evitando así la aparición de grietas y fisuras. Actualmente se utilizan sobre todo en pisos industriales, permitiendo distanciar las juntas más de 100 m, así como en losas prefabricadas.



Los pavimentos de hormigón armado con fibras tienen características y aplicaciones muy distintas en función de las fibras utilizadas. Desde microfibras plásticas de pequeño diámetro (<0,3 mm), utilizadas para controlar la fisuración por retracción plástica; a macrofibras plásticas o fibras de acero con función estructural, que permiten mejorar el comportamiento en régimen plástico del material tras la fisuración así como su resistencia a la fatiga.



La dosificación más adecuada y el efecto conseguido dependen no sólo del material de las fibras, sino también de la longitud y esbeltez de las mismas. El contenido de microfibras varía entre 0,6 y 1 kg/m³, mientras que con fibras de acero se requieren dosificaciones superiores a 20 kg/m³.

El hormigón compactado es un hormigón con una consistencia muy seca que se pone en obra, extiende y compacta con la maquinaria de cualquier capa de material tratado con cemento. Sus características resistentes son similares a las del hormigón convencional, pero la regularidad superficial que se consigue obliga a disponer encima una o varias capas de mezcla bituminosa, salvo para caminos y vías rurales donde resulta una solución económica, durable y de fácil ejecución.

El hormigón poroso en capas de rodadura está especialmente indicado en emplazamientos donde la necesidad de drenaje sea elevada, o bien se requiera un cierto efecto de laminación de las aguas de escorrentía. Se utiliza sobre todo en aparcamientos, sendas peatonales y aceras, plazas, etc. Posee otras propiedades como la absorción de ruido. No obstante, con las texturas de árido visto en pavimentos de hormigón convencional, más fáciles de construir, es posible obtener niveles sonoros muy inferiores a los de otras muchas texturas utilizadas tradicionalmente.

Refuerzos con hormigón de firmes existentes

También es posible utilizar los pavimentos de hormigón como refuerzo de firmes existentes, tanto bituminosos como de hormigón. Con ello se dota a un pavimento envejecido de una rodadura de gran calidad, con una elevada capacidad de soporte, resistente al deslizamiento, de alta luminosidad y, sobre todo, durable.

En general, el antiguo firme se considera simplemente como una base de gran calidad del nuevo pavimento de hormigón, en cuyo caso el espesor de este último no difiere mucho del necesario en una obra nueva. Si el pavimento bituminoso existente se encuentra en buen estado y el tráfico de vehículos pesados no es importante, puede considerarse la opción de extender un refuerzo ultradelgado adherido (ultrathin whitetopping) sobre el mismo, con espesores entre 5 y 10 cm. Para conseguir un buen

comportamiento es esencial que el hormigón quede adherido a la mezcla bituminosa durante toda la vida de servicio. Por ello, es conveniente fresar la superficie del firme existente para darle una textura rugosa, y efectuar una limpieza cuidadosa inmediatamente antes de la extensión del refuerzo. Las juntas en este caso deben estar muy próximas, a distancias del orden de 1,5 m, a fin de que no se produzcan despeques como consecuencia de gradientes térmicos que tiendan a combar las losas del refuerzo.

En los refuerzos con hormigón es usual emplear mezclas con un desarrollo muy rápido de resistencias (también conocidas como hormigones fast-track), que permiten la apertura al tráfico en pocas horas. Estos hormigones pueden emplearse también para reparaciones locales permitiendo la puesta en servicio a las 6 horas.

TEXTURA EN LOS PAVIMENTOS DE HORMIGÓN

Si el espesor del pavimento y el tipo de hormigón son factores de gran importancia en el comportamiento estructural y la durabilidad, la textura superficial es la encargada de asegurar las características de rugosidad (adherencia), drenaje, baja sonoridad y reflectancia (que se traduce en una reducción de la iluminación necesaria).

Las texturas utilizadas pueden ser, entre otras:

- Estriado transversal: mediante el paso de peines de púas metálicas o de plástico. Es una textura que proporciona una elevada adherencia y resistencia a la frenada y buen drenaje, pero ruidosa. Recomendable para arcenes y en zonas muy lluviosas.
- Estriado longitudinal oscilante: mediante la acción de cepillos o peines, habitualmente incorporados al carro del equipo de curado. Es conveniente dotar al dispositivo de creación de la textura de un movimiento lateral que, combinado con el de avance, provoque una ondulación de forma sinusoidal que evite el guiado de las ruedas.
- Terminación con arpillera: la aplicación de una arpillera húmeda lastrada permite obtener una microtextura adherente de baja rugosidad. Se suele realizar conjuntamente con alguna de las otras texturas anteriores.
- Árido visto: obtenido mediante eliminación del mortero superficial (desactivado) de la superficie. Para ello se aplica sobre el hormigón fresco un retardador de superficie, que impide el fraguado del mortero en los milímetros superiores. Sobre dicho retardador debe extenderse un producto filmógeno de curado (aunque existen compuestos que realizan la doble misión de retardador y curador) o una lámina de plástico. Una vez que el resto del hormigón ha adquirido suficiente resistencia (en general al día siguiente) se elimina dicho mortero mediante barrido, dejando el árido parcialmente visto. Es una técnica bien desarrollada que permite obtener pavimentos con elevada rugosidad, buenas características de evacuación del agua de lluvia, antideslizantes y de muy baja sonoridad, manteniendo prácticamente estas cualidades durante toda su vida de servicio.



Texturas de estriado longitudinal, transversal y de árido visto.

EL HORMIGÓN PARA PAVIMENTOS

Un hormigón utilizado en pavimentos debe resistir correctamente el efecto de las acciones a las que se verá sometido, debidas fundamentalmente al tráfico y a las condiciones atmosféricas. Por la forma de trabajo, la resistencia exigida en estos hormigones es a flexotracción y no a compresión, como es común en el hormigón estructural. Aunque ambas resistencias (flexotracción y compresión) están relacionadas de manera directa, el control de resistencia del hormigón de pavimento se debe realizar a través de ensayos a flexotracción de probetas prismáticas, como indica la normativa técnica.



En pavimentos de carreteras se prescribe el empleo de hormigones con una resistencia característica mínima a flexotracción a 28 días de 3,5 - 4,0 o 4,5 MPa. La designación de estos hormigones en la normativa española (artículo 550 "Pavimentos de hormigón vibrado" del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes PG-3 del Ministerio de Fomento) es HF-3,5, HF-4,0 y HF-4,5 respectivamente. Éstos se corresponden de manera aproximada con hormigones de 25, 30 y 35 MPa de resistencia característica a compresión a 28 días (la relación entre las resistencias a compresión y a flexotracción es muy variable en función de las materias primas y la dosificación utilizadas).



Por razones de resistencia y durabilidad, en el Pliego PG-3 se exige a estos hormigones una dosificación superior a 300 kg de cemento por m³ y una relación agua / cemento no superior a 0,46. La consistencia más adecuada es la seco-plástica, con asentos en cono de Abrams comprendidos entre 2 y 6 cm. Al árido grueso se le exige un coeficiente Los Ángeles inferior a 35.

En función del tipo de textura, será necesario utilizar un árido fino o grueso con unas características determinadas de desgaste y naturaleza. En el caso de la textura de árido visto, en la que los vehículos están en contacto directamente con el

árido grueso, se exige a éste un coeficiente de pulimento acelerado (CPA) no inferior a 0,50, y si se realiza en la superficie del hormigón fresco una incrustación de gravilla, ésta debe tener un coeficiente Los Ángeles no superior a 20. Si es el mortero del hormigón el que se encuentra en contacto con el tráfico (texturas obtenidas mediante cepillado o estriado), se exige un porcentaje de arena silíceo superior al 35% (30% en el caso de categorías de tráfico T2 o inferiores) para asegurar su durabilidad.

El tipo de cemento a utilizar debe ser el de menor clase resistente posible (32,5 preferiblemente), así como tener una resistencia inicial normal (N). Los cementos con mayor porcentaje de adiciones activas son los más recomendables para su uso en pavimentos. Otros cementos con mayor categoría resistente (42,5 o 52,5) y alta resistencia inicial (R) también pueden ser utilizados cuando se precise una apertura rápida al tráfico.

El uso de aditivos plastificantes que faciliten la puesta en obra en el hormigón, es una práctica recomendable. En zonas sometidas a bajas temperaturas, se requiere además el empleo de aditivos inclusores de aire, que crean un conjunto de poros que actúan como "cámaras de expansión", permitiendo al agua aumentar de volumen al congelarse evitando que se produzcan desconchamientos en caso de heladas. Por otra parte, los aireantes tienen también un cierto efecto plastificante y mejoran la tixotropía del hormigón fresco, impidiendo la caída de los bordes del pavimento al salir del equipo de encofrados deslizantes.

La homogeneidad en las características (consistencia, resistencia) del hormigón es también fundamental para obtener buenos resultados, sobre todo si la puesta en obra es mecanizada.

PROCESO CONSTRUCTIVO

La base

La base del pavimento es una capa de gran importancia en el comportamiento a largo plazo del firme, pues las tensiones provocadas por las cargas de tráfico y las deflexiones de las losas se minimizan cuando éstas tienen un apoyo continuo, uniforme y estable en el tiempo. La solución más recomendable para la base (salvo en el caso de categorías de tráfico pesado inferiores a T2) es una capa de hormigón magro. Se trata de un hormigón con un contenido de cemento mucho más reducido que el de un hormigón para pavimentos (aunque no inferior a 140 kg/m³), una relación agua/cemento no superior a 1,15, y al que se le exige una resistencia media a compresión a 28 días entre 15 y 22 MPa. Las prescripciones del mismo se recogen en el artículo 551 "Hormigón magro vibrado" del PG3.

Las bases de hormigón magro son las menos erosionables y las de mayor capacidad de soporte. Además se pueden construir con los mismos equipos empleados en el pavimento. No obstante, su empleo sólo es estrictamente necesario para tráficos T2 o superiores. Para tráficos inferiores el pavimento de hormigón puede disponerse sobre una subbase de zahorra y, en algunos casos, directamente sobre la explanada (lo que es la solución más frecuente en las vías de baja intensidad de tráfico).

Amasado y transporte del hormigón

La solución más adecuada para garantizar una correcta homogeneidad y una producción que permita extender el hormigón sin paradas que repercutan en la regularidad superficial, es la fabricación en una central con amasadora y el transporte del hormigón seco-plástico en camiones volquete. El empleo de camiones amasadora se reserva en general para casos que no requieran un rendimiento elevado (vías de baja intensidad de tráfico, pavimentos construidos por carriles individuales, capa superior de pavimentos bicapa, etc.).

El tiempo de amasado depende del tipo de amasadora, pero debe ser como mínimo de 1 minuto y, en muchos casos, superior a 2 minutos. Dado que los tiempos de transporte pueden ser relativamente elevados, la consistencia se debe medir a la descarga del camión, y no a la salida de la amasadora.

El ajuste final de la dosificación se debe realizar en un tramo de prueba, para comprobar que con los equipos y medios disponibles en obra es posible construir un pavimento con las características exigidas.

Extendido del pavimento

Aunque es posible la puesta en obra manual en el caso de vías rurales o calles urbanas, en carreteras, las exigencias de regularidad superficial requieren la utilización de pavimentadoras de encofrado deslizante de alto rendimiento.



En general debe tenderse a descargar los camiones directamente delante de la pavimentadora. Cuando ello no es posible, por estar la base ocupada por elementos como armaduras sobre soportes o pasadores sobre cunas, hay que recurrir a una alimentación lateral con ayuda de retroexcavadoras, cintas transportadoras u otros dispositivos similares.

Las pavimentadoras de encofrado deslizante realizan las operaciones de distribución, vibrado y terminación del hormigón con una sola pasada, quedando el pavimento a la salida de la máquina prácticamente acabado a falta de las operaciones para dotarle de textura y el curado posterior. Estas últimas se suelen hacer con ayuda de un carro, en el que van montados los dispositivos para crear la textura en la superficie (mediante el arrastre de un cepillo o peine o bien aplicando un retardador de superficie en el caso de una terminación de árido visto) y de distribución del líquido de curado, o el de desactivado en su caso.

La cota y rasante del pavimento quedan determinadas por unos palpadores de la pavimentadora que se apoyan en unos hilos tensos, apoyados a su vez en unos piquetes colocados a intervalos regulares que se nivelan topográficamente. En ocasiones se recurre a sistemas de guiado tridimensional con los que es posible prescindir de los hilos de nivelación.



Preextendido, extendido, vibrado, textura y curado de un PCHA.

Dependiendo de la pavimentadora que se utilice, es posible construir en una sola pasada desde sólo 2 o 3 m hasta 15 m. Existen equipos dotados de dispositivos que introducen automáticamente mediante vibroinserción los pasadores o barras de unión en caso de ser necesarios. Otros equipos están provistos en su parte delantera de una batería de tubos de inserción (también denominados trompetas) para colocar en su posición final las armaduras de un pavimento continuo de hormigón armado (PCHA). En este caso las barras deberán estar previamente agrupadas en los laterales o en la parte central de la base a fin de dejar espacio suficiente para los camiones de transporte del hormigón.

En la parte posterior de la extendedora se dispone a veces una maestra oscilante transversal para realizar un alisado y nivelación del pavimento. Con fines similares suele emplearse una regla longitudinal oscilante (llamada habitualmente auto-float o bailarina), que permite eliminar irregularidades longitudinales en la rodadura.



Terminación y curado

Después del paso de ambas reglas oscilantes, es habitual que la propia pavimentadora arrastre una arpillera húmeda y lastrada para crear una microtextura. Dicha arpillera suele también utilizarse para eliminar las marcas que pudiera ocasionar la bailarina en su funcionamiento.

Posteriormente, a corta distancia de la pavimentadora, el carro de textura y curado aplica el cepillo de cerdas o flejes para dar la textura de cepillado y pulveriza el líquido de curado como última operación.

En el caso de una textura de árido visto, la misión de dicho carro es extender el retardador de fraguado y, en su caso, el compuesto de curado, aunque como ya se ha mencionado, existen productos que realizan simultáneamente ambas funciones. En ocasiones, especialmente en regiones lluviosas, el retardador de superficie se protege con una lámina de plástico que se va desplegando desde un rollo montado en el mismo carro. Posteriormente, una vez eliminado el mortero sin fraguar, hay que aplicar el producto de curado sobre el pavimento.

El curado del pavimento es una operación esencial, ya que impide la pérdida de agua necesaria para el fraguado y endurecimiento del hormigón y evita la aparición de fisuras de retracción y, con todo ello, la disminución de resistencias. Aunque es posible el curado con agua en vías de baja intensidad de tráfico, es mucho más recomendable utilizar productos filmógenos de calidad que se extienden sobre el pavimento creando al secarse una película que evita la evaporación del agua. Es conveniente que dicho producto contenga un pigmento de color blanco para reflejar la radiación solar.



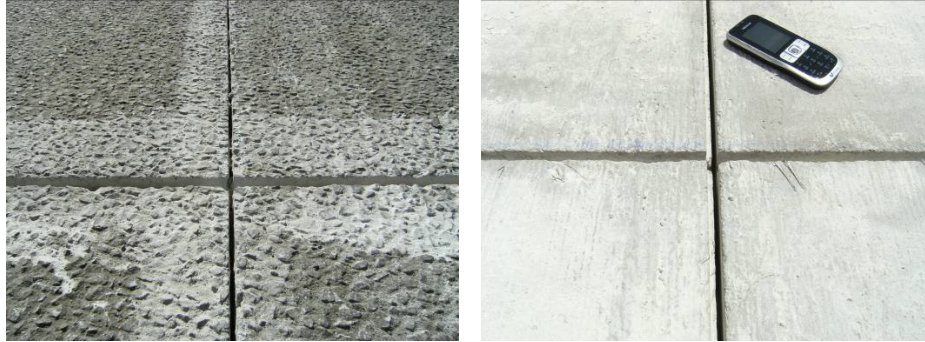
Juntas

En los pavimentos de hormigón en masa o armado con juntas, será necesario realizar el aserrado de las juntas de contracción transversales y longitudinales. Dichas juntas pueden también formarse en fresco, creando surcos en el mismo en los que se introduce un elemento (por ejemplo, una lámina de plástico) para evitar que los bordes de los mismos se vuelvan a adherir. No obstante, en el caso de las juntas transversales, los retoques manuales que hay que llevar a cabo pueden perjudicar la regularidad superficial, por lo que dicha opción se utiliza únicamente en vías de baja intensidad de tráfico. Por el contrario, en las juntas longitudinales es posible una ejecución mecanizada, mediante cuchillas vibrantes acopladas a la pavimentadora, y por ello esta técnica se utiliza también en autopistas y carreteras importantes.

En los PCHA hay que disponer juntas longitudinales, mientras que las únicas juntas transversales necesarias son las de construcción (generalmente de final de jornada de trabajo) y las de dilatación antes de llegar a una estructura.

El factor tiempo es crítico en el aserrado. Hay que cortar las juntas antes de que las tensiones hagan que el pavimento comience a fisurarse espontáneamente, pero no se puede realizar esta operación demasiado temprano pues los bordes pueden desportillarse. No es fácil fijar un valor para el lapso de tiempo entre la puesta en obra del hormigón y su corte, ya que depende de factores como el tipo de cemento, la temperatura ambiente, la humedad u otros. El corte debe tener una profundidad mínima del 25% del espesor.

Es recomendable el sellado de las juntas para evitar la entrada de agua, así como de elementos incompresibles (como gravillas) que pueden producir deterioros en las mismas. No obstante, no es imprescindible en zonas poco lluviosas o sin grandes variaciones de temperatura. El sellado puede realizarse con productos aplicados en frío o en caliente o bien mediante perfiles preformados de materiales elastómericos. Previamente al sellado será necesario el cajeo previo de la junta para darle unas dimensiones adecuadas al producto que se vaya a utilizar y, en el caso de los dos primeros, introducir en el fondo un cordón de obturación.



ANÁLISIS ECONÓMICO

Para analizar la repercusión económica de la elección de un determinado tipo de firme es necesario realizar un análisis económico de costes de construcción, conservación y mantenimiento a lo largo del periodo de proyecto adoptado.

En este sentido, los pavimentos de hormigón presentan la ventaja de que sus costes de conservación son muy inferiores al de otras soluciones alternativas. Son muy numerosos los ejemplos de firmes de hormigón que se encuentran en perfecto estado después de 40 o incluso 50 años, con un mantenimiento prácticamente nulo, como es el caso de la autopista Y de Asturias.

Otra ventaja relativa al coste es la baja fluctuación de los precios de los materiales de un pavimento de hormigón, todos locales, prácticamente inalterables con las oscilaciones del petróleo y el betún.

Es posible acceder a una herramienta informática de evaluación económica de construcción, conservación y mantenimiento en la página www.ieca.es. Dicha herramienta permite, entre otras posibilidades, actualizar los distintos precios o comparar mediante gráficas la rentabilidad de cada solución en función del precio introducido de cada material. Por ello resulta muy útil para evaluar económicamente la repercusión de un tipo u otro de pavimento en cualquier proyecto.

CONCLUSIONES

Los pavimentos de hormigón pueden utilizarse en cualquier tipo de obra, independientemente de su importancia o dimensión, adaptándose a ello el método de ejecución, que puede ser manual o mecanizado.

El pavimento de hormigón es duradero, apenas envejece por las acciones climáticas, es resistente a carburantes y aceites, es sostenible y, al final de su vida, reciclable. Las ventajas económicas son amplias, ya que además se disminuye sensiblemente el consumo de combustible, se aprovechan materiales locales, se reduce la necesidad de iluminación en vías urbanas o túneles y los gastos de conservación y mantenimiento son prácticamente nulos.

Se trata de una técnica moderna, contrastada y avanzada, que permite además diseños, texturas e incluso colores adaptables a cualquier condición y requerimiento.

REFERENCIAS

- Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes PG-3. Artículos 550 y 551: Pavimentos de hormigón y hormigón magro vibrado. Dirección General de Carreteras, Ministerio de Fomento, Madrid, 2004.
- Norma 6.1-IC sobre Secciones de firme. Dirección General de Carreteras, Ministerio de Fomento, Madrid, 2003.
- Ponencias del 11º Simposio Internacional de Pavimentos de Hormigón. Sevilla, 13 al 15 de octubre de 2010.
- Effects of Pavement Structure on Vehicle Fuel Consumption – Phase III. National Research Council of Canada, Ottawa, 2006
- Manual de Pavimentos de Hormigón para Vías de Baja Intensidad de Tráfico. IECA. Madrid. 2002.