

Diseño, proyecto y planificación de pavimentos de altas prestaciones y altas exigencias

Design, Project and Planning of High Performance and High Demand Pavements

Óscar Candás Aparicio

^aDirector Técnico de Betonia Products tecnico@betoniaproducts.com

*Coordinador Grupo Diseño, Proyecto y Planificación AEPC info@aepec.info

RESUMEN

En la **Asociación Española de Pavimentos Continuos (AEPC)** se han editado dos volúmenes que recogen todos los aspectos técnicos que corresponden al **Diseño, Prescripción, Proyecto, Planificación, Ejecución, Puesta en Servicio y análisis del ciclo de vida para los Pavimentos de Altas Prestaciones y Altas Exigencias**[1].

En dicho trabajo han participado las instituciones más singulares académicas, científicas, técnicas, empresariales, así como los mejores profesionales del sector de nuestro país a los cuales se busca reconocer y agradecer su aportación en estos documentos, con la esperanza de que tecnifiquen, singularicen y signifiquen el mundo del pavimento español e incluso algún día puedan ser la base de una futura normativa nacional.

ABSTRACT

The **Spanish Association of Continuous Pavements (AEPC)** has published two volumes that cover all the technical aspects related to the **Design, Prescription, Project, Planning, Execution, Commissioning and Analysis of the Life Cycle of High Performance and High Demands**[1].

The most singular academic, scientific, technical and commercial institutions have participated in this work, as well as the best professionals in the sector in our country. The association would like to acknowledge and thank all of them for their contribution to these documents, in the hope that they will make the world of Spanish flooring more technical, unique and significant, and may even one day serve as a basis for future national regulations.

PALABRAS CLAVE: pavimento, losa, estructura, altas exigencias, altas prestaciones, proyecto, ingeniería.

KEYWORDS: pavement, flooring, slab, structure, high demands, high performance, project, engineering.

1. Introducción

Los actores vigilantes de la calidad de la construcción en las obras de pavimentos de hormigón: Directores de Obra, Responsables Técnicos de plantas de hormigón, Propiedades, Consultores, etc. actualmente demandan altas exigencias a éstos sin tener en cuenta que un buen diseño, una correcta prescripción y una justa planificación, serán en gran medida claves en calidad y desempeño final de este.

En el mundo del pavimento las reglas vienen regidas más por aspectos constructivos, aplicables a otras unidades diferentes de obra.

La normativa vigente no menciona nada y genera confusión, aportando desconocimiento y alto desinterés hacia el mundo de la pavimentación sin entender, ni siquiera reflexionar, que un pavimento es una unidad que necesita de una especificación concreta y diferente a la de una construcción estructural o de uso común.

Es indudable que los pavimentos industriales de hormigón deben ser considerados como elementos estructurales, del mismo modo que los pilares, vigas, zapatas, forjados o muros, por mencionar otros ejemplos. No obstante, por sus propias características físicas dimensionales y por su interrelación con las solicitaciones o cargas que se le aplicarán, hacen que estos elementos se dimensionen bajo procedimientos de cálculo específicos.

Al tratarse de un elemento apoyado de manera habitual sobre el terreno y de tipología laminar, en el que las dimensiones en plano son bastante superiores a los espesores que, a su vez, reciben perpendicularmente las cargas, el principal mecanismo solicitante es la flexión siendo que la compresión es típicamente bastante más baja.

Por este motivo, los procedimientos de cálculo más habituales y aconsejados para los pavimentos de hormigón se basan en su resistencia a flexotracción y no en la típica resistencia a compresión, como sí ocurre para la gran mayoría de los demás elementos estructurales.

Partiendo de la base que un pavimento industrial de hormigón es una estructura (losa) y que esta estructura presenta peculiaridades diferentes a todas las unidades estructurales definidas en el **CodE RD470/2021**[6] y que en este nuevo código se define por primera vez una unidad en la que podemos englobar los pavimentos en el Capítulo 12 Art 55/ Tabla 57.5.4.1 Vigas, forjados y losas pavimentos con trabajo a flexotracción; podemos establecer un criterio estructural específico para pavimentos.

2. El Diseño de un pavimento

El diseño de un pavimento continuo de hormigón deberá ir siempre enfocado a que, una vez construido, el mismo, cuente con unas características finales que le permitan satisfacer las necesidades y exigencias para las cuales fue proyectado y ejecutado.

Primeramente, se debe tener en cuenta que en su diseño es conveniente valorar diversos factores que a menudo no se tienen en cuenta en el diseño de otros elementos de hormigón y que son de suma importancia para obtenciones finales de pavimentos exitosos con ciclos de vida útil medios como sugiere **IECA**[5] de 40-50 años muy superior, incluso el doble, que otro tipo de pavimento que además cuenten con planes de mantenimiento específicos que les ayuden a tener una durabilidad correcta.

Las personas encargadas de diseñar el pavimento deberán reunirse con el cliente antes de comenzar el diseño para poder establecer de forma clara, concisa y cuáles son los objetivos, las exigencias y las necesidades de funcionabilidad del futuro pavimento con la finalidad de poder diseñar desde un inicio el pavimento de forma idónea y no realizar en fases sucesivas modificaciones que alteren los requerimientos iniciales.

Es necesario como punto de partida, evaluar inicialmente las exigencias específicas que tendrá ese pavimento en todo su ciclo de vida incluyendo: posibles cambios, modificaciones, planes de mantenimiento, limpieza y posible restauración ante siniestros, fatigas varias, fallas, etc.

El diseño debe ser competencia exclusivamente de “expertos acreditados” que realicen los cálculos estructurales y dimensionamientos correspondientes bajo un proyecto, responsabilizándose del mismo y coordinándose con el resto de los vigilantes de la calidad del proyecto y construcción del pavimento.

En ningún caso, el diseño y la concepción del futuro pavimento debe sustentarse en asesoramientos comerciales carentes de rigor y base técnica, intereses económicos espurios, literaturas modelo que sirvan de “copia y pega” u hojas de cálculo genéricas que no maneje ningún experto, ya que en la mayoría de los casos rompe la cadena de exigencia desde el inicio y con ello se generan pavimentos fallidos.

Así mismo, una vez claro el dimensionamiento y los tipos de hormigones solicitados según **Code RD470/2021**[6] para el desempeño marcado en la prescripción, se aconseja consultar con técnicos de hormigones que estudien y asesoren sobre los impactos reológicos que esta prescripción pueda ocasionar, ya que puede incluso llegar a ser

incompatible con una correcta reología y puesta en obra necesaria.

Los pavimentos de actividades empresariales exigentes industriales, logísticas y comerciales ya no son capas simples que sustentan la actividad cotidiana. En la actualidad los pavimentos son losas y son estructuras con toda la complejidad técnica y requisitos de altas exigencias que están en constante interacción con su entorno, que en muchas ocasiones se comporta tremendamente hostil atacando su integridad de manera intensiva.

Estas estructuras, tienen un peso significativo en los proyectos de la mayoría de las construcciones industriales, logísticas, comerciales, etc., representando la mitad de las unidades constructivas de las mismas, con las cubiertas y en menor medida con las fachadas y otras unidades auxiliares.

Este protagonismo decrece o se pierde en el momento de construir esa losa, por múltiples motivos y pasa a ser una unidad a la que ni se presta importancia en su construcción, en la puesta en servicio y en el uso cotidiano.

Estos pavimentos si son mal conceptuados, mal contruidos, mal concebidos en origen, en su uso o mal mantenidos, serán pavimentos fallidos creando alta problemática y gran caos operativo en el dinamismo diario, generando gran tensión en las cadenas productivas, logísticas, y otros departamentos, pudiendo hasta colapsar el sistema corporativo.

Los motivos de colapso o falla pueden ser muy diversos y ocasionan todo tipo de tensiones diversas, como paradas o interrupciones productivas, fallos diversos de seguridad, costes múltiples directos de reposición e indirectos de

oportunidad por paradas obligatorias en la actividad empresarial cotidiana, etc., por lo que el diseño basado en la durabilidad y la resiliencia debe priorizarse por encima de otros intereses.

3. Requisitos clave para un buen diseño de un Pavimento de Hormigón de Altas Prestaciones y Altas Exigencias

Todo pavimento debe responder a las exigencias de su puesta en servicio y su vida útil objetiva teniendo en cuenta para ello que habrá diferentes exigencias de “demandas de uso” según:

- **Análisis de las necesidades y demandas desde abajo**, según el sustrato que se disponga con el correspondiente estudio “ingenieril y geotécnico” de análisis de la subbase que corresponden a los Departamentos o Técnicos de dimensionamiento de la losa.
- **Análisis de las necesidades y demandas desde arriba**, según el uso y demandas que se pretenda obtener del pavimento en su uso de necesidades superficiales con un estudio preciso de varios puntos de determinación y caracterización del pavimento antes del comienzo e incluso durante la fase de prescripción del proyecto.
En este artículo solo se analizan resumidamente las principales demandas desde arriba del pavimento que se debe tener en cuenta en su proyecto de Pavimento de Altas Prestaciones y Altas Exigencias.

Las demandas superficiales “desde arriba” exigidas a la mayoría de los tipos de pavimentos son comunes de manera genérica y cada uno de ellos, según tipología y vida útil, tendrá unas características específicas a estudiar y definir en el Diseño que a continuación definimos:

3.1 Características de esfuerzos mecánicos

Son esenciales para el diseño y la selección de materiales adecuados para pavimentos que según el tránsito deberá de tener menor o mayor resistencia y definirán su índice de resiliencia, así como su coeficiente “n” de durabilidad, asegurando que puedan soportar las condiciones de tráfico y ambientales a las que estarán expuestos a lo largo de todo su ciclo de vida.

Es necesario prestar importancia principalmente a las siguientes:

3.1.1 Resistencia a la compresión y a la flexión

Es la capacidad del pavimento para soportar cargas verticales sin deformarse o agrietarse. Un buen pavimento debe tener una alta resistencia a la compresión para soportar el peso de vehículos y otros elementos. No solo debemos atender a las características mecánicas de resistencia a compresión **UNE EN 12390-3:2020**[7] que presenta el conglomerado de hormigón con el cual se han realizado las losas que conforman el pavimento, también se debe contemplar la magnitud de la contracción y la deformación por fluencia es del mismo orden que la deformación elástica bajo el rango normal de tensiones.

Por ello, además de contemplar la Resistencia a la Compresión es aconsejable tener en cuenta todos los tipos de deformaciones para calcular las deformaciones reales en un elemento de hormigón armado; bien con hierro, bien con fibras, e incluso armadura mixta, como son aquellas que aportan información sobre las capacidades de módulos de deformación que tiene ese conglomerado del pavimento resultante:

3.1.2 Flexotracción

Los pavimentos de hormigón están sometidos a cargas repetitivas y concentradas, como el peso de los vehículos, especialmente los pesados (camiones, cargas, carretillas, etc.). Estas cargas generan tensiones de flexión en la base del pavimento. Si el hormigón no tiene suficiente resistencia a la flexión, puede fracturarse, lo que compromete su funcionalidad y durabilidad. La resistencia a la flexión del hormigón, también conocida como módulo de ruptura, **UNE EN 12390-3:2020**[7], es una medida indirecta de la resistencia a la tracción del hormigón no reforzado siendo, sin duda una medida más representativa del comportamiento del pavimento frente a las tensiones reales que experimenta, en comparación con la resistencia a la compresión. Aunque el hormigón es fuerte a compresión, su comportamiento en flexión es más relevante en pavimentos, donde las tensiones de tracción en la parte inferior son claves.

Debido a que no siempre es posible realizar ensayos a flexotracción del hormigón a usar en el pavimento, bien por indisponibilidad de equipos, o bien por el mayor costo que estos ensayos representan cuando son comparados con los de compresión, las distintas normativas españolas y europeas contemplan su obtención mediante fórmulas que relacionan ambas resistencias.

Uno de los ejemplos es el **Eurocódigo 2** [8], que establece que la resistencia a flexotracción de un hormigón es igual a:

Ec. 1

$$f_{ctm,fl} = \max \{ (1,6 - h/1000) \times f_{ctm} ; f_{ctm} \}$$

$$\text{Siendo: } f_{ctm} = 0,30 \times f_{ck}^{(2/3)} \quad (1)$$

3.1.3 Límite de proporcionalidad (LOP) y resistencia residual, UNE-EN 14651:2007+A1.

Que determinará el comportamiento post-fisuración del pavimento y así conocer qué puede ocurrir cuando puedan aparecer las fisuras.

3.1.4 Resistencia a la tracción

Se refiere a la capacidad del material para resistir fuerzas que intentan estirarlo antes de que rompa. **ASTM C-496** [9], **UNE 83.306** [9] e **ISO 4108** [9] siendo un punto muy importante para evitar la formación de grietas y fallas en el pavimento.

3.1.5 Módulo de Elasticidad

UNE EN 12390-13:2020 [10] por el método de Determinación del Módulo Secante de Elasticidad en compresión. El módulo de elasticidad del hormigón es la medida de la rigidez del hormigón, que es un buen indicador de la resistencia.

3.1.6 Resistencia al corte

Es la capacidad de un pavimento para resistir fuerzas que actúan paralelamente a su superficie. Esto es crucial en áreas donde hay cambios de dirección o en pendientes.

Muchos pavimentos de hormigón, especialmente los industriales, están sometidos a severas condiciones de desgaste.

En tales situaciones, el hormigón a emplear debe contar con una serie de características que vayan encaminadas a lograr la resistencia a la abrasión de la capa de desgaste.

3.1.7 Resistencia a la fatiga

Con el tiempo y el uso, los pavimentos pueden sufrir daños por ciclos repetidos de carga. La resistencia a la fatiga es la capacidad de un pavimento para soportar estas cargas repetidas con amplia resiliencia sin fallar.

3.1.8 Dureza superficial y abrasión

La dureza del material del pavimento influye en su resistencia al rayado y al desgaste. El desgaste, que es la eliminación de material de la superficie, es un proceso de desplazamiento y desprendimiento de partículas o fragmentos de la superficie. Los mecanismos de abrasión son complejos y pueden producirse combinaciones de diferentes acciones en muchos entornos, por ejemplo, de los neumáticos de los camiones, el tráfico peatonal, el raspado y el impacto. Muchos pavimentos de hormigón, especialmente los industriales, están sometidos a severas condiciones de desgaste. En tales situaciones, el hormigón a emplear debe contar con una serie de características que vayan encaminadas a lograr la resistencia a la abrasión de la capa de desgaste que se pueden consultar en la **UNE-EN 13892-4:2003** [11] (Métodos de ensayo de materiales para soleras continuas, Parte 4: Determinación de la resistencia al desgaste BCA).

3.1.9 Determinación de la resistencia a la adherencia EN 13892-8 [12] (entre capa de rodadura y hormigón).

En su casi totalidad se tendrá que determinar la efectividad y calidad de la resistencia a la adherencia en la intersección de las diferentes capas que contengan el pavimento, como puede ser la capa de rodadura y el hormigón, no obstante, habrá casos de capas adheridas en los que también se tendrá que obtener testigos y determinar la adherencia entre diferentes capas de hormigón.

3.1.10 Resistencia a la deformación plástica

Es la capacidad del pavimento para resistir deformaciones permanentes bajo carga por norma general debido a la indotación. Este término hace también referencia a la resistencia a la penetración, corte, abrasión y/o rascado. Esto es especialmente importante en climas cálidos o gradientes altos donde el pavimento puede ablandarse. Habrá que tener en cuenta la respuesta que ofrece el pavimento ante impactos

o cargas de choque según **EN 1441**[13] o la **ISO 10545-5**[13]/ **UNE 22179**[13] y **UNE 127021 EX**[13]. Los impactos pueden causar una tensión considerable en el material debido a su rapidez; el material no tiene tiempo para adaptar y distribuir la presión porque el choque ocurre muy rápido. En definitiva, la dureza es vital en el campo de la ingeniería porque nos permitirá conocer la resistencia de un material ante posibles deformaciones, algo imprescindible en la construcción resiliente.

3.1.11 Permeabilidad, Porosidad

Aunque no es una resistencia mecánica en sí, la capacidad de un pavimento para permitir el paso del agua puede influir en su durabilidad y resistencia a la erosión. Un pavimento impermeable es aquel que no deja traspasar a través de él al agua u otros líquidos que se encuentren sobre su superficie. En este sentido, los pavimentos sometidos a un contacto frecuente con el agua, especialmente bajo presión, requieren hormigones con una alta resistencia a la penetración del agua bajo presión. La durabilidad del hormigón está relacionada en gran medida con su microestructura, como su red porosa y sus interconexiones.

Cuanto más densa y compacta sea la estructura tendremos una mejor estructura capilar con menor densidad de poros y estos serán más finos generando una barrera efectiva al paso de agua y agentes externos que desean entrar dentro de la estructura alcalina y que afectarán irremediablemente en la durabilidad del hormigón.

Estas características mecánicas son esenciales para el diseño y la selección de materiales adecuados para pavimentos, asegurando que puedan soportar las condiciones de tráfico y ambientales a las que estarán expuestos.

3.2 Características de la resistencia a esfuerzos químicos de los pavimentos

El ataque químico a los suelos de hormigón suele producirse por el vertido de productos químicos agresivos. La intensidad del ataque depende de una serie de factores, principalmente la composición y concentración del agente agresivo, su pH, la permeabilidad del hormigón y el tiempo de contacto y la determinación se realizará por las normas **ISO1045-3 [14] para La Determinación a las Sustancias Químicas y por ISO 1045-4 para la Determinación a las Manchas**[14].

No obstante, cuando se diseñe un pavimento, es crucial para garantizar su durabilidad y funcionalidad en diferentes entornos que se tenga en cuenta los siguientes puntos:

3.2.1 Resistencia a la corrosión

Algunos pavimentos, especialmente los que contienen materiales metálicos (armaduras, encofrados o incluso fibras) o aditivos, deben ser resistentes a la corrosión causada por productos químicos, como sales, ácidos o bases o agentes deshielantes.

3.2.2 Resistencia a productos químicos

Los pavimentos deben ser capaces de resistir el contacto con diversos productos químicos, como aceites, combustibles, solventes y detergentes. Esto es importante en entornos industriales o comerciales donde estos productos son comunes.

3.2.3 Estabilidad frente a cambios de Ph

Algunos pavimentos pueden verse afectados por cambios en el pH del entorno, lo que puede provocar degradación o pérdida de propiedades mecánicas. La resistencia a estos cambios es esencial para mantener la integridad del pavimento.

3.2.4 Resistencia a la humedad

La exposición constante a la humedad y al agua puede afectar la estructura de los pavimentos, especialmente aquellos que no son impermeables. La resistencia a la humedad ayuda a prevenir la formación de hongos, moho y otros problemas relacionados.

Se recomienda que en su diseño se contemple la búsqueda de pavimentos muy compactos y poco porosos.

3.2.5 Durabilidad ante ciclos de congelación y descongelación

En climas fríos, los pavimentos deben resistir los efectos de la congelación y descongelación, que pueden ser exacerbados por la presencia de productos químicos. Esto es importante para evitar agrietamientos y deterioros varios.

3.2.6 Compatibilidad con selladores y recubrimientos

Si se aplican selladores o recubrimientos para mejorar la resistencia química, es fundamental que estos sean compatibles con el material del pavimento para evitar reacciones adversas.

3.2.7 Resistencia a la abrasión química

Algunos productos químicos pueden causar desgaste en la superficie del pavimento. La resistencia a la abrasión química es importante para mantener la apariencia, resiliencia y funcionalidad del pavimento a lo largo del tiempo.

3.3 La resistencia a los esfuerzos térmicos de los pavimentos

Es un aspecto crucial para asegurar su durabilidad y rendimiento. Los pavimentos están expuestos a variaciones significativas de temperatura que pueden causar diversos tipos de deformaciones y daños.

Una combinación de selección adecuada de materiales, diseño estructural eficiente, y mantenimiento regular puede mejorar significativamente la resistencia térmica de los pavimentos y la tasa o coeficiente de expansión térmica que es aquella en la cual un material se expande o contrae con los cambios de temperatura.

Materiales con altos coeficientes de expansión térmica pueden sufrir más deformaciones como las descritas a continuación:

- **Fisuración Térmica:** Las fisuras pueden aparecer debido a la contracción por enfriamiento tanto en pavimentos rígidos como en los flexibles.
- **Abultamiento y Hundimiento:** En climas cálidos, el hormigón puede sufrir abultamientos debido a la expansión térmica pudiendo iniciarse un proceso de ablandamiento, deformación, aperturas de fisuras en edad inicial e incluso desintegración.
- **Desprendimiento de Material:** Cuando se disponen de bajas temperaturas, ciertos hormigones pueden volverse frágiles con riesgos de desintegración

3.4 La seguridad de las superficies de pavimentos

Es crucial para prevenir accidentes y garantizar la comodidad y bienestar de los usuarios.

Para ello se debe examinar las siguientes características:

3.4.1 Regularidad superficial

El concepto de regularidad superficial de un pavimento se asocia al grado de planicidad y la nivelación de la superficie del mismo; siendo la planicidad, la característica que establece el grado de acercamiento de un pavimento a una superficie plana; y la nivelación, la característica que establece el grado de horizontalidad de la superficie del pavimento. Es un tema que ha cobrado gran importancia en los últimos años a raíz tanto del desarrollo de nuevos sistemas de almacenaje como de la aparición de maquinaria y vehículos de gran altura que requieren unas condiciones superficiales muy exigentes por razones de estabilidad.

En este sentido, un suelo plano es aquel que se encuentra libre de bultos, ondulaciones, socavones, irregularidades, etc.; y un pavimento nivelado es un pavimento horizontal, siendo un pavimento desnivelado, un pavimento con

pendientes y rampas. Ambas propiedades son independientes, de modo que planicidad no implica nivelación ni, recíprocamente, nivelación implica Planicidad.

En línea con lo anterior, a la hora de definir o especificar la regularidad superficial de un pavimento es necesario tener en cuenta si éste va a estar sometido a un tráfico de trayectoria conocida o desconocida. En el primer caso, será posible obtener perfiles detallados de la superficie sobre la que vayan a circular los vehículos, alcanzándose un conocimiento de la regularidad superficial al poderse obtener datos precisos a lo largo de direcciones conocidas. En el segundo caso, no es posible conocer cuáles serán los movimientos de los vehículos, por lo que habrá que trabajar con parámetros estadísticos, extrapolando los resultados obtenidos en puntos o líneas de la superficie a todo el pavimento, siendo necesario, además, establecer unas tolerancias distintas.

- **Tráfico aleatorio ASTM 1155(USA) [15]**
Generalmente, las normas de medición para validar este tipo de exigencias se basan en medir aleatoriamente un determinado número de metros lineales del firme realizado. A grandes rasgos, existen 3 normas a las que se puede hacer referencia en las especificaciones de un pavimento de tráfico aleatorio midiéndose por números **F: Número FF (Face Flatness), que mide desniveles en tomas de 1 pie (o 30cms en su versión métrica), y los FL (Face Levelness),** que da diferencias en tomas de 3 metros. Por tanto, los FF arrojan un valor que define la ondulación del pavimento, y los FL su horizontalidad.
- **Tráfico Guiado TR34(UK) [3] [15]:** Al igual que la **ASTM 1155[15]**, define tolerancias para una clasificación por tipo de pavimentos llamados por las siglas **DM (Defined Movement) [15] DM1, DM2 y DM3, de forma parecida a la ASTM 1155 [15].**

3.4.2 Textura y Rugosidad superficial de la macrotextura relacionada con las características superficiales que afectan el drenaje del agua y la fricción a altas velocidades y de la microtextura relacionada con la fricción a baja velocidad y el contacto directo entre los neumáticos y la superficie del pavimento.

El índice de Rugosidad IRI ASTM E 867-06,4 [16] es utilizado a nivel internacional para medir las alteraciones del perfil longitudinal del camino en las vías que provocan vibraciones los vehículos que lo recorren.

3.4.3 Fricción, deslizamiento y Resbaladidad

- **La Determinación del Valor de la Resistencia al Deslizamiento/Resbalamiento UNE-ENV 12633** [17] hace referencia al nivel de deslizamiento con el que cuentan los pavimentos en condiciones normales, característica que dependerá los acabados que se les apliquen a los suelos.

Es necesario tener en cuenta que un pavimento industrial dispone de una superficie con acabado de hormigón pulido la aplicación del **DB SUA** [17] a edificios de uso industrial deben aplicarse las condiciones de reglamentación de seguridad industrial y de seguridad en el trabajo. Para pavimentos continuos de uso industrial se admite que el riesgo de deslizamiento en zonas secas se limita adecuadamente si el suelo ensayado siguiendo el procedimiento en seco descrito en la norma **UNE 41902:2017 Ex** [17] tiene un valor PTV superior a 40 para superficies con pendiente menor que el 6% y superior a 65 para superficies con pendiente igual o mayor que el 6% y escaleras. De igual manera, las particularidades para realizar el ensayo en seco en suelos en servicio están descritas en el apartado 8 de la norma **UNE 41902:2017 EX** [17].

- **El coeficiente de rozamiento o coeficiente de fricción ANSI A326.3(2017)** [18] El valor del coeficiente de rozamiento no es una propiedad intrínseca de un material ya que depende además de muchos factores como la temperatura, el acabado de las superficies, la velocidad relativa entre las superficies, etc. La naturaleza de este tipo de fuerza está ligada a las interacciones de las partículas microscópicas de las dos superficies implicadas. La mayoría de las superficies, aun las que se consideran pulidas, son extremadamente rugosas a escala microscópica. Este ensayo a nuestro parecer realizado con tribómetro es más exacto y adecuado que el realizado con péndulo para La Determinación del Valor de la Resistencia al Deslizamiento/Resbalamiento **UNE-ENV 12633** [17].

3.5 Estética y Posibilidades expresivas

Las técnicas y sistemas actuales de impresión, texturización, coloración, desactivación, etc., aportan innumerables posibilidades expresivas, tanto de forma aislada como mediante combinación de las mismas, se puede conseguir cualquier efecto estético que se desee con unos resultados excelentes.

En un pavimento de Altas Prestaciones y Altas Exigencias se ha buscado textura de poro cerrado con lo cual la superficie será muy lisa y sin apenas rugosidad, pero no exenta de condición estética, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

3.5.1 Colorimetría

El color corresponde a una percepción e interpretación subjetiva. Para evitar esto y asegurar que una muestra cumpla con el estándar, el color debe ser expresado en términos numéricos y objetivos.

En un pavimento no solo importa la tonalidad objetiva, sino también la uniformidad de la misma y esta se determina con la Determinación colorimétrica sistema **(CIE 1976 L*a*b*) UNE-EN ISO 11664-6** [19].

3.5.2 Brillo

El brillo es una percepción visual como resultado de la evaluación de las superficies.

Generalmente, el brillo de un pavimento de hormigón se obtiene mediante la técnica de pulido, aunque también es muy habitual, para este mismo fin, el empleo de pinturas y barnices o recubrimientos.

En cualquier caso, si el brillo es una característica a tener en cuenta en un pavimento, una vez ejecutado éste, deberá medirse. En este sentido, existen varias normas para medir el brillo en diferentes superficies, pero las que competen a superficies de hormigón son la **UNE-EN ISO 2813:2014** [20] y la **ASTM D2457** [20], ambas son originadas en el mundo de las recubrimientos, pinturas y barnices.

3.5.3 Reflexión

La reflexión en un pavimento es la capacidad que este dispone a cambiar de dirección de los rayos de luz después de incidir sobre su superficie.

La SR determina la relación entre el flujo solar reflejado y el flujo solar incidente; se mide de acuerdo con las normas americanas **ASTM E 903** [21], **ASTM E 1918** [21], o **ASTM C 1549** [21], no habiendo aún normas a nivel europeo o español.

4. Conclusiones

En este artículo se han resumido las pinceladas de los aspectos más singulares de todas las demandas que puede exigir un pavimento de Altas Prestaciones y Altas exigencias y en los que nadie

suele reparar, para obtener un correcto y exitoso ciclo de vida.

El diseño y la construcción de un pavimento continuo de hormigón deberá ir siempre enfocado a que, una vez construido, el mismo, cuente con unas características finales que le permitan satisfacer las necesidades y exigencias para las cuales fue proyectado y ejecutado.

En muchas ocasiones se olvida o se desconoce la mayoría de los requerimientos y el índice de pavimentos fallidos genera amplias problemáticas para los prescriptores, los constructores, los usuarios y las propiedades que podían haberse remediado o minimizado de haberlos tenido en cuenta.

Referencias

- [1]Manual de Diseño, Proyecto y Planificación de Pavimentos continuos de Altas Exigencias y Altas Prestaciones(AEPC)
- [2]Manual de Pavimentos Industriales IECA (España)
- [3]TR34 Concrete Industrial Ground Floors(The Concrete Society UK)
- [4]Codice di Buona Pratica per Pavimentazioni in Calcestruzzo ad uso Industriale (Conpaviper/Italia)
- [5] IECA
- [6] CodE RD470/2021 Código Estructural
- [7] UNE EN 12390-3:2020 Normativa de Determinación de la resistencia a compresión y flexión de probetas de hormigón.
- [8] Eurocódigo 2 Proyecto de estructuras de hormigón.
- [9] ASTM C-496, UNE 83.306, e ISO 4108 Normativas referentes a la Determinación de la resistencia a la tracción.
- [10] UNE EN 12390-13:2020 Normativa de Determinación del Módulo Secante de Elasticidad en compresión.

[11] UNE-EN 13892-4:2003 Normativa de métodos de ensayo de materiales para soleras continuas, Parte 4: Determinación de la resistencia al desgaste BCA).

[12] EN 13892-8 Normativa de Determinación de la resistencia a la adherencia (entre capa de rodadura y hormigón).

[13] EN 1441, ISO 10545-5, UNE 22179 y UNE 127021 EX normativas de Determinación de la deformación plástica.

[14] ISO1045-3 e ISO 1045-4 Normativas para La Determinación de la resistencia a las Sustancias Químicas y las Manchas en pavimentos.

[15] Normativas de la Determinación de *Regularidad superficial*: ASTM 1155 (USA) para tráfico aleatorio y guiado con números F(Ff+Fl) y TR34 DM (Defined Movement) para tráfico guiado.

[16] ASTM E 867-06,4 Normativa de Determinación del índice de Rugosidad IRI.

[17] Normativas de Determinación del Valor de la Resistencia al Deslizamiento/Resbalamiento UNE-ENV 12633, DB SUA y UNE 41902:2017 EX

[18] Normativa de Determinación del coeficiente de rozamiento o coeficiente de fricción ANSI A326.3(2017).

[19] Normativa de la Determinación colorimétrica CIE 1976 L*a*b* UNE-EN ISO 11664-6.

[20] Normativas de la Determinación del Brillo UNE-EN ISO 2813:2014 y la ASTM D2457.

[21] Normativas de la Determinación de la Reflexión de luz ASTM E 903, ASTM E 1918, o ASTM C 1549.