



PAVIMENTOS INDUSTRIALES EN HORMIGÓN

Introducción

Los pavimentos industriales constituyen un elemento de obra civil que debe considerarse estructural, si bien hasta la fecha se ha tratado como un trabajo más de ejecución sin consideraciones especiales de diseño y adoptando soluciones por analogía con obras anteriores.

Cuando se ha comprobado que un pavimento constituye un elemento portante más, sometido a cargas de naturaleza variada, tanto en aplicación como en valor, y que al mismo tiempo su superficie es el medio de transporte y manipulación, se comienza a exigir nuevos requisitos de diseño y ejecución como planitud, resistencia al desgaste y durabilidad.

Además, la creciente ejecución de las llamadas losas autoportantes, sistemas de almacenaje en los que las estanterías soportan no sólo las cargas propias de las mercancías sino también la carga de cerramientos y cubiertas y los efectos de los agentes externos sobre ellos (viento, nieve, sismos, ...), obliga a un cálculo y ejecución de losa que soporte la carga de toda la construcción que va sobre ella y el tráfico de los medios de manipulación empleados. Al mismo tiempo, estos medios de manipulación exigen unas características de regularidad superficial mínimas para su correcto funcionamiento.

Aspectos a considerar en el diseño de pavimentos

A continuación vamos a describir todos los elementos que deben considerarse en el diseño, ejecución y control de un pavimento industrial:

Suelo sobre el que apoyan las losas (subbase):

Las soleras de hormigón apoyan sobre un suelo que reacciona en mayor o menor medida frente a las deformaciones que pueda sufrir la solera por efecto de las cargas que soporta.

La “calidad” del suelo se mide, por tanto, por su capacidad elástica (deformación con recuperación), definida por su coeficiente de balasto K (habitualmente llamado K de Westergaard), obtenido a partir de un ensayo de placa circular de 760 mm de diámetro y expresado en unidades de N/mm^3 . El valor mínimo de k deberá ser de $0,056 \text{ N}/\text{mm}^3$.

En caso de disponer del ensayo sobre otro tipo de placa, deberá realizarse la adecuada conversión. Otro dato que puede caracterizar al suelo es el CBR (California Bearing Ratio), cuyo valor mínimo ha de ser 13, o la relación E_{v2}/E_{v1} (relación entre los módulos de deformación vertical), cuyo valor ha de ser inferior a 2, con un valor de $E_{v2} > 80 \text{ MPa}$ ($1 \text{ MPa} = 1 \text{ N}/\text{mm}^2$).

Hormigón

El hormigón será reforzado con fibra de acero, siguiendo las recomendaciones del EHE (Instrucción del Hormigón Estructural). El contenido máximo de cemento será de $350 \text{ kg}/\text{m}^3$ y la relación agua/cemento tendrá un valor máximo de 0,55. Será de consistencia blanda.

No se deberá añadir ningún plastificante en obra salvo que se tenga la seguridad de que el hormigón no lleva ningún aditivo añadido en la planta.

Fibras de acero

Aun cuando hay varios tipos de fibra de acero disponibles en el mercado (consultar informe sobre tipos de fibra), sólo se consideran en este informe aquellos que son destinados a aplicaciones estructurales (es decir, cuando la adición de fibras contribuye a la capacidad portante de un elemento de hormigón y, por tanto, la estructura final ha sido calculada de acuerdo a las recomendaciones de la EHE).

Actualmente, en el mercado sólo existe información comercial de resultados de ensayos del tipo de fibra con extremos en forma de gancho, trefilada en frío y con esbeltez mínima de 50 (cociente entre longitud y diámetro). Los ensayos necesarios para incorporar la fibra al cálculo estructural de la solera son los correspondientes a la norma UNE 83510:2004 o de determinación del índice de tenacidad y resistencia a primera fisura. ABD suministra estos tipos de fibra bajo las marcas **SOHOFIBER 80/60[®]** y **SOHOFIBER 50/50[®]**.

La incorporación de fibras de acero al hormigón implica la consideración de un conjunto de normas específicas diferentes de las aplicables al hormigón en masa, entre las que están las de determinación de docilidad por cono invertido y las de estimación de resistencia a compresión y flexotracción.

Prediseño con malla electrosoldada (mallazo)

En numerosas ocasiones, los proyectos de soleras parten de un diseño previo de hormigón armado con malla electrosoldada. Las mejoras que conlleva la incorporación de fibras de acero y la sustitución del mallazo, hace que se deba realizar un rediseño de la solera basada en fibra (diseño estructural) de forma que tenga una capacidad de carga portante equivalente.

Diseños de losa con mallazo asimétrico induce a la desconfianza de su cálculo.

Entre las mejoras relativas del uso de fibra de acero frente al mallazo están la reducción del espesor de losa para una misma capacidad de carga, una menor retracción y una mayor resistencia al desgaste y los impactos.

Cálculo de momentos máximos según teoría de estados límite

El diseño de una solera de hormigón reforzado con fibras de acero se basa en la teoría de placas apoyadas sobre un medio elástico caracterizado por su coeficiente de balasto k (es decir, se considera al suelo como un medio deformable). Siguiendo las recomendaciones de la EHE, el cálculo debe basarse en la teoría de los estado límite (Estado Límite Último, ELU, y Estado Límite de Servicio, ELS).

El proceso seguido para diseñar una solera de hormigón reforzado con fibras de acero es, esencialmente, el siguiente: en primer lugar se deben calcular las tensiones que se originan en el hormigón a causa de la flexión de la solera producida por las cargas que actúan sobre ella. Estas tensiones se deben comparar con la resistencia del material frente a este tipo de sollicitaciones. La resistencia del hormigón reforzado se debe, por una parte, a la resistencia a la flexión del hormigón en masa y, por otra, a la ductilidad aportada por la fibra de acero utilizada para reforzarlo.

La casuística de las cargas actuantes y su aplicación, y la optimización del diseño, hacen recomendable el uso de aplicaciones informáticas ad-hoc para realizar dicho cálculo.

Capa de rodadura

La capa de rodadura constituye la capa de la solera sometida a los efectos superficiales: tránsito de vehículo y medios de manipulación, impactos, roces y desgaste en general. Desde el punto de vista de pavimento industrial, se considera capa de rodadura a aquella que se forma al incorporar elementos endurecedores al hormigón

fresco una vez vertido, extendido y alisado, de forma que se cree una mezcla monolítica entre la mezcla endurecedora y el propio hormigón. La capa de rodadura se controla y dosifica mediante una máquina espolvoreadora automática, que permite obtener la dosificación proyectada.

Los productos endurecedores deben valorarse en función a ensayos, tanto sobre morteros obtenidos del mismo endurecedor como sobre testigos tomados de la capa monolítica formada con cada tipo de hormigón

Regularidad superficial

Es importante reconocer que una superficie perfectamente plana no se puede conseguir y que los procedimientos que se utilizan para conseguir pavimentos planos o muy planos son más costosos que aquellos utilizados para conseguir una regularidad superficial normal. El sistema que se utilice para valorar la regularidad superficial debe estar bien elegido y definido.

Los números-F es un método estadístico para determinar planitud y nivelación en superficies horizontales de hormigón. Para las losas de hormigón existen dos números F, los que se usan para evaluar la planitud y horizontalidad, F_F y F_L respectivamente. Ambos son adimensionales y a mayor valor del número F mejores son las características del pavimento. La planitud (F_F) representa la curvatura relativa de una losa de pavimento, y está directamente relacionada con el proceso de terminación superficial. La nivelación (F_L) indica la horizontalidad de la losa en el espacio con respecto a la vertical

Las especificaciones de números F se dan según dos niveles. Por un lado, los valores que se aplican al conjunto del pavimento (superficies), que se denominan valores globales, y los valores correspondientes a cada una de las secciones, valores locales, y que suelen ser del orden de 2/3 de los valores globales.

El método de medida de la regla de 3 m es complicado, ambiguo e imperfecto. Ni el procedimiento de medida, ni el de calibración, ni el número de ensayos o donde realizarlos está normalizado. Se da la circunstancia que pavimentos con terminaciones e irregularidades muy diferentes pueden cumplir las mismas tolerancias.

Equipos de ejecución de soleras

Aunque se ha dejado este apartado para el final, la disponibilidad por parte del contratista de máquinas automáticas para la ejecución de la solera incrementa en gran medida su valoración ante una adjudicación de obra. Tanto máquinas entendedoras de guiado láser como espolvoreadoras, además de las habituales fratasadoras, permiten un correcto acabado del pavimento con un buen rendimiento diario.