

DISEÑO Y EJECUCIÓN DE SOLERAS INDUSTRIALES: PROBLEMAS Y SOLUCIONES

Juan Catalán
Miguel Iturralde

La construcción de soleras de hormigón plantea, desde la fase de diseño hasta la de ejecución, dudas sobre la idoneidad de las soluciones adoptadas. El presente artículo tiene por objeto intentar aclarar algunas de estas dudas, permitiendo tanto a técnicos como a constructores contar con unas normas básicas de diseño y ejecución claras que les permitan evitar la mayor parte de las patologías que posteriormente pudieran aparecer a lo largo de la vida del pavimento.

Una de las patologías más frecuentes es la fisuración de las soleras debida a la retracción y sobre todo al alabeo de las piezas. Uno de los objetivos será, pues, minimizar esta retracción y alabeo.

Por otro lado, un diseño o ejecución defectuosos de las juntas del pavimento generará problemas de rotura de bordes con los consecuentes problemas de tráfico.

Una solera con problemas puede generar gastos de mantenimiento y reparación muy superiores al coste inicial que supuso su ejecución.

SOPORTE DE SOLERA

Es el conjunto de capas de diferentes materiales que se encuentran por debajo de la solera propiamente dicha:

Se distinguen las siguientes capas:

- Base: es la capa que está inmediatamente debajo de la solera. Suele ser de áridos seleccionados con un espesor de 10 a 20 cm.
- Sub-base: está debajo de la base y es de calidad inferior a la de la base. Se suele denominar 'explanada'.
- Capas inferiores de terreno: se cuenta entre 3 y 5 m por debajo de la sub-base.

Para soleras con cargas puntuales (tráfico de carretillas y camiones) se analiza sólo la respuesta de la base y de la sub-base. En el caso de soleras para soporte de cargas permanentes importantes (por ejemplo maquinaria o estanterías de almacenamiento) es preciso analizar el comportamiento del soporte de la solera hasta 4 ó 5 m de profundidad e incluso más en función del tipo de materiales del subsuelo.

Para el material de sub-base es deseable que sea uniforme, compactable, de baja compresibilidad y con bajo contenido en humedad.

Para el material de la base es deseable que tenga un espesor mínimo de 100 mm, que sea granular con un coeficiente de fricción pequeño, que sea compactable y que sea fácilmente perfilable para obtener una superficie lo más plana posible. Se trata de obtener una base plana, lisa y compacta; a prueba de camiones es decir, que no se marquen las rodadas de la hormigonera.

Si la base no está perfectamente nivelada, horizontal y plana, la solera que se vierta sobre ella, que teóricamente sí lo estará, tendrá

espesores distintos. Los 'valles' de la base anclarán a la solera coartando su movimiento y generando tensiones.

En la sección más débil de la solera se liberarán estas tensiones y se iniciará la fisura que, a modo de cremallera, se extenderá a otras zonas de la misma.

Tan importante como el grado de compactación de la base es la uniformidad en cuanto a compactación, es decir, que no haya zonas muy compactadas y otras poco compactadas.

En cuanto al grado de humedad de la base, es preferible que sea lo menor posible. Si la base está húmeda (a menudo, erróneamente, se riega previamente al hormigonado de la solera) el hormigón sólo podrá ceder humedad por su cara expuesta (cara superior) por lo que el fraguado y curado de la cara inferior será más lento que el de la cara superior. Ésta es una de las razones del posterior alabeo de la placa.

En general no es conveniente colocar láminas plásticas por debajo de la solera (o de la base) porque retardan o eliminan el flujo de vapor de agua desde las capas inferiores hacia el ambiente a través de la solera.

Exclusivamente debe ponerse esta lámina en el caso de que sobre la solera se vaya a colocar un revestimiento que requiera disponer de una barrera de vapor (resinas, pinturas, parquets, moquetas, etc.) o si el proceso industrial debe tener un grado de humedad controlado (laboratorios, fabricación de equipos electrónicos, almacenes de papel e imprentas, etc. En estos casos hay que asegurarse de que la lámina plástica que se coloque (habitualmente polietileno) tenga la permeabilidad al vapor de agua requerida ya que existen barreras de vapor que no eliminan el paso y retardadores que sólo lo limitan.

En el resto de usos se desaconseja el uso de estas láminas a pesar de que mejoren el deslizamiento de la solera sobre la base disminuyendo el coeficiente de fricción.

EXPANSIVIDAD

Cuando en el terreno natural existente bajo la solera se localicen arcillas de grano muy fino pueden aparecer problemas debido a la expansividad de estos materiales.

En estas arcillas, la variación del porcentaje de humedad provoca cambios volumétricos por lo que el efecto de la construcción de los edificios ('efecto sombra') o bien la sucesión de ciclos de tiempo meteorológico seco y húmedo pueden modificar este porcentaje y pueden llegar a provocar graves problemas por levantamiento o asentamiento de soleras.

En Navarra, se suelen encontrar este tipo de materiales en la Ribera del Ebro (zona de Tudela) donde se han detectado problemas de fisuración y asentamiento de soleras debidos a esta causa.

Un parámetro que puede alertar sobre la posibilidad de encontrar estos problemas es el Índice de Plasticidad (porcentaje humedad de transición de estado plástico a líquido - porcentaje humedad de la transición del estado plástico al estado sólido).

- Si el Índice de plasticidad es menor que 15 no es previsible la aparición de problemas.

- Si está entre 15 y 20 ya hay que prestar atención a este tema.

- Si está entre 20 y 60 hay que tenerlo en cuenta en el diseño de la solera.

- Si es superior a 60 es de esperar grandes movimientos en la solera (de hasta 10 a 15 cm).

Existen además otros minerales cuya presencia pueden provocar expansividad al hidratarse.

En cualquier caso, si existen indicios de la presencia de estos materiales siempre es necesario realizar ensayos de hinchamiento en laboratorio. Para estos casos se aconseja la ejecución de soleras postensadas.

CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN

El objetivo es obtener un hormigón que tenga las siguientes características:

- Resistencia a la abrasión (en algún caso y según el uso al que vaya destinada la solera debería ser resistente a sulfatos, a productos químicos, etc.).

- Resistencia a la compresión.

- Mínima retracción.

- Mínimo alabeo.

- Durabilidad.

Para la resistencia a la abrasión lo más importante es la capa superior de la solera (de 3 a 6 mm). Por ello habitualmente se espolvorea con una mezcla de cemento con cuarzo o corindón la capa superior con objeto de enriquecerla y dotarla de mayor resistencia a la abrasión, al impacto y al desgaste.

Si esta capa no está bien ejecutada, el resultado será malo independientemente de lo que haya por debajo de ella.

Por otro lado, para la ejecución de soleras no es necesario un hormigón con alta resistencia a la compresión ni una relación agua/cemento muy baja. Las soleras generalmente nunca fallan por baja resistencia a compresión porque habitualmente a compresión aguantan mucho más de lo que se les solicita.

Si el hormigón es más "rico", se producirá más retracción, por tanto más alabeo y por tanto la probabilidad de rotura es mayor.

En general, son aplicables para la mayor parte de soleras relaciones agua / cemento entre 0'47 y 0'53 (máximo 0'55). Si el ratio es menor de 0'47 o mayor de 0'55 tendremos más retracción y por tanto más alabeo.

La cantidad de agua necesaria depende de los siguientes factores:

- Cuanto más grandes y más redondeados sean los áridos, menos agua es necesaria.

- Cuanto más planos y más rugosos sean los áridos más agua es necesaria

Se necesitan relaciones agua cemento bajas en los siguientes casos:

- Si el hormigón va a estar expuesto a heladas:

relación a / cemento < 0'50

- Si además de heladas se va a utilizar sal para retirar hielo

relación a / cemento < 0'45

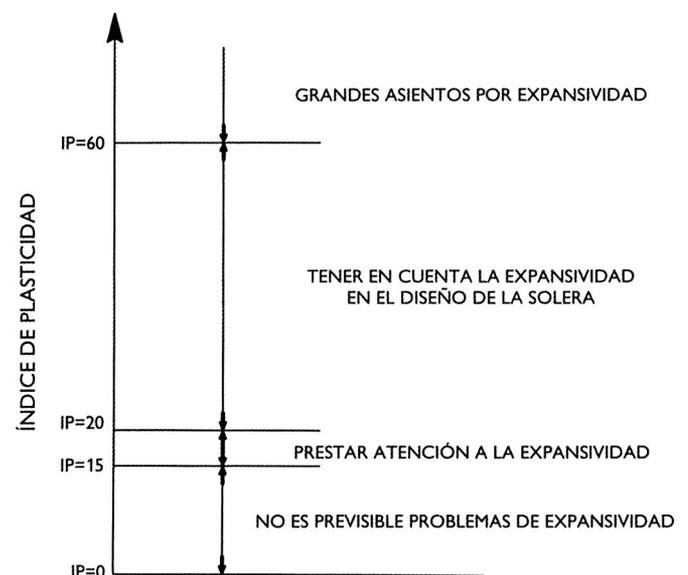
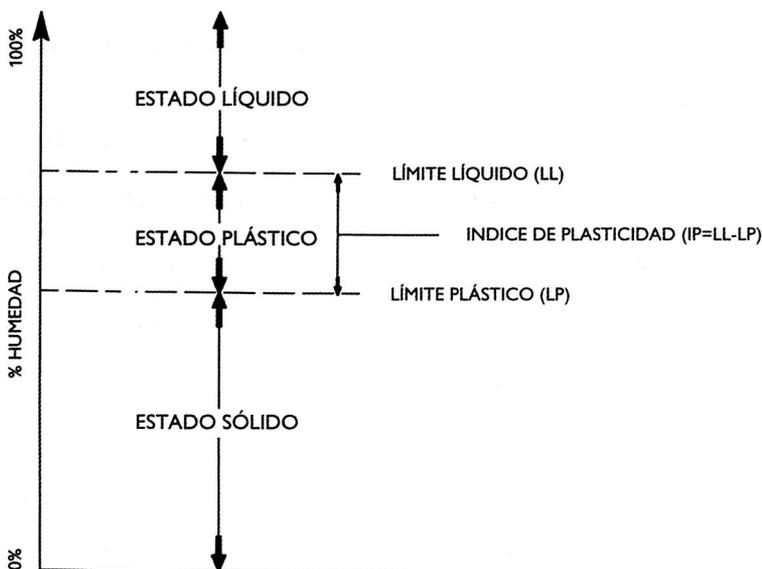
- Si va a estar expuesto al agua del mar

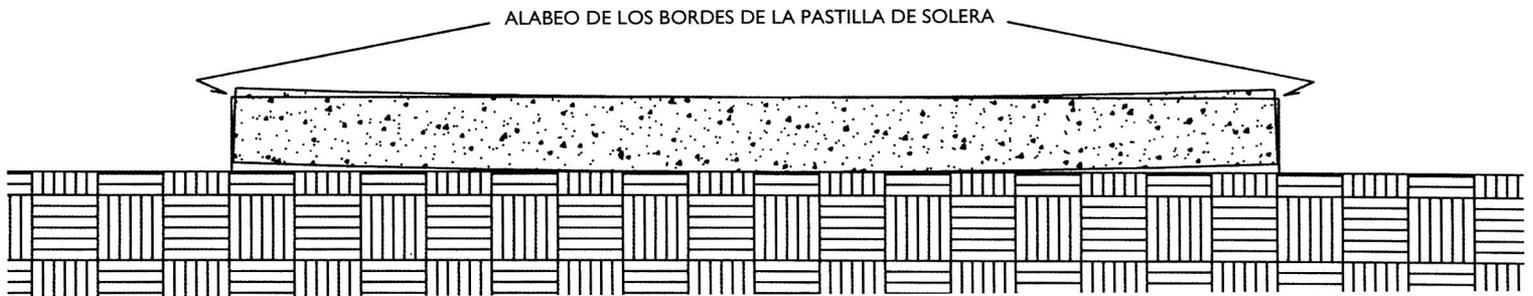
relación a / cemento < 0'40

La retracción se minimiza de las formas siguientes:

- Minimizando la cantidad de pasta o bien aumentando el tamaño del árido y optimizando su granulometría (mayor tamaño, más superficie, menos pasta, menos retracción) o reduciendo el contenido de cemento.

- Maximizando la calidad de la pasta: con un ratio agua/cemento adecuado pero con la suficiente agua para que sea manejable (no





se puede conseguir hacer una solera plana con un cono de Abrams (de 7 cm).

Existen aditivos que permiten reducir el agua necesaria para conseguir un hormigón trabajable pero algunos originan más retracción de la que eliminan por lo que su efecto neto puede ser contraproducente.

ÁRIDOS

La calidad y granulometría de los áridos están normalizados pero las normas suelen ser bastante flexibles y es posible que haya rangos de granulometría ausentes.

Los áridos deben estar limpios y es preferible utilizar arena natural que la proveniente de machaqueo. No es bueno que la proporción de áridos finos sea alta porque aumentan la superficie específica y se requiere utilizar más cantidad de agua.

La granulometría ideal es la siguiente:

- Tamiz de 38 mm	retención del 8% al 18%
- Tamiz entre 19-25 mm	retención del 8% al 22%
- Tamiz entre 300 y 600 micras	retención del 8% al 15%
- Tamiz de 150 micras	retención del 1'5% al 5%
- Resto	0'9 al 4%

ADITIVOS

Aumentadores y eliminadores de aire: habitualmente el hormigón tiene entre el 1 y el 2% de aire. No se debe prescribir aditivos para aumento de la proporción de aire en hormigones para soleras exteriores. A partir del 3% de aire en este tipo de soleras se producirán problemas de costras y decapado.

Retardantes: en puestas en obra con tiempo muy cálido, debido al calor, el viento y la humedad relativa del aire, que habitualmente es baja, la capa superficial de 6-10 mm de la solera pierde el agua pero no fragua; el cemento no se hidrata sino que el agua se evapora. En ese momento la capa inferior de la solera está en estado plástico. Se forma una costra aparentemente rígida pero si se pisa, la parte de abajo se deforma, no se puede pulir adecuadamente y la solera se deteriora gravemente. La costra, además, cierra el paso a la humedad de la parte inferior de la solera y se levantan ampollas desprendiendo así la costra. Para evitar este problema se pueden utilizar retardadores de fraguado.

Por otro lado, es mejor utilizar un producto filmógeno para el curado de la solera. Existen productos que forman una película monomolecular que evita la evaporación del agua previa al fraguado. Estos productos se aplican por proyección con pistola (tipo sulfatadora) una vez se puede andar por encima de la solera recién vertida.

Acelerantes: por último es preciso que la mezcla en el camión sea muy buena. Se mezcla mejor a altas revoluciones. Se deben lavar muy bien las palas del interior de la cuba de la hormigonera y se debe inspeccionar estas palas.

Para la base que soporta a la solera es importante que los áridos tengan un tamaño máximo de 25-40 mm pero la fracción de 0'5 mm es muy importante que esté entre el 6 y el 12% para conseguir una base lisa, estable y sin fricción.

Si el índice agua/cemento se especifica muy bajo (entre 0'41 y 0'5), pero para ello se incrementa la cantidad de cemento, se producirá más retracción, más alabeo, aunque aguantará más a compresión.

ALABEO

Definición

El alabeo consiste en el levantamiento de los lados exteriores de cada placa de hormigón.

Causas del alabeo

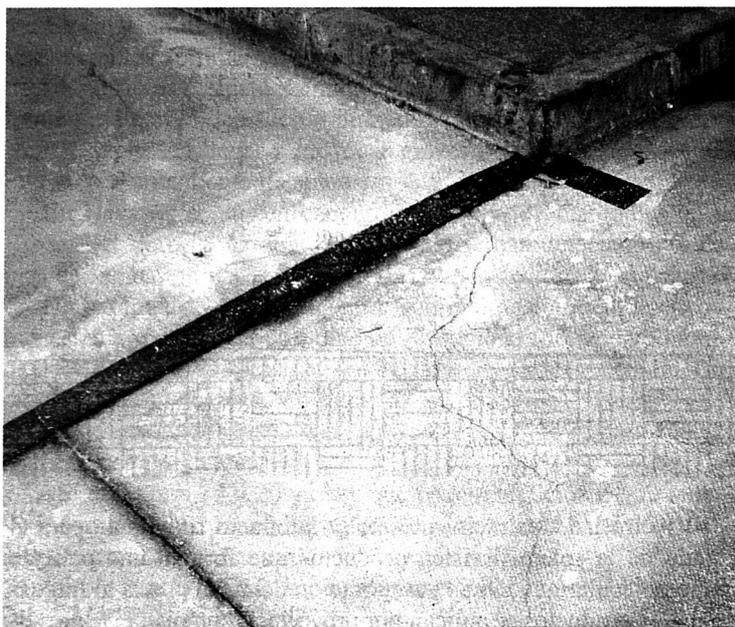
El alabeo se puede producir por las siguientes causas:

- Disminución de volumen por secado del hormigón.
- Disminución de volumen por hidratación del cemento.
- Por carbonatación. Si está expuesto a atmósferas de CO (de 10 a 12 mm de espesor de penetración).
- Si la cara superior de la solera está más fría que la inferior (por ejemplo: aire a 0°C y terreno a 10°C)

Una vez producido el alabeo, los bordes de cada placa quedan en voladizo y al poner la solera en carga (tráfico, almacenamiento de materiales, etc.) se genera una tensión mayor que la que el hormigón puede asumir y se provoca la fisuración de la placa ya que, al estar las esquinas levantadas respecto a la base, no tienen punto de apoyo.

Al producirse la fisura se abre más en la cara superior de la solera. El 99% de las fisuras en las soleras son en forma de V, más abiertas en la cara superior que en la inferior.

Además, las peores condiciones de carga para los pavimentos están en las esquinas de cada placa que son las que quedan más ale-



Fisura en esquina de pastilla de solera

jadas de la zona central de la placa que es la que realmente queda apoyada en la base. Por eso es habitual ver que se producen fisuras alrededor de las esquinas.

El 90% de las fisuras se producen en el centro de las placas y en las esquinas.

Se ha comprobado que las fisuras mayores de 1 mm también sufren alabeo. Si en una fisura entra el borde de una tarjeta de crédito, esta fisura a largo plazo tendrá problemas. A partir de 1 mm de anchura de fisuras no está garantizada la transferencia de cargas de una placa a otra. Es decir, cada pastilla de solera trabaja independientemente y por lo tanto la carga aplicada a un lado de la fisura no se transmite al otro lado. Esto origina movimientos de una placa respecto de la otra, bamboleos y, en consecuencia, las diferencias de nivel entre bordes de juntas y fisuras que terminan con el 'desportillado' de estos bordes por efecto del impacto del tráfico.

Consecuencias del alabeo

El alabeo de las soleras genera los siguientes problemas:

1. Rotura de soleras: la mayor parte de soleras se rompen debido al alabeo que es provocado por la retracción.
2. Rotura de juntas: el tráfico hace bascular las placas que quedan alternativamente arriba y abajo una respecto de otra, de manera que las juntas se acaban desportillando. Se producen las típicas roturas en forma de T entre placas de solera.
3. Las juntas de retracción tienen entre 3 y 10 mm de ancho. Si el relleno de la junta falla el tráfico acaba rompiendo los bordes de junta.
4. Se disminuye la velocidad máxima a la que pueden circular los vehículos.
5. Las soleras bambolean.
6. Los baches provocan problemas de espalda en los conductores de carretillas. Hay que tener en cuenta que estos vehículos no cuentan con suspensión y las irregularidades del terreno se transmiten directamente al conductor, lo que a largo plazo puede provocar diversas dolencias.
7. Se pueden producir daños en los recubrimientos, a veces caros, que estén aplicados sobre la solera.

Factores que afectan al alabeo

1. El potencial de retracción del hormigón: cuanto más retracción, más alabeo
2. La resistencia característica: cuanto mayor sea, mayor será el alabeo porque el hormigón tiene menor capacidad de relajación.
3. El espacio entre juntas: cuanto mayor sea el espacio, mayor será el alabeo.
4. El espesor de la solera: cuanto mayor sea el espesor, mayor será el alabeo.
5. La rigidez de la base: cuanto más rígida sea la base, mayor será el alabeo.
6. La diferencia de humedad entre caras de la solera: cuanto mayor sea esta diferencia mayor será el alabeo.
7. La diferencia de temperatura entre las caras de la solera: cuanto mayor sea esta diferencia mayor será el alabeo.

Las tensiones que genera la retracción rondan típicamente entre 0'1 a 0'4 mPa y el alabeo produce de 1'4 a 3 mPa. Por tanto, es mucho más importante la cuantía de las tensiones generadas por el alabeo que las que genera la retracción. La resistencia a flexotracción típica está entre 3 y 4 mPa.

Un hormigón HP-35 tiene una resistencia a flexotracción de 3'5 mPascales. Por tanto, si sumamos 0'4 mPascales originados por la retracción y 3 mPascales originados por el alabeo tenemos un total de 3'4 mPascales y estamos en el límite de resistencia del hormigón.

TIPOS DE SOLERA

Existen los siguientes tipos de soleras de hormigón.

Tipo A: Solera de hormigón normal.

Ejecutada con cemento Portland tipo I ó II. Sin mallazo, con juntas de retracción cada 24-36 veces el espesor de la solera y con pasadores en juntas de construcción para transferencia de cargas.

Tipo B: Solera reforzada para retracción.

Ejecutada con cemento Portland tipo I ó II. Con mallazo en la cara superior de la solera, con juntas de retracción cada 24-36 veces el espesor de la solera y con pasadores para transferencia de cargas.

El mallazo se interrumpe en cada junta (se corta). La sección de armadura de acero deberá estar comprendida entre el 0'05 y el 0'15% de la sección de la solera.

Tipo C: Solera de hormigón con retracción compensada.

Ejecutada con cemento Portland tipo K o SC. Con mallazo, con juntas de retracción cada 30-45 m y con pasadores para transferencia de cargas. Este hormigón produce una expansión inicial de modo que cuando termina la retracción, las dimensiones se corresponden con las iniciales compensando de este modo su efecto.

Se coloca una armadura de diámetro 12 mm cada 45 cm de manera que se pueda andar mientras dura la ejecución de la solera pisando entre los huecos sin tocarla.

Al no producirse alabeo, la solera descansa en la base y se puede reducir el espesor de hormigón.

Tipo D: Solera postensionada.

Ejecutada con cemento Portland tipo I ó II. Sin mallazo, con dos láminas plásticas de polietileno bajo el hormigón que permita el movimiento. Una pastilla de 200 m de largo puede moverse entre 5 y 8 cm. Las juntas de retracción se hacen cada 60-150 m. Los tensores de postensionado se colocan cada 75 cm; y si son necesarios

más se colocan dos o más juntos pero a esa distancia para poder andar entre ellos. En los días siguientes a su ejecución se va aplicando tensión a estos tensores con un sistema hidráulico generando la compresión necesaria en la solera. De este modo se hace trabajar al hormigón a compresión y se eliminan las zonas en tracción.

Tipo E: Solera armada ligeramente.

Ejecutada con cemento Portland tipo I. Con armadura y sin juntas de retracción y con pasadores para transferencia de cargas. La sección de armadura de acero estará entre el 0'15 y el 0'25% de la sección de la solera.

Tipo F: Solera fuertemente armada.

Ejecutada con cemento Portland tipo I ó II. Con armadura en ambas caras, con o sin juntas de retracción y sin pasadores para transferencia de cargas.

La sección de armadura de acero estará entre el 0'25% y el 0'60% de la sección de la solera.

En las soleras de tipo E o F se producen muchas fisuras pequeñas, pero al estar tan armada la solera no se permite que se abran.

El hormigón utilizado en soleras tradicionales deberá tener una resistencia entre 17 y 31 mPa.

En el caso de soleras postensionadas deberá tener una resistencia entre 24 y 38 mPa.

El espesor mínimo de soleras industriales debe ser de 12'5 mm aunque típicamente se ejecutan entre 15 y 30 cm. Serán de mayor espesor cuanto mayor sea el tráfico al que van a estar sometidas.

REFUERZO DE SOLERAS

No es necesario reforzar todas las soleras. En EE.UU se construyen muchas soleras sin armadura.

La armadura tiene influencia sobre la anchura y localización de las fisuras. Si la armadura está bien colocada se puede limitar el deterioro provocado en las fisuras y también se limita el alcance de las mismas.

Hay que tener en cuenta que la armadura no previene las fisuras. La armadura es un elemento pasivo. No empieza a trabajar hasta que la fisura (o microfisura) aparece.

Sólo previenen las fisuras las armaduras tensadas (pre o postensadas).

La fisura somete a la armadura a tracción, por lo que se evitará que se abra. El 98% de las fisuras que están 'cosidas' con armadura no dan problemas.

La colocación de armadura permite controlar la planitud de las soleras al evitar la aparición de fisuras que generarían alabeo.

Sobre todo en soleras reforzadas con fibras metálicas, se mejora la resistencia a la fatiga y al impacto. Hay que tener en cuenta que, por ejemplo, en soleras de almacenes, el paso de carretillas, provoca que la solera sufra millones de ciclos de carga-descarga.

La armadura permite, además, la transferencia de carga entre placas de solera contiguas. Las soleras con fibra metálica permiten una transferencia de cargas excelente.

Por último, es necesario colocar armadura en soleras estructurales. Se trata de soleras que sirven, además, como cimentación. Por ejemplo, las que sirven de base a almacenes autoportantes que se apoyan sobre una losa de cimentación que además sirve de solera.

Dónde colocar la armadura

Si estudiamos las tensiones generadas por una carga puntual sobre la solera, veríamos que las tracciones se producen en la cara

inferior de la solera. Pero a ambos lados del punto de aplicación de la carga aparecen zonas de tracciones en la cara superior de la solera. Además, las fisuras que aparezcan en la cara inferior de la solera no se ven por lo que no deben tenerse en cuenta.

Como hemos visto antes, las fisuras en soleras aparecen en forma de V. Por ello, es importante colocar la armadura lo más superficial posible. Siempre en el tercio superior de la solera y con un recubrimiento mínimo de 35-40 mm. Si la solera va a llevar un recubrimiento posterior (como por ejemplo, baldosas, etc.) se puede reducir el recubrimiento de la armadura a 25 mm.

Si la armadura no está donde debe, no sirve para nada. Lo habitual es colocar los mallazos y luego subirlos con ganchos mientras se hormigona; o bien verter el hormigón y luego tender los mallazos. Esta forma de ejecución no garantiza en absoluto el posicionamiento correcto de la armadura en la cara superior de la solera ni el solape entre mallazos.

No es conveniente que el mallazo quede muy alto porque debido al asentamiento plástico del hormigón durante el fraguado, podría aparecer un pequeño abultamiento sobre cada barra de mallazo que posteriormente originará fisuras en la superficie de la solera. Las fisuras serán regulares, paralelas y coincidirán con las dimensiones del mallazo que está por debajo. Cuanto mayor sea el diámetro del mallazo mayor será la posibilidad de fisuras por esta razón.

Es importante proteger el mallazo del sol antes del vertido del hormigón porque en zonas cálidas puede alcanzar los 100°C de temperatura.

Si colocamos la armadura en el medio del canto de la solera no se impide que la fisura se abra lo suficiente para que dé problemas. En el caso de utilización de hormigón de retracción compensada, al expandirse, el hormigón pone en tensión a la armadura que controla la aparición de fisuras.

En el caso de soleras postensadas, se somete a compresión a la solera poniendo en tensión los tensores.

Si se van a colocar dos armaduras (dos mallazos) hay que colocar uno en cada cara de la solera, aunque esta solución presenta dificultades de ejecución (son necesarios separadores y vertido por bandas o con bomba).

Cuánta armadura es necesaria

Aunque no se ponga mallazo, siempre será necesario colocar pasadores porque la retracción producirá alabeo y el alabeo fisuras.

Es preferible utilizar mallazos con cuadrícula de 40x40cm ya que son más fáciles de colocar, son más rígidos y así no se comban ni se deforman durante el vertido del hormigón y permiten andar pisando entre los huecos durante el vertido de la solera.

Fibras

Existen varios tipos de fibras para refuerzo de soleras.

A. Fibras sintéticas:

Fabricadas en polipropileno o nylon y de longitudes diversas. Las fibras de este tipo minimizan la exudación del hormigón y la hacen más uniforme. Además, se minimiza el asentamiento plástico. De alguna manera, las fibras atan los áridos para que no se hundan y así se evita que el agua suba a la parte superior de la solera. Se evitan las fisuras de retracción plástica.

La utilización de fibras sintéticas disminuye el asentamiento de cono de Abrams pero esto no implica que disminuya su trabajabilidad por lo que no es necesario añadir más agua. Las fibras atan a los áridos y por eso el asentamiento es menor.

Por último, el uso de estas fibras produce algo menos de alabeo y se mejora algo la resistencia a la abrasión de la solera.

Es preciso tener cuidado en la ejecución de la solera con objeto de que las fibras no aparezcan en superficie ya que afectan al acabado estático y al pulido de la cara superior de la solera.

Existen otros tipos de fibras de última generación (fibras de carbono, etc.) cuyo uso está más indicado para, refuerzo de elementos estructurales (vigas, pilares, etc.) y en zonas sísmicamente activas.

B. Fibras de acero:

Las fibras de acero cada vez se utilizan más. Existen de formas muy diversas siendo las más adecuadas las que tienen forma de grapa frente a las de forma ondulada ya que en este caso el anclaje no es tan bueno y, además, debido a la orientación aleatoria de las fibras en el canto de la solera, es posible que coincida la fisura en paralelo a la fibra, por lo que no trabajará bien. Además, las ondas se pueden estirar sin que el acero empiece a trabajar.

Las fibras de acero confieren ductilidad al hormigón que se comporta con cierta flexibilidad. Las fibras suponen una restricción continua a la fisuración en todo el canto de la solera.

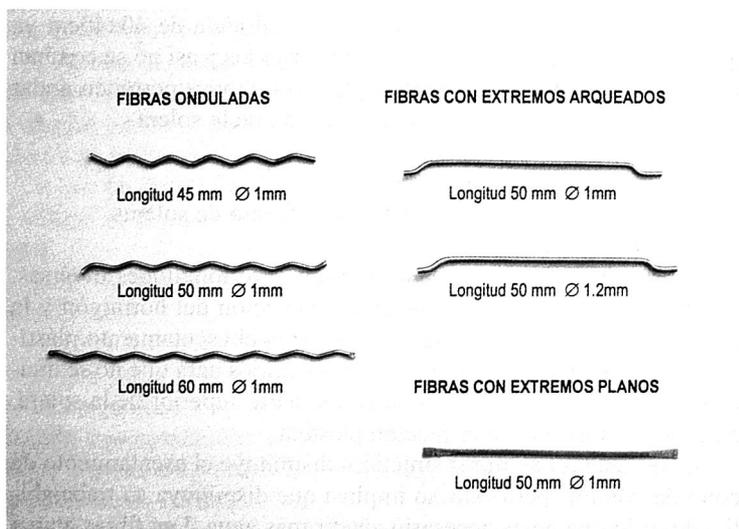
Las fibras metálicas controlan algo el alabeo y sobre todo contienen la fisuración.

Al aplicar una carga sobre una probeta de hormigón con fibras metálicas, es posible seguir incrementando la carga después de la aparición de la primera fisura. Cuanto mayor es la longitud de las fibras, mayor es la carga aplicable después de la primera fisura.

Es posible que aparezcan algunas fibras en la superficie de la solera pero sólo durante las primeras semanas. Esto es especialmente importante en empresas de alimentación o laboratorios ya que la marca que deja la fibra en la superficie puede ser fuente de microorganismos. Normalmente en este tipo de procesos industriales, se requiere un recubrimiento posterior del hormigón por lo que la aparición de algunas fibras en superficie no plantea problemas.

La dosificación normal de fibras metálicas está entre 15 kg/m^3 y 40 kg/m^3 y depende de las cargas a las que va a estar sometida la solera durante su utilización.

Cuando se utilizan fibras es preciso esperar un poco más para cortar las juntas ya que en lugar de cortar el acero, la fibra podría ser arrancada y arrastrar áridos dejando un desconchón en la superficie de la solera.



Material cedido por Trefil Arbed-Grupo Arcelor-Aceralia sección redondos

Transferencia de cargas a través de las juntas

Cuando las placas de solera contiguas se mueven de manera independiente bien por fallos en la base o bien por alabeo de las placas que se bambolean al paso del tráfico, se pierde el relleno de la junta y se estropean los bordes de la misma.

Si la fisura tiene más de 0'9 mm de ancho (espesor de una tarjeta de crédito) ya no se asegura la transferencia de carga entre las placas. Una placa de 6 metros sufre una retracción de 3 mm por lo que para que las juntas fueran menores de 1 mm deberíamos hacer juntas cada 1'5 m y esto es inviable. Por ello es necesario rellenar las juntas.

No es conveniente utilizar juntas con encofrados metálicos porque al terminar la retracción, se separan los lados de la junta y se rompe la zona que queda en voladizo. No se pueden utilizar para transferencia de cargas.

Los pasadores son la forma más efectiva de conseguir la transferencia de cargas entre placas de solera.

Habitualmente los pasadores están formados por barras de acero colocados perpendicularmente a la junta y su función es garantizar la transferencia de cargas entre las pastillas de solera que unen. Es muy importante que estén perfectamente colocados, nivelados y alineados para que no generen tensiones que den lugar a fisuras.

Los pasadores deben ser de un diámetro equivalente a 1/8 del espesor de la solera (para soleras de 20 cm de espesor, pasadores de 25 mm) y colocados con una separación entre 30 y 45 cm. Se deben colocar en el medio del espesor de la solera.

Es importante que los bordes de los pasadores sean lisos por lo que es mejor serrarlos que cortarlos con tijeras ya que en este caso se doblan los extremos y esto puede generar puntos de anclajes y, por tanto, tensiones.

Hay pasadores de sección cuadrada que permiten colocar espuma en las caras laterales que les permiten absorber los movimientos de retracción (laterales) de las placas. No es necesario lubricar este tipo de pasadores si se utilizan fundas deslizantes. Estos pasadores, además, generan menos tensiones que los de sección circular.

Para lubricar los pasadores se puede utilizar grasa pero es muy fácil dejar más grasa de la estrictamente necesaria por lo que queda un hueco, y antes de entrar en carga, la placa ya se ha fisurado.

Existen en el mercado piezas para alinear pasadores de sección circular o cuadrada sobre encofrados metálicos o de madera.

Si se utilizan pasadores del tipo barra no se pueden colocar junto a las esquinas de las placas porque producirán fisuras diagonales. Esto es un inconveniente porque en las esquinas es donde más falta hacen los pasadores ya que, como se ha visto, son las zonas más débiles.

Se suelen colocar pasadores generalmente mucho más largos de lo estrictamente necesario. A partir de 10 cm los pasadores ya no tienen efecto por lo que bastaría con pasadores de 20 cm de largo.

Existe otro tipo de pasadores en forma de placa que son mejores que los tradicionales de barra.

Los pasadores tienen forma cuadrada y se colocan entre las placas de solera en diagonal. De esta forma, bajo la junta queda una diagonal de la placa, con la mayor sección de acero de la placa, se permite el movimiento transversal de las placas y se pueden colocar junto a las esquinas de las placas. Además, existen piezas prefabricadas para la colocación en las juntas de hormigonado.

Este tipo de placas permite espaciar un 50% más que con conectores de tipo barra. Es fácil su ejecución porque existen piezas prefabricadas de plástico para su montaje en los tableros que se colocan en las juntas de hormigonado.

JUNTAS EN SOLERAS

“Una junta es un fisura recta y una fisura es una junta torcida”.

Es necesario hacer juntas para acomodar los movimientos de la solera y para limitar el alcance de las fisuras.

“Cada camión hormigonera que llega a la obra viene cargado con el hormigón y además con entre 18 a 20 metros de fisuras gratis, las queramos o no”. Nos corresponde a nosotros decidir donde queremos que aparezcan estas fisuras. Nos interesa eliminar las fisuras del interior de las pastillas y que aparezcan en las juntas para así reforzarlas mediante el sellado y maximizar la integridad de las juntas y bordes de solera.

Existen fisuras de varios tipos:

- Estructurales: debidas a un fallo de la base (por ejemplo por un blandón).

- Fisuras de retracción plástica: se producen cuando la cara superior se seca y la inferior todavía está húmeda (como en un charco de arcilla que seca al sol).

- Fisuras de retracción lineal: debidas a la retracción que sufre el hormigón al fraguar y/o al alabeo.

El 10-20% de las fisuras se producen en el primer mes desde la ejecución de la solera.

El 20-35% de las fisuras se producen en los tres primeros meses desde la ejecución de la solera.

El 60-80% de las fisuras se producen en el primer año desde la ejecución de la solera.

Por otro lado las juntas pueden ser:

- De construcción: la que se realiza al acabar la fase de hormigonado, al final del día.

- De aislamiento: para separar pilares, bancadas, cimentaciones, etc.

- De retracción o contracción.

Para las juntas de construcción se pueden utilizar encofrados de madera o metálicos. Con forma o lisos y con los huecos para pasadores o placas entre lados de la junta.

Las juntas de aislamiento alrededor de pilares, huecos, etc. en la solera se suelen ejecutar colocando una espuma alrededor del elemento. Es importante que esta espuma quede redondeada.

A veces también se hace con un encofrado metálico o sintético con forma circular u ovalada que se deja sin hormigonar y se completa posteriormente.

Existen varias formas de provocar las juntas de retracción:

- Con herramientas de cobre (llana o berenjeno). Este sistema no es aplicable en soleras industriales.

- Con perfiles plásticos insertados en la solera: no funcionan bien y suelen generar fisuras paralelas a la ubicación de la junta.

- Juntas aserradas.

Es muy importante que el corte sea lo más limpio posible con esquinas y fondo formando ángulos rectos. Lo habitual es utilizar una sierra de disco refrigerada por agua.

Existen otras sierras de corte temprano. Estas sierras tienen una plantilla a modo de patín con una ranura calibrada para el paso del disco y evitar el deterioro de los bordes de junta. Cuando se cambia el disco de la sierra se debe cambiar también el patín.



Detalle de sección de solera: corte aserrado y fisura inducida

Se debe colocar una pieza plástica en las juntas ejecutadas en primer lugar cuando se van a cortar las juntas transversales.

La profundidad de las juntas depende del método utilizado y sobre todo del momento en que se realice el corte.

Si el corte se hace en fresco basta con que tengan 25 mm y es preciso hacerlo entre 1 y 4 horas después del vertido del hormigón. Así se inducirá la fisura debajo del corte aun en soleras de más de 30 cm de espesor.

Si se hace con sierra de disco refrigerada por agua debe tener una profundidad de 1/4 de la solera aunque lo mejor es que tenga 1/3 del espesor de la solera. Se debe cortar entre 4 y 12 horas después del vertido de la solera. Si se corta demasiado pronto se puede provocar el desportillado de los bordes de la junta.

Espaciado entre juntas

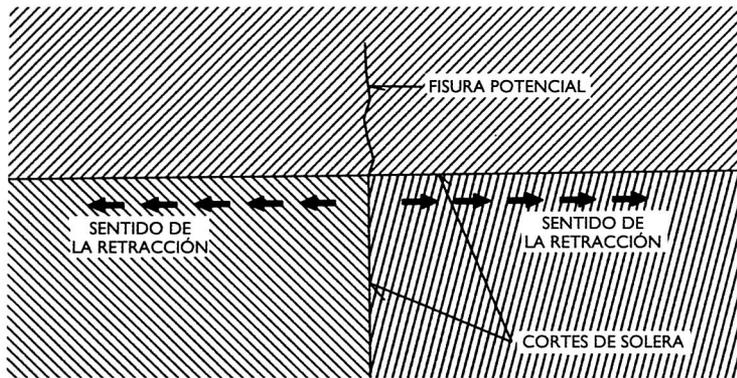
Cuanto mayor sea el grosor de la solera más se pueden separar las juntas. El espaciado de juntas está directamente relacionado con el refuerzo o armado de la solera. Cuanto más reforzada esté una solera más se pueden espaciar las juntas.

No se debe seguir la regla de espaciar las juntas de 24 a 36 veces el espesor de la solera. Si esto fuera cierto la tensión generada por el alabeo sería lineal y no es así. Cuanto mayor es el espaciado de juntas mayor es esta tensión y, de forma exponencial, por lo que no se puede seguir esta norma.

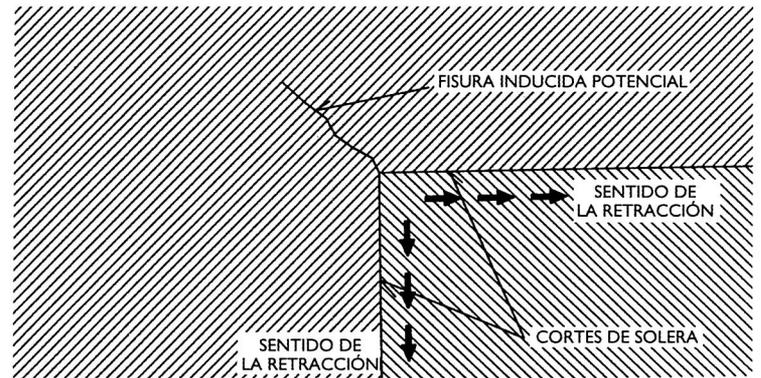
En general no se deben hacer pastillas de más de 5'5 m de lado. Interesa, además, que las piezas sean lo más cuadradas posibles ya que el hormigón tiende a autocuadrarse. La relación entre ancho y largo tiene que estar entre 1 y 1'5 como máximo.

Una pieza de solera de 4x4 m es difícil que tenga fisuras pero si es de 4x40 m de ancho seguro que se parte por varios puntos.

Hay que evitar a toda costa los cortes de juntas en T o en L ya que son fuentes seguras de fisuras.



Juntas en T: fisura inducida potencial en prolongación del corte que se interrumpe



Juntas en L: fisura inducida potencial en diagonal

Hay que ejecutar juntas en las esquinas de huecos para pilares, arquetas, etc. para evitar la aparición de fisuras re-entrantes. Además, estos cortes deben llegar exactamente hasta la esquina para evitar roturas de bordes.

Es muy importante colocar refuerzos en las esquinas para evitar la aparición de fisuras. Se deben colocar en diagonal dos barras de diámetro 12 mm separadas 25 ó 30 mm del vértice del hueco y entre sí en ambas caras de la solera. Esta precaución no evitará la fisura pero sí la contendrá para evitar que se abra mucho.

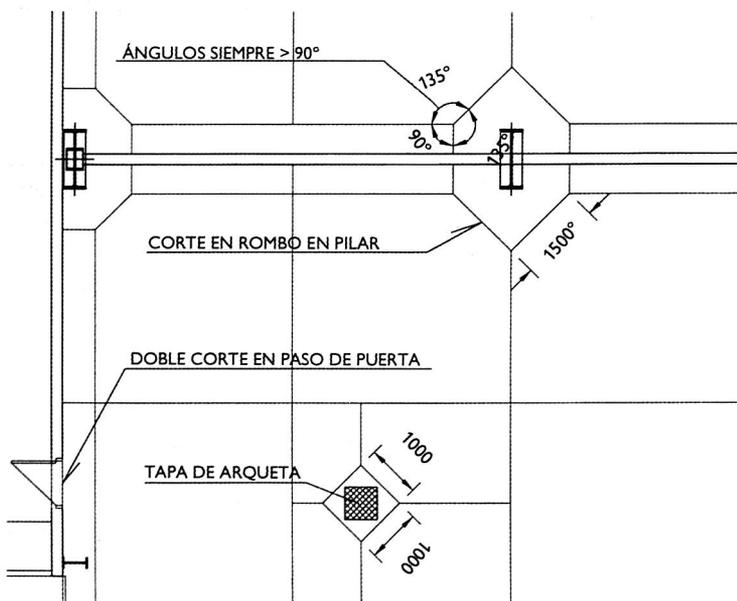
Problemas en juntas

Si después del corte aparecen fisuras que saltan de un lado a otro de la junta, se ha cortado demasiado tarde.

Una fisura que se inicia es como una cremallera que se abre, es muy difícil que se pare, siempre seguirá el camino que menor resistencia oponga.

Cuando se corta la junta tarde, la fisura ya está abierta aunque quizá todavía no sea visible. Como la fisura ya llega hasta el fondo de la solera, en la junta cortada con la sierra ya no hay tensión y, por tanto, nunca se inducirá por allí otra fisura.

A veces los puntos de cruce de la fisura sobre la junta cortada coinciden con los puntos donde hay pasadores ya que suponen un punto débil.



Trazado correcto de cortes de solera junto a pilares, arquetas y pasos de puerta

CURADO DE SOLERAS

Tras la buena puesta en obra del hormigón y el acabado correcto de la superficie, el factor más importante en la calidad final de la solera es el curado de la misma.

Se trata de conseguir evitar o al menos ralentizar la pérdida de humedad del pavimento para que el cemento permanezca hidratado y la pasta sea resistente y garantice que los áridos permanecen agregados y la superficie de la solera queda dura y sellada.

Un buen curado minimiza la retracción, el alabeo, el agrietamiento plástico y el decapado de la solera.

Un buen curado maximiza la hidratación del cemento del hormigón, la resistencia a la abrasión y la resistencia estructural del hormigón.

Los objetivos del curado es mantener la humedad del hormigón, mantener la temperatura del hormigón por encima de 10°C ya que el proceso químico de fraguado se paraliza por debajo de esta temperatura. El curado se debe mantener durante un mínimo de 7 días.

Es conveniente comenzar el curado cuanto antes. Los bordes y juntas se deben curar cuidadosamente porque se secan más que el resto del pavimento. Se debe empezar lo antes posible tras el vertido de la solera ya que si se comienza a curar a las 24 horas de la ejecución de la solera, el curado sólo afecta a la cara de 2 mm superior del pavimento.

A partir del séptimo día de curado los resultados ya casi no mejoran por lo que no compensa seguir con el curado.

Curado con agua: el curado se puede hacer con agua humedeciendo un geotextil. Se suelen utilizar aspersores para facilitar esta labor.

A veces se coloca una manta de polietileno impermeable, pero si quedan bolsas de aire, el agua se condensa en la bolsa y la superficie del pavimento adquiere diferentes tonos por lo que el acabado estéticamente no es uniforme, sobre todo en soleras coloreadas.

La solución de colocar un geotextil con agua y luego una lámina de polietileno para evitar la evaporación es excelente. Hay que colocar pesos sobre las láminas con objeto de evitar que el viento las levante y se debe controlar que el solape entre bandas de tela sea el adecuado.

Curado con resinas de hidrocarburos: se forma una película que con el tiempo desaparece, no es un sellado permanente. Se elimina rápidamente si le incide luz ultravioleta por lo que es más adecuado para interiores. Como se elimina por corrosos quedarán colores diferentes por zonas hasta la total eliminación de la película.



Detalle de cortes de solera junto a pilar correctamente ejecutados

Curados acrílicos: sirven para el curado y sellado del pavimento. Duran bastante pero como contienen trazas de alquitrán huelen de manera peculiar.

El requerimiento de los líquidos de curado es que la pérdida de agua sea inferior a 40 kg/m^2 en 72 horas a 37°C .

TOLERANCIAS DIMENSIONALES: PLANITUD Y NIVELACIÓN

Las soleras deben ser planas por las siguientes razones:

- Si van a soportar tráfico de vehículos: las carretillas no son como los automóviles, no tienen amortiguación y si hay baches pueden llegar a volcar con las cargas que transportan. Además, cada vez las carretillas llegan más alto y circulan más rápido. Si hay baches las carretillas van más despacio y se pierde rendimiento durante todo el tiempo de utilización del almacén.

- Limpieza más fácil: en laboratorios, fábricas de alimentación, de bebidas, etc.

- Problemas de almacenamiento por apilamiento de material.

- Estética: en pavimentos con recubrimiento de vinilo o resinas epoxi. Los reflejos delatan todas las irregularidades de la superficie de la solera.

- Casos especiales como estudios de TV, donde las cámaras deben circular sin el menor bache.

Habitualmente se utiliza la tolerancia de 3 mm con regla de 3 metros. Pero esta especificación puede entenderse de dos maneras. Si en el origen de la regla la cota es +3 mm y en el final la cota es -3 mm la diferencia de nivel entre los extremos de la regla es de 6 mm y éste no es el criterio sino que el máximo sea +3 mm ó -3 mm.

En un mismo local existen infinitas posiciones en las que colocar la regla de 3 metros para efectuar la medición. Soleras muy planas, en determinadas posiciones no cumplirán con los requisitos de planitud. Por el contrario, es posible encontrar ubicaciones del ensayo en soleras muy irregulares que cumplan con las tolerancias de planitud.

Para la ejecución de soleras superplanas es conveniente utilizar reglas de 2'5 m de longitud para el alisado del hormigón. Conviene que las herramientas sean de magnesio ya que el aluminio reacciona con el hormigón.

Para el nivelado se utiliza primero una regla en forma de U y luego una regla cortabaches con forma de barrera de autopista (bionda). Posteriormente, se utilizan los helicópteros de pulido primero con hojas anchas o placas lisas para que la presión sea



Detalle de cortes de solera junto a tapa de pozo de registro correctamente ejecutados

menor y la máquina no se hunda y posteriormente con hojas más estrechas. Cuando se utilizan helicópteros se suelen formar crestas entre los trazados del helicóptero por lo que la regla debe pasarse formando ángulos de 45° con la dirección de trazado del helicóptero.

Por último, existen extendedoras láser para la ejecución de soleras que permiten la nivelación muy precisa de la superficie del pavimento y la dosificación del cemento y aditivos para la capa superior con la dosificación adecuada. Estos equipos permiten ejecutar soleras con pendientes para urbanizaciones exteriores.

Para la ejecución de pavimentos superplanos es habitual la ejecución del pavimento por calles colocando reglas en los laterales de la banda que se va a hormigonar. Además, se suelen diseñar las piezas de solera haciendo coincidir las juntas debajo de las estanterías.

CONCLUSIONES

Como se ha expuesto a lo largo de este artículo, la construcción de soleras de hormigón debe tratarse de igual forma que otros elementos estructurales de la obra. Por tanto, será necesario un cálculo previo en función de los requerimientos de uso de la solera, una elección cuidadosa de los materiales, un diseño adecuado de detalles constructivos y, por último, una ejecución esmerada y un control estricto de todo el proceso.

En este artículo se ha intentado responder a las preguntas más frecuentes sobre soleras que se presentan tanto a técnicos como a constructores con objeto de aclarar en lo posible las alternativas más convenientes en cada caso con objeto de limitar el alcance futuro de las patologías que suelen presentar este tipo de pavimentos.

BIBLIOGRAFÍA

- BETTOR MBT. Seminario Tecnológico: Diseño y construcción de pavimentos industriales. Jerry Holland.
- ACI 302.1R-96 Guide for concrete floor and slab construction. American Concrete Institute.
- Recomendaciones para obras marítimas: ROM 4.1-94. Puertos del Estado. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente.
- Documentación técnica de Trefil Arbed-Grupo Arcelor-Aceralia sección redondos.
- Documentación técnica de Beckaert (Fibras DRAMIX).