05. CONSTRUCCIÓN

Manual de Diseño y Construcción de Pavimentos de Hormigón

Los pavimentos de hormigón son capaces de proveer una larga vida en servicio con un mínimo mantenimiento. En el presente capítulo se desarrolla la etapa de materialización, abarcando temas como la preparación de las capas de apoyo, la producción del hormigón, su transporte y descarga en el frente, su colocación, acabado, texturizado y curado, y las tareas de aserrado y sellado de juntas.

Pavimentadora de ancho completo.
Au. Rosario-Córdoba. Provincia de Santa Fe.

Introducción	3
Pavimentación con hormigón	10
Pavimentación con encofrados deslizantes	11
Pavimentación con moldes fijos	40
Texturizado del hormigón	43
Curado del hormigón	47
Juntas de construcción	49
Aserrado y sellado de juntas	53
Hormigonado en clima riguroso	64
Controles previos a la pavimentación – Checklist	70
Bibliografía	72

05. CONSTRUCCIÓN

Manual de Diseño y Construcción de Pavimentos de Hormigón

Tren de pavimentación y curado. Au. Rosario-Córdoba. Provincia de Santa Fe.

INTRODUCCIÓN

Movimiento de suelos

La fundación de un pavimento es uno de los factores más importantes para asegurar un excelente desempeño. Es por ello que se debe prestar atención al diseño y construcción de las subrasantes, subbases y bases, para garantizar su capacidad estructural, estabilidad, uniformidad, durabilidad y regularidad superficial. El objetivo principal de la fundación es la de proveer un soporte uniforme para el pavimento, tanto durante su construcción como a lo largo de su vida útil. Además se debe considerar especialmente el drenaje que permita

Figura 5-1: Preparación de la subrasante.

eliminar el agua de la estructura de la calzada, no sólo del pavimento en servicio, sino además, durante la etapa constructiva. De otra forma se corre el riesgo de comprometer la calidad final de los trabajos de ejecución de las fundaciones.

Preparación de la subrasante

La subrasante es el suelo natural, o mezcla de ellos, con o sin ligantes hidráulicos o agentes químicos mejoradores, proveniente de préstamos laterales o yacimientos, compactado y nivelado, sobre el cual se construyen las capas especiales, base, subbase/s y pavimento de hormigón. Sus características de estabilidad y uniformidad afectan tanto la construcción como su posterior desempeño. La preparación de la subrasante involucra la compactación con contenidos de humedad y densidades que aseguren un soporte estable y uniforme, sin cambios abruptos.

La construcción de un pavimento de hormigón debe partir de una buena subrasante, bien compactada y con densificación uniforme, cuyo perfil debe encontrase dentro de las tolerancias fijadas. Si bien no siempre puede resultar necesario el tratamiento de la subrasante para soportar las cargas del pavimento, una capa estabilizada mejora las condiciones para el movimiento de los equipos y ayuda en la construcción de las capas siguientes.

Bases y subbases

Bajo ciertas condiciones de la subrasante y solicitaciones externas, resulta necesaria la inclusión de una o más capas especiales intermedias entre el pavimento de hormigón y la subrasante, es decir de una base (y eventualmente de subbase/s en casos especiales). Tal es el caso, por ejemplo, de aquellos pavimentos diseñados para un elevado tránsito, principalmente de vehículos pesados, o ante la presencia de suelos volumétricamente inestables.

La función principal de la base desde el punto de vista del diseño es, además de su aporte estructural y uniformidad, la de prevenir el bombeo de materiales finos. Por otro lado, desde el punto de vista de la construcción, la base provee una plataforma de trabajo estable y uniforme para el desempeño de los equipos de obra, que permite obtener pavimentos de mejor calidad respecto a los que se ejecutan directamente sobre la subrasante. Además ayudan a controlar los cambios de volumen en suelos expansivos y en aquéllos susceptibles al congelamiento. En algunos casos pueden emplearse como capa drenante.

Las bases pueden ser de diferentes materiales o mezclas de ellos, tratadas o estabilizadas con diversos ligantes (en general cemento o asfalto), con agregado de aditivos u otros agentes químicos. Con diversos grados de calidad pueden mencionarse algunas, tales como bases de hormi-

gón pobre, de concreto asfáltico, granulares con cemento, o de suelo cemento propiamente dicho, bases de pavimentos flexibles reciclados, tratadas o estabilizadas con cemento, asfalto u otros aditivos, estabilizados granulares, de suelo seleccionado o mejorados, entre otros. En el caso de recubrimientos no adheridos de hormigón (whitetopping), esta capa se ejecuta sobre el propio pavimento asfáltico subyacente.

Como se ha expresado, la base constituye además, la superficie de apoyo para el equipo de pavimentación o los moldes fijos. En este sentido, y en especial cuando se emplean pavimentadoras de encofrados deslizantes, es recomendable considerar un sobreancho constructivo de dimensiones adecuadas para el tránsito de las orugas del tren de pavimentación, a ambos lados de la capa (Figura 5-2). La extensión de la subrasante y la base más allá del borde del pavimento es esencial para obtener pavimentos con mayor regularidad superficial y de mejor calidad, además de mejorar las condiciones de soporte en los bordes de calzada.

BASES GRANULARES NO TRATADAS

Para este tipo de bases puede emplearse una gran variedad de materiales o mezcla de ellos (piedra partida, canto rodado, hormigón triturado, materiales locales, suelos de préstamos o yacimientos cercanos), pero se caracterizan principalmente por su limitación del contenido de finos (en general, menos del 15 % pasa # 200). Por su predisposición a generar material fino y/o modificar su granulometría debido a fractura o aplastamiento durante el proceso de compactación, se deben evitar los materiales blandos.

Figura 5-2: Sobreancho constructivo para el tránsito de las orugas de los equipos de pavimentación.

Un aspecto clave para la materialización de una buena base granular no tratada es la colocación y compactación de un material o mezcla de ellos, correctamente dosificado, homogéneamente mezclado y con humedad adecuada. El mezclado puede llevarse a cabo de diferentes maneras, tanto sea en una planta mezcladora central como en el camino con equipos recicladores, u otros mezcladores autopropulsados. Incluso también, aunque con menor homogeneidad, con motoniveladoras y rastras de discos, que permitan uniformar la mezcla de materiales y/o agua en todo el espesor.

Si la mezcla de materiales se efectúa en planta fija, el transporte del material mezclado y humectado se realiza en general en camiones volcadores o bateas, para lo cual deberán tomarse los recaudos pertinentes para evitar la pérdida de humedad de la mezcla. En estos casos, la distribución y extendido en la cancha se efectúa con equipos adecuados, que garanticen la uniformidad de espesores y eviten la segregación. Esta tarea puede realizarse con pavimentadoras, extendedoras, distribuidores de áridos, motoniveladoras, topadores con cajón, etc. Cuando el tendido se lleva a cabo con motoniveladoras, deberán tenerse los cuidados suficientes para evitar la segregación, el desecamiento del material, y la formación de planos de compactación que generen falta de uniformidad en la densificación de la capa.

Una vez completada la distribución y extendido a cotas de proyecto, más una revancha por esponjamiento del material, se procede a la compactación con los medios apropiados. Con este objetivo se utilizan aquellos equipos que resulten más eficientes para obtener la densificación requerida en las especificaciones del proyecto. Generalmente, estos trabajos de compactación se llevan a cabo con rodillos lisos vibratorios o estáticos, aplanadoras y rodillos neumáticos, tomando las prevenciones

Figura 5-3: Aplanadora.

necesarias para evitar el desecado por evaporación y manipuleo, de manera de obtener una superficie densa, húmeda y bien adherida a la capa inferior.

Completada la compactación de la capa se procede al corte y perfilado final a las cotas proyectadas mediante el uso de motoniveladoras o de equipos cortadores - fresadores (trimmer - Figura 5-4). Como se verá más adelante, es esencial obtener la máxima precisión en la terminación de las canchas, en especial si se trabaja con pavimentadoras de encofrados deslizantes. La superficie final de la base debe ser plana y uniforme, libre de huellas, baches, levantamientos o cualquier tipo de cambio brusco en el nivel.

La humedad debe mantenerse cerca de la óptima antes, durante y después de las operaciones de nivelación, y hasta la colocación del pavimento de hormigón. Es conveniente en este sentido, la aplicación de un riego bituminoso para mantener la humedad y densificación alcanzada en la construcción.

Figura 5-4: Trimmer.

BASES TRATADAS CON CEMENTO

La ejecución de bases y subbases cementadas destinadas a servir de soporte a los pavimentos rígidos, requieren la adopción de una serie de medidas dirigidas a asegurar la buena calidad de esta capa estructural. Los factores fundamentales a considerar, una vez definidos los materiales a utilizar, se pueden resumir en:

- Contenidos de cemento y humedad adecuados para alcanzar las características de resistencia y durabilidad especificadas, determinadas previamente en laboratorio. En obra se seleccionan los equipos y metodologías apropiadas que aseguren el cumplimiento de ambas condiciones;
- Mezclado preciso y uniforme de todos los materiales componentes, correctamente dosificados y con las características requeridas en cuanto a granulometría, pulverizado, homogeneidad, espesores;
- Compactación adecuada en el camino (controlando no perder la humedad de la mezcla), ejecutada dentro de los plazos de manejabilidad recomendados, que garantice la obtención de las densidades predeterminadas en los estudios de laboratorio y la uniformidad en todo el espesor de la base y;
- Curado apropiado de la capa terminada que permita mantener las condiciones de humedad durante el tiempo mínimo prescripto, de forma de asegurar la correcta hidratación del cemento y la obtención de las resistencias potenciales de la mezcla proyectada.

La correcta selección de equipos, tecnologías, métodos y prácticas de construcción permite cumplir con las premisas enunciadas. Hay dos grandes tipos de metodologías de ejecución de bases tratadas con cemento, diferenciados principalmente por el tipo de equipos utilizados en el mezclado de los materiales:

- Mezclado in situ.
- Mezclado en planta central.

La adopción de una u otra tecnología de mezcla depende del tipo y envergadura del proyecto, de los equipos y la logística que se dispongan o se especifiquen, de las características y origen de los materiales a utilizar, etc.

Para el mezclado en el camino existen en la actualidad modernos y potentes equipos recicladores (reclaimers), capaces de producir una mezcla de suelo cemento de elevada calidad por su alta eficiencia y uniformidad en la pulverización y mezcla de materiales (Figura 5-5). Por otra parte se adaptan perfectamente a las nuevas técnicas de construcción de pavimentos de hormigón, pues aportan elevadas producciones diarias, acordes a los requerimientos de los trenes de pavimentación de encofrados deslizantes. Sin embargo, estas altas prestaciones en la pulverización y mezclado deben estar complementadas con una metodología de carga, dosificación y distribución de materiales adecuada (Figura 5-6), que garantice la calidad y uniformidad de la capa cementada, así como un riguroso control del proceso constructivo y de espesores del tratamiento.

La utilización de mezclado en planta central (Figura 5-7) permite un mayor control sobre la dosificación de materiales intervinientes y una adecuada uniformidad de mezcla. No obstante, debe acompañarse con distancias y equipos de transporte apropiados, para evitar demoras en la construcción de capas cementadas y además, con metodologías de distribución en el camino que garanticen un nivel de calidad acorde con los requerimientos.

Figura 5-5: Reciclador.

Figura 5-6: Distribuidor de cemento.

Figura 5-7: Mezclado en planta central.

En líneas generales se puede pensar que la elección de una u otra técnica de mezclado está determinada por varios factores, entre los que se encuentran el tipo y cantidad de fracciones o suelos que intervienen en la mezcla de suelo cemento. Cuando se trabaja con suelos granulares, y en especial si son producto del aporte de varias fracciones, es más conveniente el mezclado en planta central. En caso de utilizar suelos de préstamos, en general más finos, aún con el aporte de un suelo o arena correctora, y siempre que se pueda contar con equipos y métodos adecuados para la dosificación de cemento y/o correctores, la adopción de mezclado in situ con recicladores de potencia adecuada, es una alternativa viable.

Completado el proceso de mezclado y/o extendido del material, con cualquiera de los métodos indicados anteriormente, se debe proceder a la verificación de las condiciones de la mezcla en lo que refiere a humedad y granulometría, para efectuar los ajustes que resulten necesarios en el proceso de construcción antes del ingreso de los equipos de compactación.

En el caso que se empleen suelos finos, se considera que la pulverización del suelo resulta adecuada siempre y cuando la granulometría de la mezcla de suelo cemento sea tal que el 100 % del material pase el tamiz IRAM 25 mm (1”), y más del 80 % pase por el tamiz IRAM 4,8 mm (N° 4), excluidas

las partículas de grava o piedra. Este ensayo determina la necesidad de realizar ajustes en los procesos previos de mezcla si no se cumplen las condiciones especificadas.

La compactación se realiza con los equipos usuales en obras de movimiento de suelos, tales como rodillos "pata de cabra", rodillos metálicos lisos o aplanadoras, y rodillos neumáticos, escogidos en función del tipo de suelo que se pretende compactar, verificando su eficiencia en canchas de prueba.

No debe demorarse el inicio de los trabajos de compactación, cualquiera sea el o los equipos utilizados y deben completarse dentro de plazos tolerables, preferentemente con un límite de dos horas a contar desde el momento que el cemento entra en contacto con el agua.

El método utilizado para la terminación final de las capas cementadas depende de las características del suelo y de los equipos utilizados para la distribución y compactación. No obstante, se puede indicar que para producir una superficie de alta calidad deben observarse dos exigencias fundamentales: mantener la humedad óptima de trabajo, y remover cualquier plano de compactación formado por el paso de los equipos usados en la construcción. En especial, en este último aspecto, si se utilizan compactadores del tipo "patas de cabra" o motoniveladoras para la distribución, se pueden generar problemas, por la formación de capas superiores mal adheridas, o por diferencias en la densificación en zonas de huellas de neumáticos del equipo.

Figura 5-8: Distribuidor.

En líneas generales, se puede decir que, cualquiera sea el equipo de compactación empleado, se obtiene una buena terminación del suelo cemento "sellando" la capa superficial con rodillos neumáticos (Figura 5-9). La superficie obtenida debe quedar lisa, densa y húmeda, libre de grietas, rebordes y planos de compactación.

Figura 5-9: Equipo de rodillos neumáticos para la terminación de la base.

Completadas las operaciones de compactación y terminación de la capa de suelo cemento, se procede al corte y perfilado final a los niveles de proyecto con motoniveladoras o equipos cortadores "trimmers". El material producto del corte se desecha, retirándolo a las banquinas y, luego de las operaciones de corte, se efectúan riegos ligeros superficiales.

En algunos casos se prefiere compactar la capa a un 90 % / 92 % de la densidad requerida, e inmediatamente iniciar el corte y perfilado final de la base, con el objeto de aumentar la eficiencia de los equipos de "corte", para luego completar la compactación y sellado final de la capa con rodillos neumáticos. Por supuesto que estas operaciones deben efectuarse dentro del plazo de trabajabilidad, y el corte a "cabeza de estaca" debe contemplar un pequeño huelgo para compensar la diferencia por finalización de la densificación.

La mezcla compactada y terminada contiene suficiente humedad para la adecuada hidratación del cemento. Con el fin de retener esa humedad, inmediatamente

Figura 5-10: Riego asfáltico de curado.

después de su terminación se debe efectuar un riego bituminoso de curado, en las cantidades y tasas especificadas en el Proyecto (por lo general en el orden de 0,50 a 1,20 l/m^2). El curado de las capas mediante la aplicación de riegos asfálticos, permite mantener la humedad de la mezcla, a fin de garantizar la correcta hidratación del cemento y obtener, además, una superficie de igual calidad y resistencia que el resto de la estructura.

Previo al riego asfáltico de curado, se procede a realizar un enérgico barrido y soplado de la superficie (Figura 5-11), que permita eliminar los restos de material suelto en la base, la cual debe encontrarse completamente saturada, aunque libre de agua acumulada.

Figura 5-11: Barrido y soplado de la superficie de la base de suelo cemento.

La finalidad de una base cementada es brindar aporte estructural y una superficie resistente a la erosión por bombeo. Por este motivo se debe invertir el máximo esfuerzo en lograr una adecuada terminación superficial, de manera tal que alcance la misma calidad y características que el resto del espesor, debiéndose verificar permanentemente que no se observe en superficie la presencia de material suelto o pobremente adherido, hasta su protección mediante un curado conveniente.

BASES DE HORMIGÓN POBRE

Este tipo de bases se construyen, en general, de manera muy similar y con el mismo equipamiento que un pavimento de hormigón, aunque con menores exigencias, por cuanto no se trata de una capa de rodadura. Se debe alcanzar una rugosidad adecuada para optimizar el trabajo del tren de pavimentación, y una superficie suficientemente lisa y libre de irregularidades para minimizar la fricción con la losa del pavimento.

Figura 5-12: Base de hormigón pobre.

Al igual que en los pavimentos de hormigón, y cualquier capa cementada, es necesario el curado para mantener la humedad y garantizar el desarrollo de resistencia. Lo usual, en estos casos, es la utilización de compuestos de curado de parafina en base acuosa.

El aserrado o marcado de juntas transversales de control no es necesario pues, si bien se forman fisuras, la baja resistencia del hormigón pobre, sumado a algún tratamiento antiadherente, hace que éstas no se propaguen al pavimento.

En lo que respecta a las juntas transversales de construcción, se recomienda ejecutarlas con un esviaje de 1:6 o 1:5 para evitar que exista una eventual coincidencia con las juntas transversales de la calzada de hormigón a ejecutar.

PRECAUCIONES SOBRE EL EMPLEO DE BASES CEMENTADAS

A pesar de las ventajas que ofrecen las bases cementadas, se deben tener en cuenta ciertos aspectos para evitar la formación de fisuras en forma errática en el pavimento de hormigón. Estas fisuras pueden originarse por la fricción entre la base y la losa de hormigón, y/o por las tensiones de alabeo.

- Fricción entre la base y la losa de hormigón: el coeficiente de fricción entre ambas superficies aumenta a medida que se incrementa la rigidez e irregularidades superficiales de la base. Esto induce mayores tensiones de tracción, acrecentando la posibilidad de que se produzcan fisuras a medida que el hormigón se contrae por su secado, o por variaciones térmicas.
- Tensiones de alabeo: las bases cementadas producen un aumento de la rigidez de la estructura de apoyo, incrementando las tensiones debidas al alabeo de las losas de hormigón.

De esta forma, para reducir los riesgos de fisuración no controlada se deben considerar los siguientes factores:

- Reducir la adherencia potencial entre la base y el pavimento de hormigón.
- Acotar la resistencia y rigidez de la base.
- Disminuir la separación entre juntas.

La adherencia potencial puede reducirse con la aplicación de algún medio antiadherente, entre los que pueden citarse:

- Dos capas de compuesto de curado de color blanco, en base a parafina.
- Una película de material asfáltico o bituminoso que puede ser, a su vez, el propio material de curado.
- Una membrana geotextil adherida a la base (recomendado para bases de hormigón pobre).
- Lámina o film de polietileno (recomendado para bases de hormigón pobre). Se dificulta su empleo en zonas con mucho viento.

PAVIMENTACIÓN CON HORMIGÓN

Los dos métodos más empleados para la construcción de pavimentos de hormigón son: la pavimentación con moldes fijos y la ejecución con pavimentadoras de encofrados deslizantes. En esta publicación se tratan ambos temas, con mayor énfasis en la utilización de la segunda alternativa de pavimentación, también conocida como Tecnología de Alto Rendimiento (TAR), aunque es de destacar que muchos de los temas son comunes a ambos sistemas constructivos.

La pavimentación con encofrados deslizantes se emplea, en general, en proyectos donde se requieran altos estándares de calidad y terminación, y/o elevados ritmos de producción, tales como autopistas y autovías, rutas troncales, aeropuertos, arterias urbanas principales, etc. La característica distintiva en el uso de esta tecnología es el empleo de mezclas de bajo asentamiento, de tal forma que luego de la colocación del hormigón por extrusión, el pavimento mantenga la geometría con que fue moldeado.

El empleo de encofrados fijos puede adaptarse a casi cualquier proyecto, aunque el uso de moldes para contener al hormigón, sobre los cuales se desplazan los equipamientos para compactación y terminación superficial del pavimento, generan algunas limitaciones en cuanto a niveles de calidad y lisura, y fundamentalmente en las producciones posibles con esta metodología. En este caso, las mezclas que se emplean son de mayor asentamiento, de tal manera que el hormigón fluya con mayor facilidad, y pueda ser compactado y acabado con los equipos usuales en este tipo de procesos (cerchas o vigas vibratorias y terminadoras de rodillos o cilindros).

PAVIMENTACIÓN CON ENCOFRADOS DESLIZANTES

La pavimentación con encofrados deslizantes se caracteriza por:

- El empleo de mezclas de hormigón de bajo asentamiento,
- Elevadas producciones y, consecuentemente, altos consumos de materiales (se pueden alcanzar rendimientos de más de un kilómetro de pavimento por día),
- Destacados niveles de calidad en terminaciones y bordes, que permiten obtener pavimentos de excelente regularidad (baja rugosidad).

En este tipo de pavimentación, el hormigón es extruido con la forma geométrica de la calzada mediante el deslizamiento o paso de un molde a través de la masa plástica de hormigón. La sección de la losa está determinada por una plancha o molde plano, cuyo nivel de elevación es ajustado automáticamente por sensores y dos encofrados laterales (bordeadores), que integran lo que comúnmente se denomina "el molde o encofrado deslizante" de la pavimentadora.

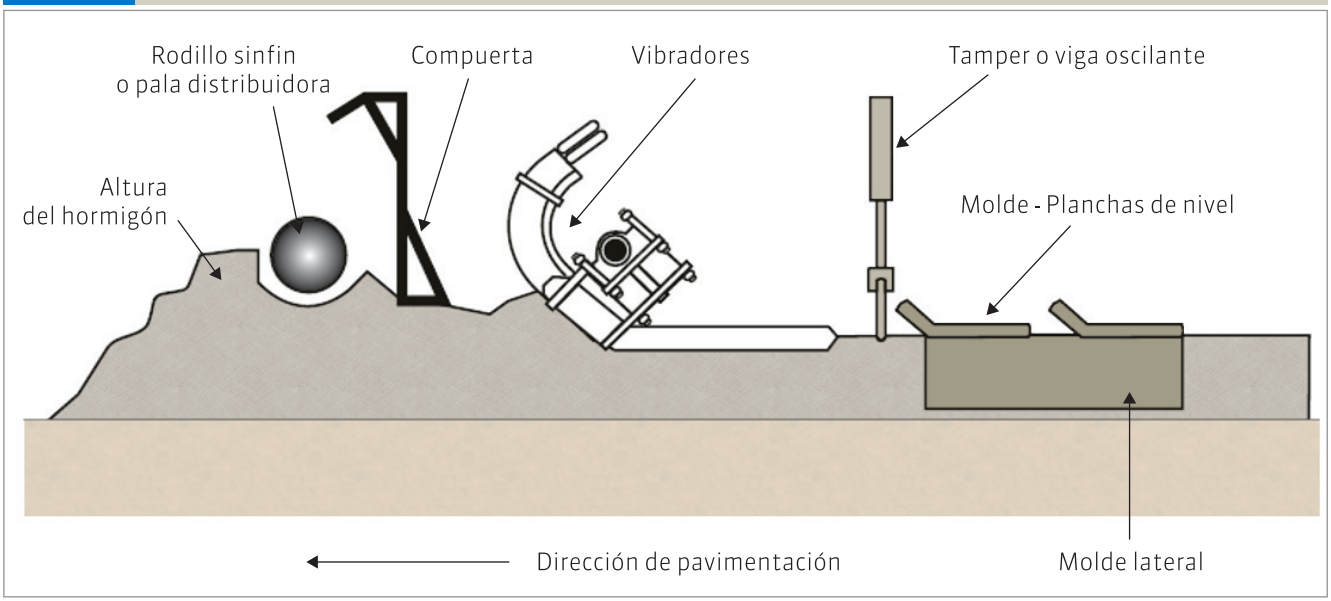
Los moldes y elementos mencionados para darle forma a la masa de hormigón, las herramientas para distribuir, consolidar y compactar la mezcla, así como las herramientas para la inserción de armaduras y terminación de la superficie, se encuentran montados y fijados en un equipo autopropulsado, que es la pavimentadora. En la Figura 5-13 se puede observar un esquema típico de una pavimentadora de encofrados deslizantes.

Básicamente, este equipo está conformado por un chasis o bastidor, en el cual se montan el o los moldes y las herramientas de compactación y terminación. Todo este conjunto se encuentra dispuesto sobre un sistema de cilindros hidráulicos que permite regular la altura de todo el equipo, los que a su vez están armados sobre un tren rodante de orugas que posibilita su traslación.

Existe una variada gama de pavimentadoras de encofrados deslizantes y herramientas que, en líneas generales, se pueden identificar por:

- Su ancho de trabajo, en pavimentadoras de ancho completo, generalmente de más de 6 m de ancho de operación, o de media calzada, de hasta 6 m de ancho de operación.
- Por su sistema de traslación, de dos, tres o cuatro orugas.

Figura 5-13: Componentes típicos de una pavimentadora de encofrados deslizantes. [ACPA TB006P. 2003]



Entre los componentes y/o herramientas disponibles en este tipo de terminadora se pueden mencionar:

- Distribuidor de hormigón, que puede ser tipo tornillo sinfín o cuchilla / pala distribuidora, que permiten el extendido de la mezcla en todo el ancho de pavimentación.
- Compuerta de alimentación, que forma un recinto o cámara de vibrado que hace más eficiente la compactación. Además permite regular su altura, dosificando el ingreso de hormigón a la cámara y el molde.
- Vibradores de inmersión, encargados de la densificación de la mezcla previo al ingreso al molde de extrusión.
- Tamper o Viga oscilante, que ayuda a compactar o aplanar el hormigón previo a su ingreso al molde, asegurando el recubrimiento del agregado grueso.
- Molde o plancha de nivel, y moldes laterales o bordeadores, que constituyen el encofrado deslizante propiamente dicho.

La existencia de todos, o algunos de estos elementos depende del modelo, marca o tipo de pavimentadora. Por otro lado, entre las herramientas habitualmente opcionales, se pueden mencionar:

- DBI (Dowel Bar Inserter) o Insertor Automático de Pasadores, que permite la introducción y posicionamiento de los pasadores en el hormigón fresco, sin detención del equipo pavimentador. El sistema está complementado con un dispositivo que rellena y repara la herida producida por esta tarea.
- TBI (Tie Bar Inserter) o Insertor Automático de Barras de Unión, que realiza la tarea de colocación de las barras de unión. Estos dispositivos pueden insertar en el centro de la pavimentación (en ancho completo) o en el borde lateral interno (operación en media calzada), en este último caso sólo se introduce una mitad de la barra.
- Fratás automático, para el alisado mecánico de la superficie de pavimento, luego de completadas todas las tareas de colocación, compactación e inserción de armaduras.

Figura 5-14: Pavimentadora de ancho completo.

El tren de pavimentación (Figura 5-16) es el conjunto de máquinas y equipos involucrados en las tareas de colocación, compactación y acabado del hormigón. Un tren de pavimentación convencional puede estar compuesto, además de la pavimentadora por:

- Equipo pre-distribuidor, para extender y emparejar la mezcla de hormigón en el ancho de trabajo de pavimentación. Con esta finalidad se pueden utilizar spreaders o equipos distribuidores, tales como otra pavimentadora de menor porte que la principal, trimmers con tolva receptora de hormigón, cintas para descarga lateral o equipos de carga como excavadoras o palas cargadoras que ayuden en las tareas de distribución delante de la pavimentadora.

Figura 5-15: Pavimentadora de media calzada.

Figura 5-16: Tren de pavimentación.

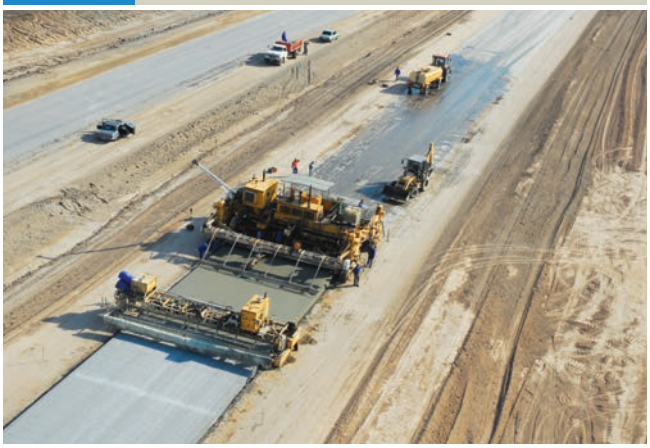


Figura 5-17: Pavimentadora utilizada como predistribuidor (spreader).

- Equipos de texturizado y curado, encargados del texturizado de la superficie de pavimento y del curado del hormigón cuando se utilizan membranas o compuestos químicos de aplicación por aspersión.

Logística de obra

La adopción del tipo, tamaño y herramientas de la pavimentadora, la utilización de equipos auxiliares para la pre-distribución o del equipamiento para los trabajos de texturizado y curado es función de las características del proyecto, de las exigencias de calidad, de los plazos de construcción y la programación de la producción, del factor económico, entre otros aspectos relevantes.

Los mejores resultados en la pavimentación con encofrados deslizantes se obtienen cuando la pavimentadora opera a velocidad constante y uniforme, sin detenciones ni variaciones bruscas de la velocidad. Esta simple premisa encierra, sin embargo, una compleja planificación de diversos aspectos técnicos, organizativos y económicos, cuya compatibilización permite alcanzar ese objetivo.

En síntesis, la logística de obra debe ser diseñada para alcanzar una alimentación continua y sostenida de hormigón al frente de pavimentación, atendiendo las elevadas producciones típicas de estas tecnologías, con calidad adecuada y homogénea.

El proyecto de logística implica, entre otros, la atención de factores tan diversos como:

- la correcta selección de equipos y metodologías constructivas,
- la programación equilibrada en las producciones de capas especiales,
- la capacitación y especialización de personal técnico,
- las estrategias de abastecimientos y transportes,
- los controles de calidad preventivos,
- la planificación minuciosa de tareas.

En adelante se tratan muchos de los temas mencionados, para ayudar en la resolución de un aspecto tan crítico y determinante en la construcción de pavimentos de hormigón con TAR, basados en las prácticas y métodos más difundidos y aceptados en la especialidad. Muchas de estas premisas y sugerencias provienen de antecedentes y experiencias locales, en las cuales el ICPA ha participado mancomunadamente con las diversas reparticiones viales, empresas constructoras, consultoras, fabricantes y proveedores de equipos e insumos, así como en los precedentes y conocimientos adquiridos en estas prácticas a nivel internacional, en especial en los países pioneros en el uso de estas tecnologías.

Preparación de la superficie para la pavimentación con hormigón

Si bien se han tratado precedentemente los aspectos más relevantes en la construcción de bases de pavimentos rígidos, previo al inicio de las tareas de colocación de hormigón es importante efectuar algunas consideraciones sobre éstas, reflexionando acerca de su función durante la etapa constructiva, en la cual se convierte en la superficie de trabajo o "cancha" para la ejecución del pavimento de hormigón.

En este sentido, la cancha debe ser densa, resistente y presentar una superficie lisa, libre de material suelto, polvo, baches o desprendimientos.

No es redundante insistir con la importancia que reviste la calidad superficial de la base de un pavimento rígido, atendiendo a que ella, además de su función estructural, debe ser capaz de resistir la erosión producida por bombeo de agua de infiltración en la interfaz base-pavimento. Basta entonces con un mínimo espesor de material suelto o débilmente adherido en la capa de apoyo (unos pocos milímetros) para iniciar un proceso erosivo que deje sin sustento a la losa de hormigón.

Por tal motivo es recomendable que la misma se encuentre imprimada con una película impermeable (en general materiales bituminosos), a fin de preservar las propiedades alcanzadas durante una esmerada construcción de la base, hasta el momento de su cobertura con el pavimento de hormigón. Esta sugerencia es ineludible cuando se refiere a bases tratadas con cemento, en la cual esta protección es una condición necesaria para el correcto curado de la capa cementada.

En cualquier caso deben atenderse además, las cuestiones relativas a la fricción y adherencia entre la base y la losa de hormigón, que pueden determinar la necesidad de utilizar algún tratamiento adicional para disminuir el coeficiente de fricción entre capas. No obstante ello, cualquiera sea el tipo de base utilizada, y el uso o no de elementos ruptores de adherencia, es sumamente importante lograr una superficie lo más lisa posible, con el fin de no generar una traba mecánica que pueda afectar al hormigón a edad temprana.

Es de suma importancia alcanzar la máxima precisión en el corte y perfilado final de las canchas, por cuanto esto tiene una decisiva influencia en la calidad final del pavimento. Esta exigencia está relacionada no sólo con el mantenimiento de espesores acotados y consumos controlados en la capa con mayor incidencia económica de un paquete rígido, sino que además, contribuye con el objetivo de obtener pavimentos de baja rugosidad.

Cuando se trabaja con pavimentadoras con tecnología de control automático de elevación, la cota final del pavimento está determinada por el ajuste del molde desli-

zante a la cota referenciada por el hilo guía, sobre el cual operan los sensores de nivel. Es decir, la pavimentadora no "copia" la cancha sino la línea guía, aunque, como se verá más adelante, la superficie de apoyo puede tener alguna influencia. En principio, esta afirmación haría pensar que una cancha mal cortada sólo influiría en los espesores finales del pavimento, generando elevados sobreconsumos de hormigón, o por el contrario penalizaciones por deficiencias en él.

Sin embargo, la experiencia muestra que, en general, esta deficiencia también trae aparejada una pérdida de calidad en la regularidad superficial de la calzada. En primer término porque la falta de uniformidad en la superficie de apoyo va a generar en los puntos bajos una pérdida de presión de extrusión a través de los moldes laterales, y en contraposición, en los sectores elevados, una resistencia al deslizamiento por roce de los bordeadores.

Pero más importante aún es que una situación de este tipo, con alta variabilidad en los espesores finales del pavimento, probablemente genere una reacción correctiva tendiente a mantener acotados los sobreconsumos de material, actuando en consecuencia en forma manual sobre los niveles de elevación del molde, acompañando las desviaciones de la cancha, lo cual seguramente deriva en un incremento de la rugosidad superficial del pavimento.

Figura 5-18: Trimmer.

Figura 5-19: Riego de la cancha antes del hormigonado.

De ahí la importancia de un corte preciso de las bases de pavimentos y por eso, la recomendación de extremar los cuidados en esta tarea. Si el perfilado se realiza con equipos cortadores automatizados (trimmers), en los cuales el control de elevación está dirigido por sensores operando sobre hilos guía, al igual que las pavimentadoras, la exactitud en el corte está asegurada si se hace un uso adecuado de ellos y se respetan las reglas del arte y el buen construir de obras viales.

Si en cambio se utilizan motoniveladoras, el equipo más usual en las obras de nuestro país, debe extremarse las prevenciones para alcanzar la máxima precisión en el perfilado. En tal sentido se recomienda:

- Incrementar la densidad de puntos de referencia para el operador de la motoniveladora, colocando un mínimo de 5 estacas niveladas por cada perfil transversal referenciado;
- Disminuir la separación entre perfiles, a 5 m ó 6 m para mejorar la eficiencia del corte.

Existen además equipamientos alternativos, tales como sensores de guiado automático (láser, ópticos), que pueden optimizar el uso de motoniveladoras a fin de mejorar su desempeño.

Ya en el momento de la colocación del pavimento de hormigón, se recomienda el mantenimiento de la humedad en las canchas mediante el riego de agua previo a la descarga de la mezcla, en especial si las mismas no están imprimadas o si dicha protección presenta peladuras o desprendimientos. El riego asegura la saturación de los poros de la base, evitando de esta forma la absorción de agua del hormigón colado.

Asimismo, y en especial en situaciones de trabajo con tiempo caluroso, el riego periódico de la superficie durante las tareas de hormigonado contribuye a reducir su temperatura, disminuyendo de esta forma la ganancia de calor del hormigón recién colocado.

Sobreanchos constructivos

Se ha visto la importancia del perfilado con precisión de las canchas o superficie de apoyo del pavimento de hormigón, fundamentalmente por la tecnología que utilizan las pavimentadoras de encofrados deslizantes. Empero si se repasa detenidamente el sistema de guiado que utilizan estos equipos, se observa que hay un aspecto que tiene una influencia decisiva en la lisura final de la calzada, y se trata de los carriles o huellas por los cuales se desplaza el tren rodante de la pavimentadora, por fuera del borde de pavimentación (y por ende fuera de la base).

Como ya se ha indicado, estos equipos poseen sensores de nivel que leen o copian la elevación del hilo guía, colocado a una altura predeterminada sobre la cota de proyecto, de tal forma que este sistema de guiado tiene la función de mantener una altura constante del molde deslizante, siempre referida a la cota del hilo, independiente de la cancha o carril sobre el cual se desplazan las orugas del equipo. De esta manera, la presencia de ondulaciones o deformaciones en el camino de tránsito de la pavimentadora no serán copiados por el sistema de control de elevación. No obstante ello, no se debe perder de vista que la presencia de depresiones o elevaciones deben necesariamente generar acciones correctivas del sistema, para mantener la altura constante del molde. El solo hecho de introducir ajustes en los dispositivos hidráulicos de elevación del conjunto, tiene influencia en la rugosidad de la superficie entregada, más aún teniendo en cuenta que dichas correcciones se efectúan en un equipo que se encuentra en movimiento, de forma tal que además se suma un retardo en la respuesta.

En definitiva se puede afirmar que las deformaciones de las superficies sobre las cuales se desplazan las orugas de la pavimentadora, aunque atenuadamente, son reflejadas en la superficie final del pavimento. De manera que, a pesar de todo, una rugosidad alta de la capa inferior se traduce en una pobre lisura del pavimento construido sobre ella.

Atendiendo a esta situación es que se recomienda, siempre que sea posible, ejecutar sobreanchos constructivos para la operación de los equipos pavimentadores. La ejecución de estas facilidades para la operación de las pavimentadoras de encofrados deslizantes, se resuelve en general, extendiendo el ancho de la base a ambos lados del borde a pavimentar.

En autopistas, autovías y rutas principales, en las cuales las especificaciones de calidad son muy exigentes en lo referente a rugosidad, la incorporación de sobreanchos de base para el desplazamiento de las orugas de la pavimentadora es condición *sine qua non* para alcanzar el objetivo final. Si bien el sobreancho a ejecutar depende del ancho de la oruga y del despeje de la misma al borde terminado, a modo orientativo puede considerarse un sobreancho a ambos lados del borde de calzada de:

- 0,6 m a 0,8 m cuando se emplee pavimentadoras de media calzada.
- 0,8 m a 1,0 m cuando se emplee pavimentadoras de ancho completo.

De esta forma se obtienen carriles de la misma calidad, resistencia y precisión en la nivelación que la base del pavimento. Adicionalmente se asegura una correcta tracción de las orugas del tren de pavimentación, que no hay que olvidar, tienen pesos de operación relevantes, a lo que se agrega la resistencia que opone el hormigón en el proceso de extrusión.

Figura 5-20: Base cementada con carril de pavimentación.

Contar con un soporte de elevada resistencia garantiza la operación adecuada de la pavimentadora, con tracción constante y uniforme, lo que se traduce en una mejora considerable en la regularidad superficial. Una superficie de apoyo débil y mal compactada, probablemente causará pérdida de tracción y sustentación de las orugas, afectando la rugosidad final del pavimento.

Desde el punto de vista operativo, esta mejora contribuye en una menor pérdida de días de producción por lluvias o inclemencias meteorológicas.

Instalación de los hilos guía

Los hilos guía tienen la función de conducir la operación de la pavimentadora, ya que tanto el control altimétrico como de alineación del molde deslizante se referencian a éste, a través de los sensores o "palpadores" que poseen estos equipos. Como se ha visto, todo el conjunto bastidor/molde está montado sobre dispositivos hidráulicos que, en función del nivel registrado por los sensores, corrigen la posición vertical de los encofrados manteniendo la cota establecida para el pavimento. Lo mismo ocurre con el alineamiento de la pavimentadora, que también es guiado por sensores referenciados a la cuerda rectora.

De más está decir que la posición del hilo guía resulta fundamental para obtener un pavimento de excelente calidad, si se acepta además que, por preciso que sea el sistema de control y operación de la pavimentadora, es factible que el traspaso de la cota del hilo a la superficie terminada de la calzada, pueda presentar un mínimo error. Por pequeño que éste sea, se deben evitar agregar diferencias en la nivelación altimétrica de la guía, por lo que se aconseja un trabajo topográfico de máxima precisión.

Se recomienda, en general, la colocación de doble línea guía, una a cada lado de la pavimentadora, para minimizar los errores de transferencia mencionados. Aun cuando estos equipos puedan operar "leyendo" la cota de un lado y generar por pendiente, la del lado opuesto, esta práctica puede sumar imprecisión en el nivel final del pavimento.

Figura 5-21: Pavimentación con doble línea guía.

Cuando se trabaja con equipos de pavimentación en anchos de faja importantes, es condición indispensable establecer el guiado físico a ambos lados de la terminadora. Lo mismo si se emplean equipos provistos de herramientas de inserción de pasadores (DBI), en los cuales se incrementa notablemente el largo del molde deslizante, lo que puede inducir a errores apreciables operando con inclinómetros o dispositivos de pendiente.

Aun en trabajos de pavimentación de pequeña envergadura o con equipos de menor porte, siempre es aconsejable la utilización de doble guía; para asegurar los mejores resultados.

Figura 5-22: Soportes guías (pines).

Para el posicionamiento de los hilos guía se utilizan soportes especiales, que se conocen generalmente como "pines" (Figura 5-22). Éstos consisten en un estacón metálico con un brazo que permite separar el hilo de la línea de estacas y un dispositivo para ajustarlo en altura. El cable se ubica en una muesca que posee el extremo, que lo mantiene en altura pero le permite deslizarse. Mediante un prolijo trabajo de topografía se nivelan los pines, se tiende el hilo a través de las hendiduras del brazo y se tensa fuertemente mediante malacates, para evitar su combado o deflexión. Los malacates suelen ubicarse bastante espaciados, asistiendo a tramos de cable extensos (estimativamente del orden de 300 m).

En curvas horizontales y/o verticales es habitual reducir la separación entre pines, atendiendo a que en ellas, lo que en realidad se replantea, es una serie de

Con el mismo objeto de evitar deformaciones excesivas de la guía, se limita la distancia entre pines a valores máximos recomendables de 6 m a 7 m. Esta distancia debe chequearse además, en función al tipo de material del hilo, que puede ser un cable metálico (acero galvanizado), trenzado o cuerda de material sintético o similar.

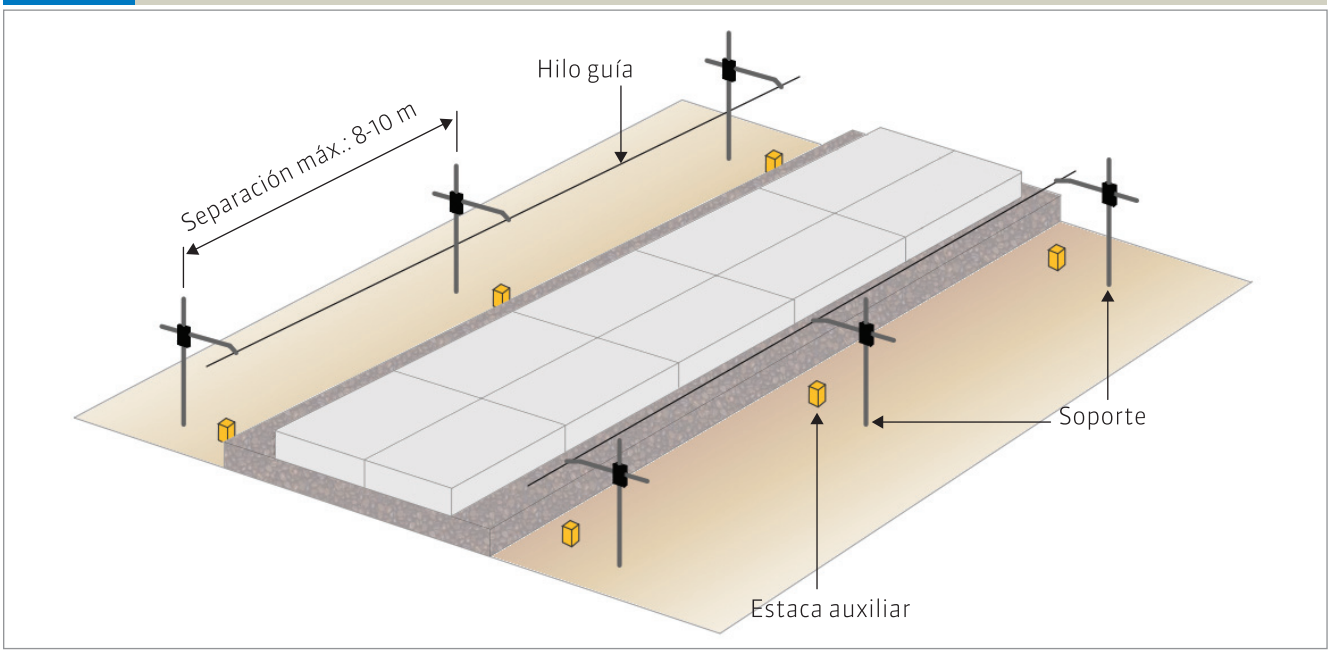
Figura 5-23: Malacate para el tensado de los hilos guía.

Figura 5-25: Sensores de alineación horizontal y vertical.

cuerdas inscriptas en la curva. En estos casos, las pavimentadoras están forzadas a realizar un ajuste del molde en cada cambio de alineamiento que, en ocasiones, pueden producir roturas o desmoronamiento de los bordes en esos movimientos. Para minimizar los defectos producidos por dichos cambios, se acostumbra disminuir la separación entre pines a valores tan bajos como sea necesario. A menor radio de giro, menor es la separación entre soportes. También resulta aconsejable en estos casos atar el cable al soporte mediante un hilo delgado para asegurarse que se mantenga en posición.

Los pines y el hilo guía se colocan desplazados del borde de pavimento, para permitir el paso de las orugas del tren de pavimentación, a una distancia mínima y adecuada para un trabajo cómodo y dentro del alcance de los sensores (Figura 5-25).

Figura 5-24: Esquema de instalación típica de los hilos guía.



La altura de instalación del hilo se adopta arbitrariamente a una diferencia determinada (h) sobre la cota de pavimento terminado y entre 0,6 m y 0,7 m respecto del nivel del terreno, de manera tal que si eventualmente se requiere pasar sobre él, pueda efectuarse con cierto cuidado.

Por otro lado es aconsejable que la cota a la cual se coloca el hilo no sea la de proyecto en el borde del pavimento más la diferencia indicada, sino que la misma sea la proyección de la pendiente transversal del pavimento. Es decir que se calcula el nivel sumando a la cota de proyecto, la diferencia constante adoptada (h), y la diferencia originada por la tangente al perfil en la distancia de desplazamiento (d) de los pines al borde. De esta manera, si se extiende un sedal o tanza entre ambos hilos guía, se puede verificar fácilmente la cota final de pavimento, puesto que la altura (h) será constante en cualquier punto del ancho de pavimentación (Figura 5-26).

Durante la jornada de trabajo, la guía debe ser revisada y verificada frecuentemente delante de la pavimentadora, ya que puede ser necesario retensar el cable por variaciones de temperatura o humedad a lo largo del día. Al igual que los pines, que pueden verse afectados por movimientos originados en la operación, el hilo puede requerir su descenso o descuelgue a intervalos regulares, con el fin de permitir el ingreso de camiones que transportan el hormigón, u otros imponderables.

La utilización de estacas auxiliares (Figura 5-27), clavadas en la línea del hilo, pueden ser de utilidad en estos casos para verificar y/o reposicionar los pines que puedan haber sido afectados, sin la necesidad de requerir la asistencia de los operadores de topografía.

OTROS SISTEMAS DE ALINEAMIENTO Y CONTROL

En la actualidad existen otras alternativas al empleo de hilos guía, que resultan en una reducción de las tareas de topografía. Entre estas nuevas tecnologías se encuentran las guiadas por sistemas láser y las de posicionamiento global satelital (GPS), que no sólo simplifican los trabajos auxiliares para el guiado de las pavimentadoras, sino que además mejoran notablemente la precisión en los niveles o cotas finales.

Figura 5-26: Altura de colocación de la guía (proyección de pendiente).

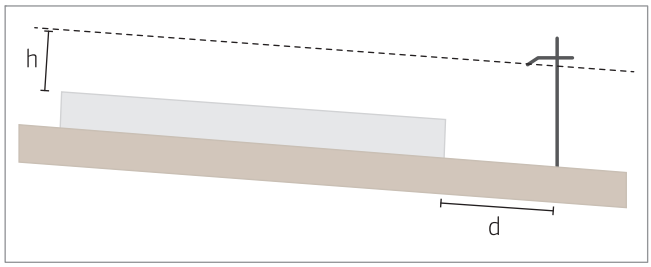


Figura 5-27: Uso de estacas auxiliares.

Elaboración del hormigón

Así como la uniformidad en la operación de una pavimentadora de encofrados deslizantes es esencial para obtener los mejores resultados de calidad, también lo es que el hormigón a colocar sea de características constantes y homogéneas.

La base para obtener un pavimento de hormigón de buena calidad es el diseño, producción y empleo de un hormigón trabajable y uniforme durante toda la obra. En el Capítulo 4 se consideran los principios básicos para el diseño de mezclas; sin embargo, en esta instancia se hace referencia a aquellas cuestiones prácticas que tienen incidencia en la fase de construcción de un pavimento y, por lo tanto, en su calidad final.

Las propiedades del hormigón en estado fresco afectan las operaciones del proceso constructivo, cualquiera sea la metodología y equipamiento utilizados en el mezclado, transporte, colocación y terminación. Es importante remarcar que las características del hormigón deben ser

apropiadas para los medios de transporte y colocación con que se cuenta.

Con pavimentadoras se dispone, en general, de una elevada energía de compactación provista por baterías de vibradores de inmersión de gran rendimiento, de forma tal que las mezclas son correctamente trabajables aún con un contenido menor de mortero que para hormigones empleados con otras tecnologías.

En este sentido se puede indicar que las mezclas son de baja consistencia, en el orden de 2 cm a 4 cm de asentamiento medido en el ensayo del cono de Abrams. Su ajuste depende fundamentalmente de la pavimentadora que se utilice en la colocación, y de las herramientas que se disponen. Los equipos con DBI requieren generalmente mayores asentamientos para producir un cierre adecuado de la superficie, especialmente en la zona de inserción, al igual que las pavimentadoras más livianas, que demandan una mayor fluidez en el hormigón para alcanzar una terminación adecuada.

Se recomienda "trabajar con el mínimo asentamiento del hormigón que permita el equipo de pavimentación disponible", entendiendo por tal aquella consistencia de la mezcla que permita:

- Alcanzar un correcto cierre y terminación de la superficie del pavimento, libre de oquedades u otros defectos, sin que requiera efectuar correcciones manuales o la adición de agua para esta operación.
- Consolidar y rellenar adecuadamente la zona entre pasadores y barras de unión.
- Mantener su forma luego del proceso de extrusión, sin que se generen asentamientos apreciables en los bordes de calzada.
- Obtener el remonte de una adecuada cantidad de mortero en superficie, para la terminación y texturizado del pavimento.

En particular, cuando se construye con encofrados deslizantes, es imprescindible asegurar la uniformidad en las características del hormigón fresco, puesto que esta propiedad tiene una incidencia determinante en la calidad final del pavimento, así como se requiere un suministro contínuo, para evitar detenciones o cambios de velocidad de la pavimentadora. Igualmente se necesita la constancia en las condiciones de la mezcla en estado plástico, en cuanto a su asentamiento, consistencia, trabajabilidad, etc.

Las variaciones en las cualidades del hormigón fresco generan la necesidad de efectuar ajustes y correcciones en la operación de la pavimentadora y/o de sus herramientas, que afectan la calidad de terminación del pavimento y, en especial, la regularidad superficial y los bordes.

La elaboración de hormigón es un proceso industrializado, y como tal, para que el producto final sea homogéneo y de calidad constante, es necesario minimizar la variabilidad del proceso, controlando y efectuando las correcciones necesarias. Ello incluye cada una de las fases del proceso, desde la provisión de las materias primas, su acopio, carga y alimentación, la dosificación precisa de los materiales, y el mezclado uniforme y de calidad adecuada. En la búsqueda de este objetivo, la selección de la planta de hormigón tiene una destacada influencia.

PLANTAS DE HORMIGÓN

Las alternativas de elección del equipo de producción de hormigón se pueden dividir en dos grandes tipos:

- Plantas dosificadoras
- Plantas elaboradoras

En el primer caso (Figura 5-28) la planta sólo efectúa la tarea primaria del proceso de elaboración, que es la dosificación precisa de los materiales intervinientes en la mezcla de hormigón, que luego son introducidos en camiones motohormigoneros (mixers), para efectuar el proceso de mezclado. En tanto las plantas

Figura 5-28: Planta dosificadora.

Figura 5-29: Planta elaboradora - mezcladora.

elaboradoras (Figura 5-29) realizan la totalidad de la elaboración del hormigón, puesto que el sistema se completa con la disposición de mezcladores, que entregan el producto terminado.

Es evidente que la adopción del tipo de planta condiciona el vehículo de transporte al frente de pavimentación, con motohormigoneros como se señaló en la primera opción, o con camiones volcadores, o eventualmente agitadores, cuando se transporta hormigón terminado. La selección del tipo de planta está relacionada con la magnitud y categoría de la obra, las exigencias de calidad, la programación de la producción y aspectos económicos.

Sin embargo en la pavimentación con encofrados deslizantes, y con miras a obtener mezclas uniformes y de calidad sostenida, es recomendable el uso de Plantas Elaboradoras. En primer término porque esta elección permite tener un mayor control sobre las características del hormigón que se elabora, puesto que la planta entrega la mezcla terminada, de tal manera que sólo el operador (plantista), capacitado y entrenado, puede efectuar ajustes en el proporcionamiento de materiales. Esto asegura mayor homogeneidad, sobre todo en el asentamiento, sin mencionar además, que las modificaciones en la producción sólo son dispuestas por el plantista, en función a variaciones en la humedad y/o en los materiales, o por requerimientos del frente de pavimentación, con el cual debe estar en contacto permanente.

A diferencia de esto, el uso de plantas dosificadoras obliga a trabajar con “mezclas en proceso” en camiones mixer, de tal forma tal que siempre existe la posibilidad de realizar cambios en el hormigón, hasta la descarga a pie de pavimentadora. La desventaja de esta posibilidad es que dichos cambios podrían realizarse sin la participación de los responsables de calidad en la producción (plantista/laboratorio), careciendo de esta forma confiabilidad y repetibilidad en todo el proceso.

La utilización de plantas elaboradoras presenta beneficios adicionales, tales como una alta eficiencia en el batido del hormigón, por la mayor aptitud de los mezcladores que éstas poseen, particularmente con estas tecnologías que requieren mezclas “secas”.

Otra ventaja destacada es la alta capacidad de producción que puede alcanzarse con este tipo de plantas, acorde a los elevados rendimientos, típicos de estas metodologías constructivas. Además, la modalidad de transporte en camiones volcadores brinda facilidad y rapidez en la descarga del hormigón en el frente, lo cual permite asegurar la entrega sincronizada de la producción de la planta.

Por el contrario, el empleo de dosificadoras restringe los volúmenes de producción, principalmente por las limitaciones que impone el medio de transporte, por las demoras y dificultades que supone la descarga de los camiones motohormigoneros. Es por ello que, en general, el uso de estas plantas en la construcción con pavimentadoras de encofrados deslizantes, está relegado a obras de menor magnitud (caminos terciarios, pavimentos urbanos, reemplazos y bacheos de losas, etc.).

Ambos tipos de procesos de elaboración de hormigón pueden, a su vez, diferenciarse en plantas fijas o móviles. La elección de una u otra está relacionada con: la extensión del proyecto, la estrategia empresaria, las consideraciones técnicas y económicas que originen la necesidad de efectuar relocalizaciones durante el transcurso de la obra, entre otros factores.

La determinación de la ubicación y montaje de la planta de producción se encuentra influenciada por factores tales como:

- El mantenimiento de distancias y tiempos de transporte adecuados.
- La limitación de las unidades de transporte necesarias (cantidad de camiones).
- La evaluación económica de costos de implantación y montaje, y de gastos de transporte.

La evaluación de cada una de estas variables define la cantidad de estaciones de producción necesarias para la materialización de un proyecto. La distancia máxima de transporte de hormigón es uno de los condicionantes más fuertes, asociada con el tiempo de transporte de la mezcla. La fijación de un valor preciso en cualquiera de ambos parámetros es bastante dificultosa, ya que depende de las características de cada obra en particular. En esto influyen la calidad de los caminos o trayectorias de transporte de hormigón al frente, las interferencias con el tránsito que las utiliza, etc. En cuanto a los tiempos de acarreo, se deben agregar otros factores tales como las condiciones climáticas, las características propias de la mezcla y la pérdida de asentamiento del hormigón.

Otro aspecto destacado en este análisis está relacionado con la logística de transporte de hormigón, por lo cual se trata de limitar el número de camiones que participan en el ciclo de traslado, de manera de minimizar las demoras en el abastecimiento de mezcla a la pavimentadora. Por otra parte, el estudio de costos es un condicionante significativo en la toma de decisión del número necesario de implantaciones. En este sentido se debe efectuar un análisis pormenorizado, por cuanto puede resultar más gravoso el aumento de la distancia media de transporte que el costo de traslado y montaje de los equipos de producción (en especial con plantas móviles).

No obstante lo señalado precedentemente, y la necesidad de evaluar en detalle cada proyecto específico, debe tenerse en cuenta que cuanto mayor es el tiempo de transporte, mayores son las variaciones de asentamiento del hormigón durante esta tarea y, por lo tanto, mayores las dificultades en mantener un abastecimiento de características uniformes. En este sentido, se recomienda que las distancias máximas de transporte estén en el orden de 10 km / 15 km, con tiempos de viaje máximos de 30 / 40 minutos.

Se deben considerar otros aspectos tales como: accesibilidad y condiciones del tránsito, disponibilidad de lotes apropiados, cercanía a fuentes de provisión de agua apta, tratando de evitar zonas urbanizadas. Un análisis detallado de estas cuestiones puede establecer la conveniencia de utilizar una o más implantaciones de los equipos de producción.

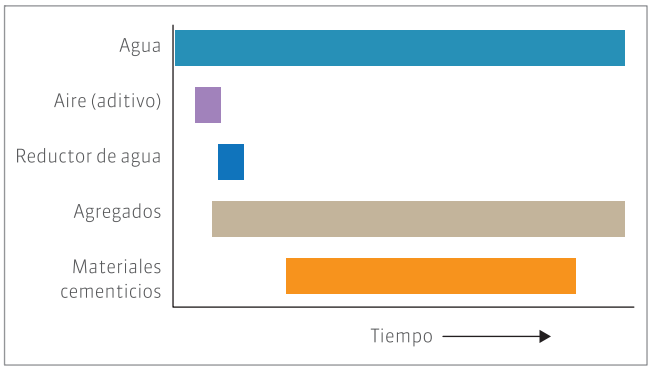
En cualquier caso es imprescindible no sólo una elección acertada de los medios de elaboración de hormigón, a fin de satisfacer las necesidades de producción generadas por el tren de pavimentación, sino también el uso apropiado y el mantenimiento de la confiabilidad en todo el proceso. En el camino de garantizar la uniformidad en las características de la mezcla es indispensable efectuar el ajuste y calibración de todos los dispositivos de control de las plantas, tales como balanzas, caudalímetros, dosificadores y sensores de operación y control.

Si bien en su mayoría estos equipos poseen procesos automatizados de funcionamiento y control, la confiabilidad del proceso industrial sólo podrá alcanzarse si todos los mecanismos y controladores funcionan adecuadamente a lo largo de toda la producción. Ello implica que es necesaria no solamente la calibración y puesta en régimen inicial, sino también controles y ajustes periódicos que garanticen la calidad y uniformidad del hormigón elaborado.

En la etapa productiva debe atenderse adecuadamente diversos aspectos relacionados con el manejo de la operación de los equipos, con especial énfasis en:

- Utilizar pastones de volumen adecuado según la capacidad nominal del tambor mezclador.
- Adoptar secuencias apropiadas de carga de materiales componentes, para alcanzar hormigones bien mezclados y de calidad homogénea. El orden en el que los materiales son introducidos en la mezcladora es importante para asegurar un correcto mezclado, que debe adoptarse en función de los materiales que se empleen (fibras, aditivos, etc.), a fin de cumplir con los requerimientos de producción y calidad.
- Administrar el suministro de aditivos con seguridad y precisión, utilizando tantos dosificadores como productos distintos se incorporen a la mezcla (evitar incompatibilidad).
- Adoptar tiempos de mezclado adecuados para asegurar hormigones uniformes y homogéneos (mínimo 40-45 segundos).

Figura 5-30: Secuencia típica de incorporación de materiales en el mezclador. [FHWA. 2007]



Durante la producción el hormigón puede variar su asentamiento repentinamente, sin que el operador haya introducido modificaciones en la dosificación. Esto puede originarse en variaciones en la granulometría de los áridos, pero principalmente, en la humedad de materiales heterogéneos como son los agregados. Los ajustes por humedad destinados a mantener un asentamiento constante del hormigón merecen un tratamiento especial, y todas las medidas y acciones que se adopten con este motivo son importantes.

Por ese motivo, y con el objeto de mantener un intervalo acotado de oscilación, se suelen dotar a las plantas productoras de hormigón de dispositivos que pueden registrar la humedad de los mismos en las propias tolvas de acopio y pesaje, es decir en el momento previo a su ingreso en el mezclador. Estos sensores o sondas se basan en distintos principios para medir la humedad del material, a través de mecanismos más o menos sofisticados y precisos.

No obstante, muchas plantas poseen amperímetros, elementos muy simples y prácticos que pueden brindar una ayuda invalorable al operador en los ajustes por humedad. Estos miden la corriente que está consumiendo el o los motores del mezclador, de manera que las mezclas más secas demandarán mayor energía (intensidad de corriente), en tanto bajará sensiblemente con hormigones más fluidos. En pocas horas de producción, el plantista encontrará, a través de este dispositivo, un intervalo de consumo que le asegure la entrega de hormigón con el asentamiento requerido. Por otra parte, este sistema de control tiene la ventaja que puede incorporarse y adaptarse a cualquier tipo de planta elaboradora.

Es muy importante además, que el operador de la planta tenga una visión completa del proceso de producción, incluyendo la carga de tolvas receptoras de áridos, cintas de elevación y sistemas de pesaje, mezclador/es, descarga de hormigón; pues resulta de gran ayuda para detectar fallas u omisiones en forma temprana.

Figura 5-31: Tablero de operación.

Abastecimiento y gestión de los materiales

Asegurar la provisión de hormigón en estado fresco, de calidad adecuada y propiedades uniformes, depende no sólo de la selección de equipamientos y prácticas apropiadas en el proceso industrial de producción, sino además de la calidad y homogeneidad de las materias primas.

A fin de atender esta cuestión fundamental en el uso de estas tecnologías de pavimentación, es preciso hacer hincapié en diversos aspectos relacionados con el abastecimiento y gestión de los materiales intervinientes.

ABASTECIMIENTO Y CONTROL DE LOS MATERIALES

Con el objetivo de garantizar las elevadas producciones típicas de las TAR y, a su vez, mantener la uniformidad en las características del hormigón, es necesario implementar una logística de abastecimiento y transporte de insumos acorde con estas premisas.

En primer lugar, se deben evaluar con suficiente anticipación las probables fuentes de provisión de materiales, especialmente de los agregados, de manera de definir su aptitud, y las dosificaciones a utilizar en el proyecto. Esta evaluación no sólo debe contemplar los estudios y ensayos de calidad de los áridos a utilizar, y los correspondientes análisis de costos en canteras y transporte a la obra, sino además, la capacidad de producción potencial de los yacimientos seleccionados, que aseguren el suministro de las cantidades requeridas durante todo el transcurso de la obra.

En ocasiones es recomendable evaluar, como mínimo, dos conjuntos de agregados y cementos de orígenes distintos, de manera de contar con alternativas para satisfacer los altos consumos durante el desarrollo de la obra.

Siempre que sea factible financieramente, es conveniente realizar abundantes acopios de materiales antes del inicio del hormigonado, y tratar de mantener esos niveles de almacenamiento para asegurar la continuidad de la producción.

Una vez definidos los agregados a utilizar, debe implementarse un riguroso sistema de control de recepción en el ingreso al obrador, previo a su descarga y acopio, con la finalidad de mantener la uniformidad en sus características y, por lo tanto, en la calidad y homogeneidad del hormigón producido.

Los materiales de elevada heterogeneidad producen hormigones de acentuada variabilidad, aún cuando se realicen esfuerzos por corregirla en el proceso de elaboración. La única oportunidad de evitar esta situación es realizando una inspección minuciosa y responsable en el momento de la recepción de los agregados. Luego, en producción, y atento a los altos volúmenes horarios que se procesan, cualquier acción correctiva es en vano para evitar pérdidas económicas y retrasos en el avance de la obra.

Esta premisa no implica necesariamente que todo material, cuyas propiedades y granulometrías se aparten ligeramente de un intervalo predeterminado, deba ser rechazado en el control de ingreso. Especialmente si se piensa que, en ocasiones, la disponibilidad de fuentes de agregados puede ser escasa en la zona, o las que hay, son de capacidad limitada.

Lo que resulta sumamente importante es conocer y clasificar estos materiales, si es necesario acopiando en forma separada agregados de la misma fracción con granulometrías diferentes, de tal manera que en el momento de su utilización se puedan efectuar los ajustes necesarios en el proporcionamiento que permitan mantener la uniformidad en la mezcla.

Un control deficiente en el ingreso de materiales al obrador y a los respectivos acopios de las distintas fracciones, puede tener consecuencias muy perjudiciales para la producción de un hormigón uniforme y homogéneo. En algunos casos, esta situación puede demandar operaciones de reprocesamiento de los áridos de alto impacto económico, resintiendo además los niveles de producción de hormigón.

Se deben tener similares reparos con el resto de los materiales, aunque en el caso del cemento y los aditivos,

provenientes de procesos industriales más controlados y certificados, el esfuerzo mayor debe estar enfocado en disponer los medios necesarios para el acopio de cantidades mínimas que garanticen la continuidad de la producción. En particular, es deseable contar con silos de cemento con capacidad suficiente para una jornada de producción promedio. En el caso de los aditivos, debido a su baja incidencia, es habitual almacenar cantidades para largos períodos de trabajo.

El agua de amasado puede provenir de napas subterráneas o de fuentes superficiales. Sin embargo, en cualquiera de ambas situaciones, es aconsejable contar con depósitos de capacidad suficiente en la planta para atender dificultades transitorias que puedan comprometer la producción (problemas de bombeo, insuficiencia de caudal, etc.). Se debe tener en cuenta además, que los consumos son muy elevados, puesto que a las cantidades requeridas para la producción de hormigón se suman habitualmente gastos destinados a agua para riego, humedecimiento de áridos y lavado de camiones de despacho de hormigón.

ALMACENAMIENTO Y CARGA DE LOS MATERIALES

Todo el trabajo y esfuerzo invertidos en el control de recepción de las materias primas del hormigón, de ninguna manera deben ser dilapidados con una gestión deficiente en las tareas de movimiento y acopio de las mismas, de modo especial en los agregados. Con esta finalidad es conveniente adoptar algunos cuidados y prácticas destinados a mantener inalteradas las cualidades de los áridos ingresados.

Entre las principales recomendaciones para la carga y acopio de áridos se pueden citar:

- Preparar pisos de acopio adecuados destinados a evitar pérdidas de materiales por contaminación. Aunque el mejoramiento y estabilización de las superficies a servir para el almacenamiento de agregados pueda parecer una tarea improductiva, la experiencia muestra que se minimizan sustancialmente las mermas por desperdicios y contaminación de materiales comerciales de elevado costo, compensando además, el gasto que ello genera.
- Con el mismo criterio, tratar también los caminos de acceso y acarreo interno de los agregados.
- Resolver apropiadamente los drenajes y escurrimientos de los fondos de acopio para minimizar la contaminación por el movimiento de los equipos de transporte y carga. Esto es válido no sólo en los agregados finos, que suelen ingresar al almacenamiento con altos contenidos de humedad, sino también en los gruesos, que como se verá más adelante, suelen requerir riego y humedecimiento por cuestiones ligadas a su saturación y control de temperatura en verano.
- Efectuar un manejo racional, realizando las sucesivas cargas de material nuevo en capas, manteniendo una baja altura de los depósitos para evitar segregación, separando adecuadamente almacenes de fracciones distintas.

El contenido de humedad de los agregados y la segregación afectan considerablemente la calidad y uniformidad de la mezcla. Por otro lado, si la humedad es menor que la absorción propia del material, es posible que se produzca una pérdida de fluidez del hormigón, debido a la absorción de una fracción del agua de la mezcla por parte de los agregados. Con el objeto de evitar este comportamiento es recomendable el humedecimiento previo de los áridos, mediante el riego de los acopios, en particular de los materiales gruesos. Además, en tiempo caluroso, el riego de los acopios con agua contribuirá a disminuir su temperatura, ya que la evaporación es un

Figura 5-32: Acopio de agregados.

proceso endotérmico que absorbe calor de los agregados, disminuyendo su temperatura y, en consecuencia, la de la mezcla de hormigón.

En cuanto a la entrega de áridos a la planta de dosificación y elaboración de hormigón, se debe contar con equipos de carga suficientes para atender los elevados consumos requeridos por la producción, además de mantener los trabajos de movimiento y acopio de materiales durante la jornada. Se debe poner especial esmero en una explotación adecuada del frente de carga, acometiendo en sectores y profundidades de similares condiciones de humedad y aspecto, lo que requiere experiencia del operador del equipo. Esta práctica redunda en una menor variación en el asentamiento de la mezcla, simplificando la tarea del plantista en pos de lograr uniformidad en la producción.

Si además se implementa el riego de acopios, que como se indicó precedentemente, puede resultar muy beneficioso, se debe cuidar de no variar la carga entre sectores de agregados humedecidos y no, a fin de no generar cambios bruscos en el asentamiento del hormigón.

Figura 5-33: Equipo cargando agregados en la tolva de alimentación.

La experiencia del operador de la cargadora es vital para evitar el ingreso de suelo u otros contaminantes en las tolvas de alimentación. Entre sus tareas pueden mencionarse:

- Manipular los agregados evitando la segregación y manteniendo la granulometría y la humedad uniformes.
- Tener precaución de no cargar material contaminado proveniente de la base o de una mala gestión del acopio.
- Mantener los niveles de las tolvas de los agregados, cargando en concordancia con el ritmo de consumo de cada fracción.

El acopio y manejo de aditivos debe efectuarse respetando las recomendaciones del fabricante, dirigido fundamentalmente a:

- Preservar y mantener las características y propiedades con que se entregan: suelen tener fechas de vencimiento y pueden requerir protección del sol.
- Organizar y disponer los diferentes tipos de productos claramente identificados, a fin de evitar confusiones en la carga a la planta.

Todas las operaciones de abastecimiento, acopio, manipulación y carga de materiales están dirigidas a lograr:

- La continuidad en la producción del hormigón.
- El mantenimiento de la uniformidad de la mezcla.

En la pavimentación con TAR, los consumos y volúmenes de los materiales que se procesan diariamente en la planta de hormigón son muy elevados, de forma tal que también lo es el tránsito que se genera en el obrador por la reposición y manipulación de materias primas, y la entrega de hormigón al frente de trabajo. De ahí la importancia de diagramar adecuadamente los flujos de movimientos internos, que pueden alcanzar frecuencias de varias decenas de viajes por hora, definiendo claramente los caminos de acarreo de los equipos de carga, de ingreso y egreso de camiones y tolvas con materias primas, y de los volcadores afectados al transporte de la mezcla elaborada.

En la medida que esto sea posible, es recomendable separar el tráfico de camiones que trasladan hormigón, del tránsito de abastecimiento general de insumos, estableciendo ingresos separados e independientes al obrador.

Transporte del hormigón

En páginas anteriores se hizo mención a la importancia de mantener una velocidad constante de operación del tren pavimentador, lo que implica producir hormigón

de manera continua y acorde a los consumos requeridos por el frente de colocación. Sin embargo entre una y otra fase constructiva, hay una instancia crucial que es el transporte del hormigón, que debe estar dimensionado adecuadamente para mantener el flujo uniforme entre los dos frentes de trabajo, que deben operar sincronizadamente.

Cumplir con este propósito supone contar con el número de unidades de transporte necesarias para atender la producción de la planta de hormigón, de tal forma que en todo momento haya disponible un camión para la carga, y de igual manera, uno descargando a pie de pavimentadora. Para programar la cantidad de camiones necesarios, como es lógico, se evalúa el tiempo que insume el ciclo completo de la unidad promedio, que incluye la carga en planta, el viaje cargado, la descarga en el frente y el viaje de regreso vacío, a los que deben adicionarse los tiempos de espera en planta y en la descarga detrás de otra unidad, que aseguran la continuidad del ciclo.

La estimación previa de los tiempos del ciclo completo no suele presentar mayores inconvenientes, aunque suele requerir una evaluación más cuidadosa de los tiempos de viaje, en especial si las trayectorias de acarreo incluyen zonas urbanizadas o con probable ocurrencia de congestiones de tránsito que puedan discontinuar la entrega. Deben definirse claramente los recorridos de la planta al frente de pavimentación, implementando desvíos y/o accesos provisorios para la descarga si fuera necesario y evaluar la interacción con el tránsito propio del camino seleccionado.

Figura 5-34: Es importante mantener el buen estado general de los camiones volcadores, utilizados para el transporte de hormigón.

En cualquier caso, siempre es aconsejable agregar unidades adicionales a las requeridas por la estimación previa, para afrontar eventualidades o imprevistos que puedan comprometer el flujo de entrega de hormigón.

El buen estado general de los camiones volcadores o bateas utilizados en el transporte de hormigón es indispensable para asegurar el abastecimiento constante. Deben contar con cajas de capacidad adecuada y en buenas condiciones para evitar la adherencia que impida o demore la descarga en el frente y con un sistema de cierre de compuertas eficiente. Una limpieza periódica y apropiada es esencial para facilitar la entrega de hormigón, en particular es aconsejable el lavado de las cajas, con mayor o menor frecuencia de acuerdo con el equipo y/o las condiciones climáticas. En épocas de altas temperaturas es bastante habitual efectuar el lavado de cajas antes del inicio de cada ciclo de carga.

Descarga de hormigón en el frente

La forma en que se dispone el hormigón en el frente de pavimentación es un factor importante para obtener un pavimento de baja rugosidad. Para trabajos con encofrados deslizantes, la cantidad de hormigón descargada frente a la pavimentadora debe ser controlada, para garantizar la buena calidad de terminación del pavimento.

Con esta finalidad, se deben realizar los mayores esfuerzos para conseguir una descarga controlada del hormigón delante del tren de pavimentación, a fin de obtener una altura de mezcla correcta, acorde con un ingreso compatible con la sección de calzada a extruir. Frente a una altura o cuantía excesiva de hormigón, la pavimentadora se verá sobreexigida, pues se generan presiones muy elevadas en el molde de extrusión, que pueden derivar en resaltos o deformaciones en la su-

perficie del pavimento (elevada rugosidad). Además se incrementan los esfuerzos de tracción en el tren rodante, lo cual también puede resultar en pérdidas de sustentación y maniobrabilidad con el consiguiente perjuicio en la lisura final de la calzada.

Es importante destacar que una pavimentadora, por robusta y pesada que sea, no es una topadora; sino un equipo destinado a realizar tareas de terminación en el pavimento. Por ende, se debe operar en condiciones de máximo control de todas las variables que puedan afectar la calidad final, siendo la uniformidad en la alimentación y la altura de hormigón algunas de las más destacadas.

Por el contrario, una provisión en defecto tendrá como consecuencia el vaciado del molde, con pérdida de presión de extrusión, y la aparición de defectos de llenado y terminación del pavimento.

Figura 5-35: Descarga de hormigón sobre la cancha.

Si la descarga de los camiones volcadores que transportan el hormigón se hace directamente sobre la cancha, se puede obtener una distribución y altura controlada, para lo cual se debe asignar un operador responsable, que guíe las maniobras de depósito. Este debe conocer con precisión el volumen que acarrea cada camión, y la superficie de pavimento que puede cubrir con cada unidad, de manera de efectuar una apreciación correcta de la distancia en la cual debe distribuir la carga. El uso de aditivos incorporadores de aire ayuda y facilita la descarga controlada de la mezcla.

No obstante, siempre pueden ocurrir desajustes en los volúmenes descargados delante de la pavimentadora, por exceso o por defecto, por lo cual es recomendable contar en el frente con algún equipo mecánico para corregir o subsanar estas inconsistencias en la alimentación del tren de pavimentación. Es aconsejable no utilizar este equipamiento (cargadora o excavadora) como único medio para distribuir el hormigón, descuidando por tal motivo el control en la descarga, ya que, en general, esto trae aparejado problemas de contaminación y segregación. Además, puede ocasionar demoras y detenciones de la pavimentadora.

Con el uso de otras alternativas de distribución del hormigón, tales como spreaders o equipos distribuidores, cintas laterales de alimentación o pavimentadoras de menor porte delante del equipo principal, la disposición uniforme y controlada está asegurada si se hace un uso correcto de estos equipos.

Figura 5-36: Descarga controlada de hormigón.

Operaciones de pavimentación

Existen diversos tipos de equipos de pavimentación, pero, en esencia, todos realizan la colocación, compactación y terminación del hormigón mediante un proceso de extrusión por el cual los moldes son forzados a pasar a través de la masa de hormigón que se encuentra estática sobre la cancha.

Para facilitar este procedimiento hay, generalmente, un primer conjunto de elementos que distribuye y empareja la cantidad de hormigón que ingresa al encofrado: tornillo sinfín o cuchilla/pala distribuidora (Figuras 5-37 y 5-38).

En segundo lugar, un sistema de vibradores de alta frecuencia fluidifica la mezcla para que resulte más fácil de moldear y densificar. En muchos equipos puede existir una compuerta que, además de permitir regular el ingreso de mezcla al molde, forma un recinto o cámara de vibrado que aumenta la eficiencia de la vibración y, por lo tanto, posibilita el aumento de la velocidad de pavimentación y las producciones (Figuras 5-39 y 5-40).

Algunos sistemas de pavimentación poseen una barra compactadora, que consiste en una pequeña viga o varilla con movimiento oscilatorio ascendente/descendente, que "apisona" la superficie del hormigón, previo al ingreso al molde. Su función es la de ayudar en la compactación de la mezcla de hormigón, evi-

Figura 5-37: Distribución del hormigón con tornillo sinfín.

Figura 5-38: Distribución del hormigón con tornillo sinfín y pala distribuidora.

Figura 5-39: Con cámara de vibrado (molde cerrado).

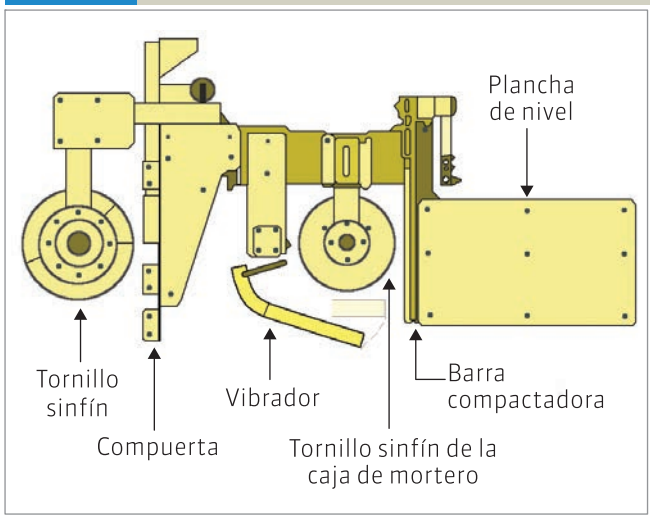
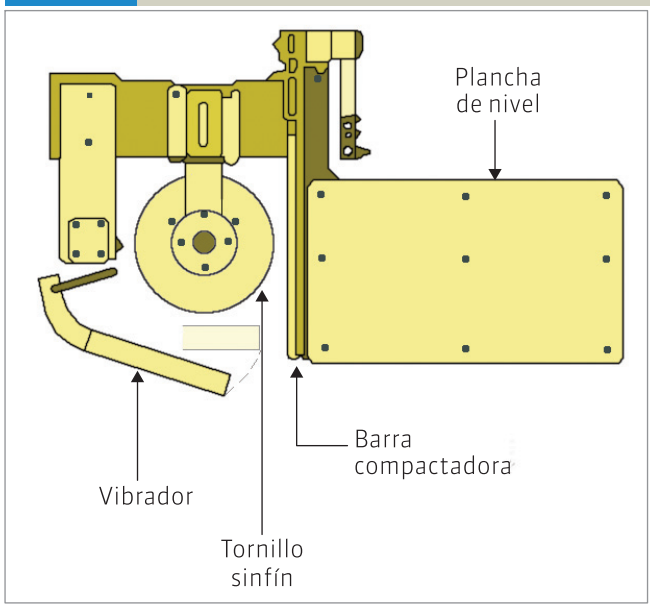
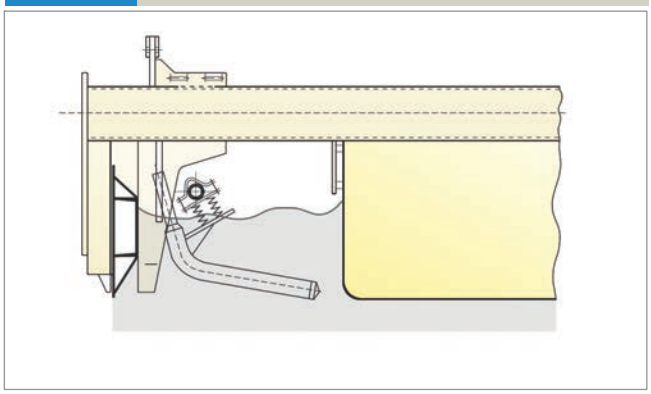


Figura 5-40: Sin cámara de vibrado (molde abierto).



tando que los agregados gruesos queden atrapados en la superficie y generen defectos en la terminación por arrastre de la plancha. Otras pavimentadoras no utilizan este elemento y, en cambio, le imprimen una acometida redondeada al molde o plancha superior de extrusión para facilitar el tratamiento de los áridos de mayor tamaño (Figura 5-41). En cualquier caso, siempre es aconsejable el uso de los diversos elementos de pavimentación de acuerdo con las instrucciones y especificaciones del fabricante de los equipos.

Figura 5-41: Molde con acometida redondeada.



En última instancia, el paso del molde o encofrado a través del hormigón fluidificado, le confiere la geometría definitiva a la sección de pavimento a construir. La presencia de herramientas de inserción automática de armaduras (pasadores o barras de unión), agrega otras funciones y utilidades a las pavimentadoras, descriptas más adelante.

La presión sobre el hormigón en el proceso de extrusión está dada por: el peso del equipo de pavimentación, la potencia y frecuencia de los vibradores, y la diferencia de nivel entre la altura del hormigón en el ingreso al encofrado y la salida del molde. Debe existir estanqueidad en todo el conjunto plancha/bordeadores, para evitar pérdidas de presión y/o de mezcla. Este equilibrio de fuerzas está influenciado además por la consistencia del hormigón, y la velocidad de avance de la pavimentadora.

Si la cantidad de hormigón que alimenta a la pavimentadora varía, el operador se ve obligado a modificar la velocidad de operación del equipo. Si las propiedades plásticas del hormigón cambian (situación no deseable), los primeros ajustes que se pueden realizar son en la frecuencia de los vibradores y, eventualmente, en la velocidad de pavimentación. Lo mismo ocurre si se modifica la altura de hormigón delante del tren, si hay pérdidas en el molde que hagan variar la presión de extrusión, etc. Las variaciones frecuentes y significativas en cualquiera de estos parámetros requieren ajustes frecuentes y por ende, el resultado es un pavimento de superficie poco uniforme y terminaciones de baja calidad.

En los párrafos precedentes se han visto algunas premisas y recomendaciones para garantizar uniformidad en las características del hormigón y en la alimentación de la pavimentadora, con el objetivo de evitar la necesidad de ajustes por variaciones relacionadas con la materia prima de la pavimentación. En adelante se exponen algunos lineamientos relativos a la operación misma de los equipos de pavimentación, que también pueden tener elevada influencia sobre la calidad de los trabajos.

CALIBRACIÓN Y CONTROL DE LA PAVIMENTADORA

Previo al comienzo de los trabajos de colado de hormigón, se debe efectuar una calibración inicial de todos los elementos y componentes de la pavimentadora, verificando los siguientes puntos principales:

- Escuadrar el molde o encofrado deslizante.
- Alinear el molde respecto al eje del pavimento o línea guía de trabajo. El marco o bastidor de pavimentación debe estar paralelo a la línea guía; de otra forma, esta desviación de los moldes laterales producirá roturas y/o defectos de llenado en los bordes del pavimento, aun cuando las orugas del tren estén correctamente alineadas.
- Ajustar el gálibo de la plancha o molde a fin de obtener una superficie de pavimento lisa y uniforme. El encofrado está formado, en general, por una serie de módulos o secciones de moldes de diversas medidas (por ejemplo, 0,25 m - 0,50 m y 1,00 m), que permiten ajustar el ancho de traba-

jo deseado. Sin embargo, la plancha de extrusión debe estar perfectamente rectilínea, para lo cual se deben alinear y ajustar las diversas piezas que la componen, con el auxilio de una regla o tanza.

- Ajustar y calibrar también los bordeadores (moldes laterales). En esta tarea, la limpieza y mantenimiento apropiado son fundamentales para lograr la estanqueidad en la unión plancha – moldes laterales, y por lo tanto, un borde de buena calidad. Ya sea que estén formados por paneles móviles de accionamiento hidráulico o por moldes fijos, una correcta calibración y ajuste de los bordeadores evitará pérdidas de presión y de hormigón, roturas o desmoronamientos, nidos de abeja o terminación deficiente del borde de pavimento.
- Nivelar y posicionar adecuadamente el molde de extrusión, el que debe ser coincidente con la pendiente transversal del pavimento a construir. En sentido longitudinal suele tener un pequeño ángulo de ataque (algunos milímetros), es decir, que la sección de salida es ligeramente menor que la de ingreso, generando una presión adicional de extrusión. Esta disposición puede ayudar en la tarea de lograr una superficie de pavimento bien cerrada, sin oquedades o nidos de abeja. Sin embargo debe cuidarse de no exagerar este ángulo de acometida, por cuanto si las presiones son muy elevadas, el sistema hidráulico del equipo tiende a ceder produciendo sistemáticas elevaciones del perfil longitudinal, perjudicando la rugosidad del pavimento.

Figura 5-42: Calibración del molde y vista de vibradores.

Esta calibración se debe controlar y revisar periódicamente con la frecuencia que se considere adecuada para el tipo y categoría del proyecto. No obstante, deben verificarse diariamente los resultados que produce el tren de pavimentación durante los trabajos de colocación de hormigón fresco, observando la presencia de oquedades, nidos de abeja o dificultades para "cerrar" adecuadamente la superficie del pavimento. La revisión y control en el ajuste de moldes permite descartar un problema de calibración como causante de este defecto, por lo que su origen debe buscarse en otras fases del proceso (mezcla deficiente, vibración insuficiente, etc.).

Tanto en estado fresco como endurecido, se debe controlar el perfil longitudinal y transversal entregado por el molde de la pavimentadora, utilizando una regla de 3 m que permite efectuar un primer control rápido. Si se observan defectos en los alineamientos verificados, atribuibles a una disposición o ajuste incorrectos del encofrado, se debe repetir nuevamente la calibración de todos estos parámetros, hasta eliminar las causas que originan una terminación de baja calidad.

VIBRADORES

Las pavimentadoras están provistas de vibradores internos de inmersión, que cumplen la función de consolidar y densificar la masa de hormigón, y facilitar el proceso de extrusión del pavimento. Los vibradores están montados sobre un barral, delante del molde de pavimentación, y según el equipo, pueden ser de accionamiento hidráulico o eléctrico.

La cantidad y posición de los vibradores depende del ancho de trabajo de pavimentación, de manera de fijar un espaciamiento horizontal acorde a la sección a consolidar, la zona de influencia de los vibradores y la velocidad de pavimentación. Son importantes en este aspecto las recomendaciones del fabricante del equipo y la propia experiencia de la contratista. La zona de influencia de un vibrador, desarrollada en forma cónica alrededor del peso de rotación, es función de la velocidad de pavimentación, las características propias del vibrador y la frecuencia empleada. En general, se ubican a distancias tales que haya un solape adecuado entre áreas de influencia; esta superposición (del orden de 5 cm a 10 cm) se hace para evitar la segregación. Generalmente se posicionan apenas por debajo de la superficie de pavimento terminada (menos de 10 cm), y ligeramente inclinados, pues un ángulo de ataque ayuda en la compactación del hormigón.

Durante las tareas de pavimentación, si se presentan variaciones en la trabajabilidad y consistencia de la mezcla, el operador efectúa ajustes en la frecuencia de vibración y/o en la velocidad de pavimentación a fin de alcanzar una correcta densificación del material, lo que en mayor o menor medida afecta la regularidad final alcanzada. Para evitar estos ajustes durante el proceso de producción es que se remarca, una vez más, la importancia de una alimentación continua y uniforme de hormigón a la pavimentadora.

Es aconsejable en las primeras jornadas de trabajo calibrar la frecuencia de vibración más adecuada para las características de la mezcla y la velocidad de pavimentación (definida por el equipamiento disponible), comprobando los resultados obtenidos, tanto en la terminación superficial como en la conformación y estabilidad de bordes y, en estado endurecido, por observación de testigos calados, verificando la correcta distribución de agregados, la ausencia de vacíos o nidos de abeja y, si es necesario, por la determinación de la densidad.

Aunque depende de los factores mencionados precedentemente, las frecuencias en el entorno de 6.000 vpm a 9.000 vpm (vibraciones por minuto) producen los mejores resultados para las velocidades de pavimentación habituales (entre 1,00 m/min y 1,80 m/min). Frecuencias mayores tienden a producir segregación de los agregados gruesos, mientras que las más bajas no permiten alcanzan una buena densificación del hormigón.

Figura 5-43: Vibradores.

Como se ha visto, los vibradores se encuentran programados a una frecuencia dada, previamente determinada por su aptitud y, si bien el operador puede ajustarla en cualquier momento para mejorar el proceso de extrusión, no es recomendable recurrir a altas frecuencias para corregir mezclas pobres o problemas de calibración de la pavimentadora. En estos casos, se debe abordar el verdadero problema que generan las deficiencias en la terminación y consolidación del hormigón.

Es importante hacer un control diario de funcionamiento de cada uno de los vibradores, verificando la frecuencia de trabajo (con dispositivos de control de fácil acceso) y reemplazar aquéllos que no estén en condiciones adecuadas. Es recomendable efectuar los controles apenas finalizada la operación de pavimentación, cuando aún mantienen la temperatura de régimen (hidráulicos), y asimismo contar con suficientes vibradores de repuesto para atender estas eventualidades.

Las pavimentadoras más modernas permiten contar con sistemas de vibrado inteligente, que pueden monitorear en forma continua la frecuencia de trabajo de cada vibrador, y facilitan al operador del equipo verificar la cuantía y uniformidad a cada instante.

AJUSTE Y POSICIONAMIENTO DE LOS SENSORES

Los sensores de las pavimentadoras, tanto de nivel como de línea, deben ser posicionados y calibrados de acuerdo con las especificaciones del fabricante y a las reglas del arte. La ubicación de los sensores de nivel, generalmente dos a cada lado de la pavimentadora, debe ser tal que la separación entre ellos no sea coincidente con la distancia entre pines, para eliminar la posibilidad de copiar errores por combado del hilo guía.

Con el molde de la pavimentadora posicionado y nivelado a la cota de proyecto del pavimento, y con el alineamiento adecuado, los sensores se ubican de tal manera que los brazos y las varillas estén tan cerca de la horizontal (de nivel), o de la vertical (de línea) como sea posible. Los de línea, en general dos a un solo lado, se colocan a la misma distancia o separación del equipo.

Los sensores permiten además calibrar la sensibilidad de manera de evitar que el equipo efectúe ajustes cuando se producen cambios bruscos o perturbaciones (por ejemplo, cuando el sensor, atraviesa un nudo de empalme).

Colocación de pasadores y barras de unión

La colocación y posicionamiento de pasadores y barras de unión constituyen un tópico importante en la pavimentación con encofrados deslizantes, por lo que estas operaciones implican en términos de rendimientos y calidad final de terminaciones.

Es posible utilizar dos metodologías claramente diferenciadas para la instalación de pasadores y barras de unión, dependiendo de cómo se coloquen:

- Con canastos o armazones, fijados a la base antes del colado del hormigón;
- O mediante inserción en el hormigón fresco, a través de insertores automáticos de armaduras denominados DBI (pasadores) o TBI (barras de unión).

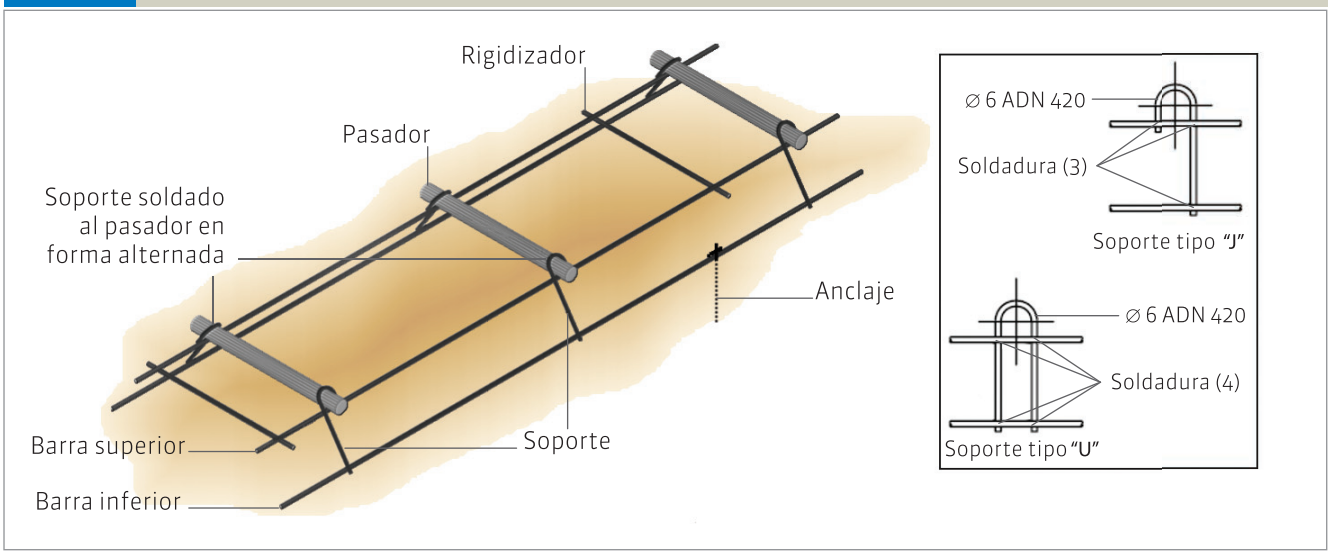
Figura 5-44: Canasto de pasadores.

Cada una de estas metodologías tiene sus beneficios y desventajas y, en cualquier caso, es indispensable respetar las mejores prácticas en el uso de cada una de ellas, considerando que es una tarea muy delicada y de alto impacto, tanto en la construcción del pavimento como en su comportamiento en servicio. En especial en el caso de los pasadores, la correcta alineación, en sentido vertical y horizontal tiene una importancia decisiva, y debe verificarse regularmente, ya que un posicionamiento deficientepuede tener un efecto muy perjudicial en el desempeño del pavimento.

La utilización de canastos requiere de un armazón suficientemente firme y robusto que asegure la indeformabilidad del conjunto ante el paso de la pavimentadora, y las elevadas presiones de extrusión que ésta genera. Por otro lado se deben sujetar firmemente a la base, mediante clavado con ganchos o estacas, para evitar su arrastre o deformación que altere la posición final de los pasadores.

La colocación de los canastos debe realizarse con precisión suficiente a la separación especificada en el proyecto para las juntas transversales de contracción, y en forma perpendicular al eje del pavimento (o pasadores paralelos al eje). Debe verificarse además la horizontalidad de los pasadores, dependiendo del canasto, luego de los trabajos de fijación. No obstante su posición efectiva se debe indicar luego del paso de la pavimen-

Figura 5-45: Esquema de canasto de pasadores.



tadora, mediante alguna marca permanente en la base o en el mismo pavimento, a ambos lados de la calzada. Con estas referencias se procede luego al marcado o impresión en todo el ancho de la junta mediante el deslizamiento de una cuerda o cable que sirve de guía para el aserrado posterior de la junta.

Cuando se trabaja con pavimentadoras de encofrados deslizantes es usual el transporte de hormigón con camiones volcadores, que descargan directamente sobre la cancha. Este hecho impide la colocación previa de los armazones de pasadores en las juntas, pues entorpecerían el tránsito de los camiones. De tal manera, los canastos sólo se pueden posicionar conforme avanza el tren de pavimentación.

Si se consideran las velocidades de pavimentación y las separaciones de juntas habituales, es posible advertir que el tiempo disponible para posicionar correctamente, y asegurar cada canasto son unos pocos minutos (2 min a 4 min). En consecuencia que la probabilidad que ocurran detenciones de la pavimentadora por demoras o contratiempos en la colocación de canastos es bastante elevada, con el consiguiente perjuicio en la producción y en la rugosidad final del pavimento. Esta situación puede evitarse si se utilizan otros dispositivos para la descarga de hormigón frente a la pavimentadora, como spreaders o cintas laterale.

Hay otros efectos no deseados en el uso de canastos con pavimentadoras de encofrados deslizantes, que son bien conocidos y que representan fuentes de rugosidad, tales como los producidos por deficiencias en la densificación en la zona del canasto; las deformaciones u ondulaciones causadas por la recuperación del armazón luego del paso del equipo, cuando desaparece la presión de extrusión; por restricción del hormigón a la salida del molde, entre otras. Una forma de minimizar estos defectos es la colocación del hormigón en la zona del canasto previo al paso de la pavimentadora, mediante un equipo distribuidor o spreader.

Figura 5-46: Detalle de insertor automático de pasadores (DBI).

La otra alternativa de colocación de armaduras, que permite eliminar muchos de estos inconvenientes, es la utilización de los denominados insertores automáticos de pasadores (DBI) y de barras de unión (TBI), que efectúan la inserción de las armaduras en el hormigón fresco, detrás de la salida del molde.

Existen varios tipos de DBI utilizados en las pavimentadoras, con funcionamiento y características diversas de acuerdo con el fabricante. Sin embargo, todos permiten realizar la inserción sin detener el equipo. Con las diferencias señaladas, estos sistemas se acoplan al tren de pavimentación, detrás de la plancha o molde deslizante, avanzando solidariamente con el conjunto. Consisten básicamente en un mecanismo que permite la distribución y posicionamiento de los pasadores en las separaciones previstas (mediante un carro que se desplaza transversalmente), y un conjunto de horquillas o pinzas que efectúan la inserción de las barras en el hormigón fresco.

Figura 5-47: Sistemas insertores automáticos de pasadores (DBI).

En el momento de la inserción, todo el módulo o dispositivo se "desvincula" de la pavimentadora, deteniéndose en la posición de la junta, mientras los pasadores son empujados dentro de la masa del hormigón, hasta la profundidad especificada. El hincado se efectúa con vibración, para minimizar el esfuerzo y mejorar el recubrimiento del pasador con hormigón, y a su vez minimizar los daños que produce la inserción en el hormigón terminado.

Además estos equipos poseen una herramienta destinada a corregir o "cerrar" las improntas o hendiduras producidas por el hincado de los pasadores en el hormigón recién salido del molde de extrusión. Dependiendo del fabricante de la pavimentadora, con este fin se utiliza una viga oscilante o una segunda plancha o molde, acompañada de otro tamper o barra apisonadora, o combinaciones de ambos. La correcta operación de estos mecanismos tiene la particularidad de producir un rollo o excedente de hormigón delante de la viga o tamper, que asegura la reposición de mezcla en los orificios provocados por la inserción.

Entre las principales ventajas de la pavimentación con DBI se pueden citar:

- La ausencia de canastos o trabajos previos delante de la pavimentadora, que facilitan las tareas de descarga del hormigón, eliminando además, las causas que pueden producir detenciones o demoras, permitiendo una velocidad de operación cons-

tante, asegurando mayores producciones y mejor regularidad de los pavimentos.

- Eliminación de los mencionados efectos perjudiciales de las armaduras (canastos), y obtención de una singular economía de acero y mano de obra de fabricación de armazones.
- Agregado de peso y longitud al molde deslizante, contribuyendo a lograr una mejor regularidad superficial en los pavimentos.

No obstante, es necesario efectuar el ajuste y el mantenimiento adecuado de todo el sistema, verificando la alineación del conjunto (horquillas, bandejas, etc.), y regulando el tiempo y su frecuencia de vibración. También se debe controlar periódicamente la eficiencia en el posicionamiento y alineación de los pasadores (Figura 5-48) para evitar posibles problemas de despostillamientos, fisuración y transferencia de carga. Para ello se recomiendan las siguientes tolerancias:

- Traslación: ±25 mm.
- Alineación: 2 % - 3 %.

Figura 5-48: Control de profundidad de colocación del pasador.

Por otra parte, las características del hormigón también tienen un rol importante en el desempeño de estos sistemas: mezclas bien dosificadas con adecuada trabajabilidad, producen buenos resultados, en tanto que mezclas de granulometrías muy abiertas, pueden originar migraciones de las barras dentro de la masa del pavimento. Asimismo, hormigones de asentamientos excesivamente bajos pueden provocar defectos de llenado y posterior aparición de pequeñas fisuras sobre las barras.

Figura 5-49: Posibles problemas asociados a en el posicionamiento y alineación de los pasadores.

Defecto	Despost.	Fisuración	Transf. carga
Traslación Transversal			✗
Traslación Longitudinal			✗
Traslación Vertical	✗		✗
Desalineación Horizontal	✗	✗	✗
Desalineación Vertical	✗	✗	✗

Sea cual fuere el método de colocación utilizado, los pasadores deben estar recubiertos por una capa fina de aceite o cualquier otra sustancia que minimice o impida su adherencia al hormigón, para permitir que las losas del pavimento se muevan independientemente.
Es importante que la película lubricante sea fina y de baja viscosidad, para evitar la formación de vacíos alrededor de la barra, que puedan ocasionar deterioros en servicio (no se recomienda el uso de grasa).
Es imprescindible además, que las barras estén libres de rebabas y desviaciones, que impidan su libre movimiento ante variaciones en la longitud de las losas.

Los sondeos periódicos y tan frecuentes como lo indique la experiencia o la confiabilidad de la metodología adoptada, en relación a la alineación y profundidad de los pasadores, son necesarios para garantizar su posicionamiento correcto. Estos controles se pueden efectuar mediante el retiro del hormigón fresco, exponiendo el pasador detrás del colado del hormigón, o en estado endurecido mediante la extracción de testigos o con ensayos no destructivos (pachómetro o radar GPR).

Se pueden hacer consideraciones similares respecto a la colocación de barras de unión en juntas longitudinales, aún cuando en este caso la alineación no es un aspecto crítico, ya que su función principal es la de anclar losas adyacentes. En la pavimentación con encofrados deslizantes las barras se pueden fijar a la base median-

te el uso de canastos, en forma similar a los pasadores, mediante un doblado que permita que se autosustenten (Figura 5-50), o con insertores automáticos (TBI) en el hormigón fresco.

Estos últimos son de varios tipos, ubicados en el frente de la pavimentadora o en el mismo conjunto del DBI, cuando se construye en un ancho de trabajo tal que incluya una o más juntas longitudinales internas. En la construcción en fajas, por ejemplo en media calzada, se utilizan insertores laterales.

Figura 5-50: Autosustentación de barras de unión.

Terminación del hormigón

La terminación o acabado final del hormigón es una tarea crítica en la construcción de un pavimento, y tiene la misión de corregir irregularidades o defectos manifiestos producidos durante la colocación y compactación. Los trabajos pueden incluir desde un ligero fratasado manual o con herramientas mecánicas, hasta intervenciones más significativas y reparaciones de bordes.

El fratasado consiste en pasar sobre el hormigón un elemento de superficie plana para eliminar los puntos altos y bajos, sumergir las partículas de agregado más gruesas, remover y corregir pequeñas imperfecciones, y presentar mortero en la superficie para el texturizado. El fratasado puede ser manual (Figura 5-51) o mecánico (Figura 5-53), longitudinal o transversal.

Figura 5-51: Fratás manual.

Figura 5-52: Fratás automático.

En el caso que la terminación se realice en forma manual, se debe realizar con una fratás metálico liviano (de aluminio o magnesio) con un largo de hoja mínimo de 1,5 m y con un ancho mínimo de 0,15 m. Resulta aconsejable además que permitan cambiar el ángulo de ataque para avanzar o retroceder en la operación de pasaje transversal a la calzada.

En cualquier caso es importante señalar que la superficie de un pavimento puede quedar con pequeñas imperfecciones o vacíos, sin que esto represente un problema de manera que, en lo posible, debe evitarse un trabajo manual o mecánico excesivo que pueda producir deformaciones en el alineamiento y lisura de la calzada.

Figura 5-53: Fratás automático.

En especial, cuando se trabaja con pavimentadoras, la superficie y bordes entregados por los moldes del equipo tienen una calidad de terminación y lisura difíciles de conseguir por otros métodos. Si el equipo es calibrado y operado correctamente, y la mezcla reúne las propiedades y características de trabajabilidad adecuadas para este tipo de tecnologías, la superficie del hormigón a la salida del molde será perfectamente "cerrada", libre de vacíos y nidos de abeja, y con excelente regularidad superficial y terminación. Así se minimizan las tareas detrás de la plancha de pavimentación, las que se reducen a un fratasado manual o mecánico y al texturizado de la superficie.

El uso de fratás mecánico en pavimentadoras puede corregir imperfecciones e irregularidades marcadas en el hormigón, pues tiene el peso y la presión suficientes para producir modificaciones en la geometría de la sección, aún en una mezcla "seca" como las que se utilizan con estas tecnologías, que resultan muy difíciles de lograr con fratasado manual.

Por estas mismas razones es que se debe hacer un uso adecuado de los fratases automáticos, y deben ser correctamente calibrados y operados. En primer lugar, se debe alinear y nivelar con precisión la guía de desplazamiento de la alisadora, cuya trayectoria debe ser paralela a la plancha de extrusión, y con una elevación ajustada para que el fratás se desplace suavemente sobre la superficie. No obstante esto, la mayor parte de esas herramientas poseen además un sistema de ajuste fino para regular la presión sobre el hormigón.

Permiten asimismo ajustar la velocidad de desplazamiento transversal, la que debe estar en función de la velocidad de operación de la pavimentadora. Es conveniente en este sentido, utilizar un desplazamiento mínimo, de tal forma que la alisadora pase un mínimo de veces por cada punto del hormigón, a fin de evitar deformaciones de la superficie entregada por el molde. Un trabajo de fratasado excesivo además, genera agua y mortero en demasía en la superficie, que puede afectar la lisura y durabilidad del hormigón.

Cuando surgen inconvenientes para cerrar adecuadamente la superficie del hormigón entregada por la pavimentadora, el fratás mecánico sólo puede ser una herramienta útil para resolver una situación puntual, reparando y/o rellenando vacíos y nidos de abeja si se agrega el hormigón necesario para completar esas oquedades. Sin embargo, deben atacarse inmediatamente las causas de un acabado defectuoso, que pueden estar originadas por: una calibración defectuosa de la plancha de extrusión, vaciado del molde, una mezcla mal dosificada o con escasa fluidez para el equipo de colocación, vibración insuficiente o velocidad de avance excesiva, entre otros defectos.

Algunas de estas herramientas admiten variar el ángulo de operación de la hoja alisadora, y por lo general, se ajustan los finales de carrera a unos centímetros antes de los bordes, para evitar desmoronamientos o deformaciones. En algunos equipos, los moldes laterales (bordeadores) se extienden hasta el final de la zona de operación del fratás automático.

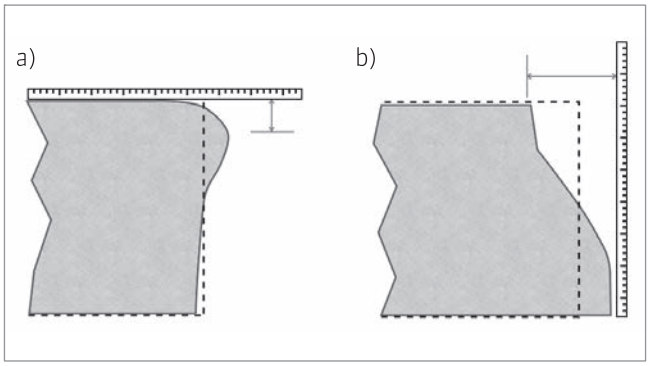
ASENTAMIENTO DE BORDE

El asentamiento de borde es una imperfección típica que puede ocurrir en la pavimentación con encofrados deslizantes, y se produce cuando el hormigón recién colocado y liberado por los bordeadores se deforma

por asentamiento plástico (Figura 5-54). Este fenómeno suele ser más notorio en pavimentos de mayor espesor, pues la masa de hormigón debe mantener su forma en una altura mayor, o en hormigones de elevado asentamiento.

El tipo de asentamiento de borde más común es el que se produce en la esquina superior. El de borde inferior es menos habitual, e indica problemas más serios asociados con el hormigón, generalmente por mezclas de excesiva fluidez, no adecuadas para este tipo de aplicaciones.

Figura 5-54: Asentamiento de borde: a) La parte superior se asienta hacia abajo. b) La parte inferior se deforma hacia el costado.



Los factores que más influyen en el asentamiento de borde son:

- La consistencia del hormigón.
- La compatibilidad entre las características de la mezcla y las técnicas de colocación empleadas.
- Los ajustes y la operación de la pavimentadora.
- La terminación excesiva.
- Las vibraciones externas por tránsito o trabajos cerca de la pavimentadora.

La ocurrencia de un asentamiento de borde frecuente durante la jornada denota problemas en la atención de alguno de los factores mencionados, por lo que será conveniente detener el proceso y tomar las medidas necesarias para corregir este defecto. En tanto, se deben corregir aquellos sectores afectados, mediante la colocación de un molde fijo, agregado de hormigón y fratasado manual. Muchos operadores adoptan la práctica de "levantar" ligeramente la plancha de extrusión en las cercanías de los bordes (algunos milímetros), para compensar la deformación por asentamiento plástico que se producirá en el hormigón. Sin embargo, hay que ser cuidadosos con este procedimiento, ya que una incorrecta estimación puede generar irregularidades en la calzada que dificulten el escurrimiento transversal de agua por la superficie del pavimento.

Hay que agregar que una de las causas más corriente de asentamiento en los bordes es, precisamente, un exceso de celo en las terminaciones manuales, por el cual el personal afectado está permanentemente efectuando correcciones con fratases de mano, aun cuando no sean estrictamente necesarias.

En las juntas longitudinales de construcción, cuando el pavimento se ejecuta en fajas, es conveniente un control más estricto del asentamiento de borde. Cuando se trate de juntas longitudinales extremas (borde libre), se puede aceptar una deformación algo mayor, o la presencia de algunas oquedades o falta de cierre de la esquina, atendiendo a que el trabajo manual para corregirlo suele empeorar la terminación.

PAVIMENTACIÓN CON MOLDES FIJOS

La técnica de pavimentación con encofrados fijos emplea moldes fijados a la base o subrasante para contener y terminar el hormigón. El borde superior del encofrado establece el nivel y alineamiento del pavimento, y además, sirve de apoyo y guía para los equipos de pavimentación. Suele emplearse en proyectos de menor magnitud, tales como calles urbanas, caminos de poco tránsito, sectores de ensanches, empalmes o con geometrías complicadas, de ancho variable o de poca longitud.

Equipamiento

Existe una variada gama de equipos para pavimentación con moldes fijos. Los más sencillos consisten en reglas o cerchas vibratorias (Figura 5-55) que se apoyan sobre los propios encofrados, y se deslizan sobre ellos, en forma manual o ayudados por malacates o dispositivos que facilitan la tarea de arrastre. También se utilizan rodillos vibratorios o terminadoras de tambor (Figura 5-56), autopropulsados o de accionamiento manual. Las terminadoras de rodillos estáticos requieren el uso de vibradores adicionales para la compactación del hormigón.

Figura 5-55: Regla o cercha vibratoria.

Figura 5-56: Terminadoras de rodillos.

Otras técnicas incluyen el empleo de terminadoras que se apoyan en los mismos moldes o en guías exteriores, y que colocan y consolidan el hormigón en un solo paso, compuestas en general por alguno o todos los elementos que se indican: vibrador de inmersión, tornillo sinfín, rodillo alisador y plancha o fratás de terminación. El conjunto descripto se desplaza transversalmente en todo el ancho de pavimentación, completando la compactación y terminación del pavimento.

Estos últimos presentan la alternativa de trabajar con sistema de encofrados deslizantes, sin embargo, sus características y requerimientos de producción se asemejan más a la pavimentación con moldes fijos. Se debe prestar suma atención a la compactación y densificación del hormigón, ya que el uso de encofrados deslizantes requiere mezclas secas, para evitar los asentamientos de borde. Sin embargo, la energía de vibración que disponen habitualmente estos equipos puede no ser suficiente para este tipo de mezclas, de manera que pueden requerir la asistencia de vibradores adicionales delante de la terminadora. Al igual que las pavimentadoras, estos equipos trabajan con hilos guía, de manera que valen las mismas consideraciones que para éstas.

Figura 5-57: Acabadora operando con encofrado deslizante.

De igual forma que se indicó en la pavimentación con encofrados deslizantes, las propiedades y características de la mezcla de hormigón deben adaptarse al medio de colocación. Los intervalos de asentamientos con esta metodología son superiores, del orden de 6 cm a 10 cm generalmente, de manera de lograr una compactación adecuada, y una correcta terminación del hormigón.

Encofrados o moldes

Los encofrados generalmente son de acero, de altura igual al espesor del pavimento, rectos y con una longitud acotada y manejable (generalmente de 3 m). Poseen una base ancha que les provee estabilidad, y un borde superior sólido para soportar los esfuerzos de los equipos. Además poseen una serie de costillas y perforaciones para poder fijarlos mediante barras o clavos a la superficie de apoyo.

Para el encofrado de curvas se pueden emplear moldes rectos, de manera tal que formen un arco de curva mediante cuerdas inscriptas en él. Para curvas de radios muy pequeños, es necesario emplear moldes rígidos de metal curvados del radio adecuado, comunes en pavimentaciones urbanas en ochavas de bocacalles, en las cuales se repite el mismo radio. En obras en las cuales se da esporádicamente un tipo de curva de radio menor, se pueden utilizar moldes flexibles de acero o de madera, fijados con estacas o clavos. Sin embargo, cuando se trabaja con una terminadora que emplea los encofrados como apoyo y guía, hay que asegurar su resistencia y estabilidad.

Los moldes deben estar perfectamente limpios e imprimados con algún producto desmoldante antes de su utilización. Aquéllos que se encuentren deformados, torcidos o rotos deben descartarse. Se deben colocar sobre una superficie firme y nivelada, limpia de material de corte, de piedras o de cualquier otro material que impida conseguir un apoyo uniforme. La cancha debe estar perfilada o cortada con precisión; caso contrario es necesario efectuar rellenos para apoyar los moldes en sectores bajos (poca estabilidad). Si por el contrario la superficie de apoyo está alta, se debe desmontar todo el sector con cotas en exceso.

Figura 5-58: Moldes y canastos posicionados y listos para el colado del hormigón.

Los encofrados se colocan con una nivelación y alineamiento apropiados, puesto que éstos representan la guía sobre la cual se desplazan los equipos de pavimentación, y de la cual dependen la lisura y calidad de terminaciones del pavimento. Una vez colocados y fijados firmemente a la base de apoyo del pavimento, se debe verificar su correcta posición y alineación antes de iniciar las tareas de hormigonado.

Colado y consolidación

Para que las tareas de hormigonado resulten más sencillas es importante que el hormigón se distribuya adecuadamente sobre la cancha frente al equipo de pavimentación. Se debe evitar colocar material en exceso, por encima del nivel de los moldes, para no dificultar y desmejorar las tareas de enrase y terminación que efectúan las reglas o acabadoras. En el otro extremo, si se coloca una cantidad escasa, se producen zonas bajas y mal compactadas en la superficie del hormigón terminado. Siempre es preciso que los equipos arrastren un ligero exceso de mezcla delante de la regla o elemento enrasador, para asegurar una densificación y rugosidad adecuada.

Figura 5-59: Densificación y terminación con cercha vibratoria.

Es preferible que la distribución uniforme del hormigón se realice durante la descarga, en especial en este tipo de metodología en la cual se suelen utilizar camiones moto-hormigoneros. No obstante, es frecuente la necesidad de una distribución o corrección en forma manual. Con esta finalidad nunca deben emplearse los vibradores, ya que pueden producir segregación de la mezcla, reducir la cantidad de aire incorporado y comprometer la durabilidad.

La consolidación de la mezcla en losas con armaduras de refuerzo, es preferible que se efectúe con vibración, externa e interna. En losas sin refuerzos, si bien la consolidación externa que pueden producir las reglas o rodillos vibratorios suele ser suficiente, se recomienda verificar los resultados obtenidos (en testigos calados), para determinar la necesidad del empleo de vibradores adicionales en losas de mayor espesor.

Aún en muchos casos en que se utiliza vibración externa, es conveniente utilizar vibradores de inmersión para la consolidación del hormigón en los bordes de la calzada, es decir, junto al encofrado.

Retiro de los moldes

En la mayoría de los casos, los encofrados pueden ser retirados pasadas las 6 u 8 horas desde la colocación del hormigón, aunque esto depende de las condiciones climáticas y características de la mezcla utilizada. Se debe ser muy cuidadoso con el despegue y retiro de los moldes, para evitar roturas y desprendimientos de bordes, en especial cuando se trabaja en fajas, donde puede haber barras de unión o armadura de espera atravesando los encofrados.

Luego de su retiro, se debe verificar la calidad de la compactación del hormigón colocado para poder efectuar las correcciones que fueren necesarias. Además, en caso de emplear compuestos de curado, se debe efectuar una aplicación de este material en los bordes del pavimento.

TEXTURIZADO DEL HORMIGÓN

Los pavimentos de hormigón deben tener una textura superficial que provea una resistencia al deslizamiento de neumáticos adecuada, para alcanzar niveles de seguridad en el tránsito acordes con el uso y categoría de la vía. La textura tiene influencia además, en los niveles de ruido generado, y en el drenaje superficial de la calzada, y se efectúa generalmente mediante el arrastre o pasaje de algún elemento o herramienta en el hormigón fresco.

Las buenas prácticas de texturizado del hormigón permiten:

- conseguir una adecuada resistencia al deslizamiento,
- conservar un buen drenaje y escurrimiento superficial del agua,
- mantener bajos niveles de ruido,
- no afectar la resistencia al desgaste y durabilidad de la superficie del hormigón.

Existen varias técnicas para generar una textura sobre la superficie del hormigón, que pueden efectuarse con equipamiento mecánico o en forma manual. En la Tabla 5-1 se resumen los métodos más comúnmente utilizados.

Independientemente de la técnica empleada, es importante que la textura se genere en forma pareja, para producir condiciones de fricción y niveles de ruido uniformes. Los factores que más influyen sobre la textura del pavimento, para cualquier método o herramienta usado, son la consistencia y características del hormi-

gón, el momento o tiempo en el cual se aplica, la presión con la que se aplican las herramientas de texturizado, y su limpieza.

Uno de los aspectos más importantes en la elección del método de texturizado radica en observar las exigencias de fricción y de profundidad de textura inherentes al tipo de vía que se trate.
En particular, en arterias donde la velocidad de circulación es baja (< 60 km/h), como por ejemplo en vías urbanas, no existen en general mayores condicionamientos en la elección del método de texturizado ya que por tratarse de bajas velocidades de circulación, el riesgo de hidroplaneo es bajo. Para estas situaciones, el texturizado con rastra de arpillera brinda en general buenos resultados.
En cambio, en el caso de vías donde la velocidad de diseño es superior a 60 km/h, como el caso de rutas, autovías o autopistas, se encuentra recomendado que la profundidad media de textura del pavimento sea igual o superior a 0,8 mm, medida con el método del círculo de arena, y por lo tanto el texturizado con arpillera no resulta adecuado.

Arpillera

El texturizado con rastra de arpillera consiste en el arrastre de una tela de este material sobre la superficie recién terminada del hormigón (Figura 5-60). Produce una textura longitudinal de bajo ruido y coeficiente de fricción moderado, y es de muy fácil implementación.

Cuando se utilizan pavimentadoras, por lo general, la rastra se cuelga directamente del equipo, detrás del molde o las herramientas de terminación, aunque también se puede deslizar en forma manual. Para obtener una textura adecuada con esta técnica es importante mantenerla limpia y húmeda durante toda la jornada de trabajo. Se

Figura 5-60: Texturizado con arpillera.

Tabla 5-1: Métodos de texturizado más comunes.

Método	Fortalezas	Debilidades
Arpillera	De construcción sencilla y automática. Baja generación de ruido.	Fricción inicial moderada y pérdida de fricción temprana. No apta para autovías o autopistas.
Césped sintético	De construcción sencilla y automática. Baja generación de ruido. Alta fricción.	Es crítica la calidad del mortero superficial para un buen desempeño a largo plazo.
Cepillo Longitudinal/ Transversal	De aplicación automática o manual. Baja generación de ruido (longitudinal).	Es crítica la calidad del mortero superficial para un buen desempeño a largo plazo.
Peine Transversal	Fricción alta y durable. Mejora el drenaje superficial.	Elevado ruido. Variable dependiendo del operador, clima, mezcla, etc.
Peine Longitudinal	Elevada fricción y con bajo ruido. Requiere construcción automatizada.	Algunas molestias o problemas de conducción pueden experimentar motociclistas o conductores de vehículos livianos.
Agregado Expuesto	Elevada fricción y con bajo ruido. Bajo ruido a largo plazo y fricción estable.	Requiere métodos y equipos especiales. Elevado costo. Es crítico contar con constructor calificado.

puede usar en uno o varios pliegues, agregarle sobrepesos, e incluso deshilachar su extremo posterior para obtener una profundidad de textura apropiada.

De cualquier manera, con esta metodología suelen alcanzarse profundidades de textura relativamente bajas, de 0,2 mm a 0,5 mm, las cuales dependerán especialmente de las condiciones de ejecución, de la trama de la tela empleada y de las características de la mezcla.

Césped sintético

Una variante similar a la anterior es el arrastre de una carpeta de césped sintético (Figura 5-61), que produce una textura de mayor profundidad, sin aumentar los niveles de sonoridad, y se aplica con las mismas técnicas que la arpillera.

Tiene como ventaja respecto a la anterior que cuenta con un mayor peso y que no requiere que sea mantenida húmeda durante la jornada. Además, pueden incorporarse sobrepesos sobre ella con el objetivo de incrementar la profundidad de textura a alcanzar.

Esta práctica es la habitualmente empleada por el Departamento de Transporte de Minnesota en los Estados Unidos, donde se requiere que el césped sintético a emplear cumpla las siguientes condiciones:

- Largo de pelo: 15 mm - 25 mm.
- Cantidad de pelos: ~77.500 /m^2
- Peso > 2350 g/m^2

Figura 5-61: Texturizado por arrastre de césped sintético.

Cepillado

El cepillado puede efectuarse deslizando en el sentido longitudinal o transversal a la dirección de circulación, un cepillo en forma manual o mecánica, creando pequeñas crestas sobre la superficie del pavimento.

Es una técnica de sencilla implementación, de bajo costo y relativamente silenciosa al tránsito si se aplica en el sentido longitudinal. Empleada en el sentido transversal puede generar un incremento significativo del ruido pavimento - neumático.

Figura 5-62: Texturizado con cepillo.

Peine transversal

Consiste en el arrastre en el sentido transversal de un implemento tipo peine metálico o plástico que genera una serie de surcos sobre la superficie del pavimento que funcionan como pequeños canales, a través de los

Figura 5-63: Texturizado con cepillo.

cuales el agua puede escapar más fácilmente de la huella de contacto entre el pavimento y el neumático, reduciendo de esta manera el potencial de hidroplaneo, el spray y las salpicaduras.

Esta técnica de texturizado es la principalmente empleada en los Estados Unidos para vías de alta velocidad, dado que se considera que es la que en mayor medida permite alcanzar de manera consistente adecuados niveles de fricción con alta durabilidad y a bajo costo.

Sin embargo, se encuentra recomendados distintos patrones a fin de controlar la generación del ruido pavimento – neumático, según se resume en la Tabla 5-2.

Tabla 5-2: Texturizado con peine transversal. [NCHRP Report 634. 2009]

Espaciamiento de pines	- Uniformemente espaciados cada 13 mm, o; - Separaciones variables de 10 a 75 mm (para buen control de aplicación), o; - Separaciones variables de 10 a 50 mm (para menor control de aplicación)
Profundidad del dibujo	- De 1,5 a 3 mm
Ancho de canales	- 3 mm
Orientación del patrón	- Esviado 1:6 con dirección de esviado opuesta al esviado de las juntas.
Texturizado adicional	- Arpillera o césped sintético con anterioridad a la aplicación del peine.

Peine longitudinal

Esta metodología es similar a la anterior, diferenciándose únicamente en que se aplica en el mismo sentido que el de pavimentación.

En general, se caracteriza por ser una solución más silenciosa que el peine transversal. Aun cuando los índices de fricción que se alcanzan con esta metodología resultan algo menores a los que ofrece la alternativa anterior, en general resultan muy satisfactorios. Estos menores valores de fricción se consideran que son debido a la mejor condición de drenaje que brinda el peine transversal para iguales condiciones de pendiente transversal.

Durante mucho tiempo se utilizó la correa o cinta como técnica final de acabado y terminación de los pavimentos de hormigón. Este procedimiento, que consistía en el arrastre con movimientos oscilatorios de la cinta en primera instancia, y el pasaje en forma continua para finalizar la operación, estaba destinado a lograr una terminación final más "lisa". Es importante destacar que esta práctica, que se utilizaba principalmente en pavimentos urbanos, está totalmente desaconsejada porque produce superficies con texturas extremadamente lisas e inseguras, con muy baja resistencia al deslizamiento. Sin mencionar el hecho que una mala técnica de aplicación puede, además, tener consecuencias negativas en la rugosidad del pavimento, por la generación de ondulaciones en el perfil longitudinal.

Además de la reducción del nivel de ruido, otra ventaja que ofrece el peine longitudinal respecto del transversal es que en curvas horizontales esta técnica presenta una mejor resistencia al deslizamiento lateral, permitiendo que los vehículos transiten la curva de manera más segura. Esta ventaja puede resultar en un efecto perjudicial para los conductores de motocicletas u otros vehículos livianos, ya que las estrías longitudinales pueden provocar dificultades en la conducción al guiar la dirección de circulación.

El patrón a aplicar en este caso es uniforme con una separación entre pines de 13 mm, con una profundidad de canales entre 1,5 mm y 3 mm, y ancho de 3 mm.

Al igual que el método anterior, con anterioridad a la aplicación del peine, se debe efectuar un texturizado previo con arpillera o césped sintético.

Agregado expuesto

La técnica del agregado expuesto se ha comenzado a utilizar con éxito, principalmente en obras de pavimen-

tación en países europeos líderes en tecnología de pavimentos rígidos (Austria, Bélgica, Alemania), por sus excelentes características friccionales y su bajo nivel de ruido.

El agregado expuesto se logra quitando una delgada capa de mortero del hormigón superficial, exponiendo agregados gruesos de elevada resistencia al desgaste. La metodología requiere que la ejecución de la calzada se efectúe mediante la técnica de pavimentación en doble capa, aunque hay casos en los que se ha realizado exitosamente en una única capa. La capa superior en general cuenta con un espesor de 40 mm a 70 mm y se construye mediante el empleo de hormigón de elevada resistencia y agregados triturados de menor tamaño máximo y graduación más estricta, de elevada dureza y resistencia a la abrasión.

El proceso de ejecución involucra la aplicación sobre el hormigón fresco de un retardador de fraguado sobre el cual se coloca un film de polietileno en toda la superficie del pavimento que evita la pérdida de agua por evaporación. Luego, una vez que el hormigón de la porción inferior alcanza una resistencia suficiente, se elimina mediante un cepillo mecánico, el mortero superficial que aún no ha fraguado, dejando expuesto el agregado grueso de la porción superior.

Figura 5-64: Agregado Expuesto. [CPTech Center]

Si bien las características de desempeño que se obtienen con esta metodología resultan adecuadas, ésta se caracteriza por incrementar significativamente el costo de construcción, en tanto que además requiere la implementación de metodologías y equipos especiales con personal altamente calificado.

CURADO DEL HORMIGÓN

El curado son aquellas técnicas y procedimientos empleados para mantener las condiciones de humedad y temperatura del hormigón recién colocado, durante un determinado período. Un curado inadecuado, o su ausencia, puede provocar graves deterioros en el hormigón, tales como fisuración por contracción y secado en el hormigón joven, o desarrollo insuficiente de resistencia y menor durabilidad en el largo plazo. Esta tarea resulta particularmente importante en los pavimentos debido a la elevada relación superficie/volumen que presentan.

El tiempo de aplicación del curado es quizás el aspecto más crítico, principalmente para evitar los efectos de la pérdida de humedad y la fisuración a edad temprana. La mayor parte de los métodos de curado tienen el inconveniente que requieren cierta resistencia o la desaparición del agua superficial para su aplicación.

Las membranas químicas de curado formuladas en base a resinas y solventes de rápida evaporación, no solubles en agua, permiten ser aplicadas inmediatamente detrás de las tareas de terminación y texturizado del hormigón, aun con la presencia de agua en la superficie. Aplicadas sobre la superficie del pavimento por aspersión, forman una película protectora en pocos minutos, impidiendo la evaporación del agua de exudación. Por sus características se adhieren a la superficie del hormigón mejorando su acción preventiva.

Este aspecto las hace especialmente aptas en la pavimentación con encofrados deslizantes, con hormigones de muy bajo asentamiento y por ende, más riesgosos desde el punto de vista de la pérdida de humedad. Las

membranas de resinas han mostrado ser las más seguras y confiables con este tipo de tecnologías.

La aplicación debe hacerse, entonces, inmediatamente detrás de las tareas de terminación, en dotaciones mínimas recomendadas por el fabricante (no menos de 200 g/m^2), en forma uniforme en todo el ancho de la sección de pavimento, y en los bordes. Estas membranas suelen tener un pigmento blanco que, además de reducir la ganancia de calor por incidencia de los rayos solares, ayudan en la inspección visual de la uniformidad de aplicación.

Figura 5-65: Tren de curado.

El pulverizado se debe efectuar con equipos mecánicos autopropulsados o de tracción manual, que poseen picos aspersores distribuidos uniformemente en el ancho de pavimentación y bordes, en los que se puede regular la altura de aplicación y la velocidad de traslación. Para garantizar la uniformidad del riego es imprescindible una limpieza frecuente y adecuada de los picos aspersores, o su reemplazo cuando estén obstruidos. El equipamiento debe contar con un sistema de recirculación de la membrana líquida, de manera de evitar la sedimentación y/o separación en los depósitos.

El uso de equipos autopropulsados es conveniente en todos los casos, e imprescindible en los grandes proyectos de pavimentación, quedando los distribuidores remolcados manualmente para obras de menor envergadura. La aplicación con mochilas aspersoras de bombeo mecánico o de accionamiento manual se encuentra restringida a trabajos de menor cuantía o áreas pavimentadas con moldes fijos de anchos variables, siempre que se utilice un puente, o el ancho de trabajo sea tal que se pueda asegurar una distribución homogénea en toda la superficie.

Figura 5-66: Equipo de texturizado y curado.

Resulta siempre recomendable mantener, al menos, una mochila en el frente de pavimentación para emergencias, para su uso ante eventuales fallas en los equipos que se utilicen para la distribución de la membrana.

Figura 5-67: Aplicación de membrana de curado con mochilas.

En la pavimentación con moldes fijos, el curado debe realizarse en dos etapas: una primera etapa en la que el compuesto es aplicado sobre la superficie del hormigón, y a posteriori, sobre las superficies verticales que queden expuestas luego del retiro de los encofrados.

Las láminas o films de plástico suelen emplearse generalmente como un complemento de los compuestos de

curado, para el hormigonado en climas fríos o para proteger al hormigón recién colocado de la lluvia. También pueden ser útiles para retener el calor de hidratación y así aumentar la tasa de ganancia de resistencia, ya que generan una pequeña cámara de aire sobre la losa que actúa como aislante.

Figura 5-68: Membrana de curado formada sobre el pavimento.

Ante eventuales fallas en los equipos que se empleen para la distribución de la membrana, puede utilizarse film de polietileno como curado alternativo. Para ello, una vez finalizadas las tareas de terminación y texturizado, se debe mantener húmeda la superficie del pavimento mediante una fina niebla de agua. Cuando el hormigón haya alcanzado suficiente resistencia, se procede a humedecer hasta que escurra el agua sobre la superficie y se dispone de la membrana de polietileno cubriendo toda la superficie del pavimento. La membrana debe lastrarse convenientemente y conservarse para que durante el período de curado no se separe de la superficie del pavimento.

JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN

Las juntas constructivas son aquéllas que resultan de la unión de dos hormigones colocados en distintos momentos. Las más habituales son las juntas transversales que obligadamente deben ejecutarse en cada final de jornada de pavimentación, o por interrupciones motivadas por una intersección, un puente o estructura.

Juntas transversales de construcción o de fin de jornada

Las juntas de fin de jornada son las más numerosas en cualquier proyecto de pavimentación, y por su metodología constructiva, suelen constituirse en importantes fuentes de rugosidad de los pavimentos; especialmente cuando se construyen con pavimentadoras.

En mayor o menor medida requieren la participación de terminaciones manuales, y por lo tanto, pueden conllevar una desmejora en la lisura y calidad de terminación en el sector involucrado, que luego repercute en las mediciones de rugosidad. De allí la importancia de alcanzar altas producciones por jornada, que no sólo mejoran la regularidad de la construcción, sino que además, minimizan la cantidad de estas uniones.

Las técnicas empleadas para la ejecución de este tipo de juntas dependen del equipamiento empleado, de las herramientas disponibles, entre otros aspectos; aunque en todas igualmente se requiere entrenamiento del personal afectado para alcanzar los mejores resultados.

La mayoría de los procedimientos constructivos apuntan a optimizar las terminaciones en el final de jornada, tratando de eliminar las operaciones manuales. Una losa final bien terminada y sin alteraciones en el perfil, es condición imprescindible para lograr una buena calidad en la junta de construcción. Sin esta condición, en el reinicio del pavimento no se podrán corregir defectos, aun con los mayores esfuerzos.

Una de las técnicas utilizadas, en especial en pavimentadoras con DBI, es aquélla en la cual, en la última junta de la jornada, se insertan tubos metálicos debidamente sellados en sus extremos, en reemplazo de los pasadores, de diámetro interior coincidente (Figuras 5-69 y 5-70). Puesto que los caños tienen una sección exterior mayor que el pasador, la distribución en el DBI se hace generalmente en forma manual, y se acciona la inserción en coincidencia con la última junta prevista.

La pavimentadora entonces continúa con su desplazamiento más allá de la junta, hasta consumir todo el hormigón que hay en el molde, sin ninguna alteración en su recorrido.

Figura 5-69: Tubos metálicos para inserción.

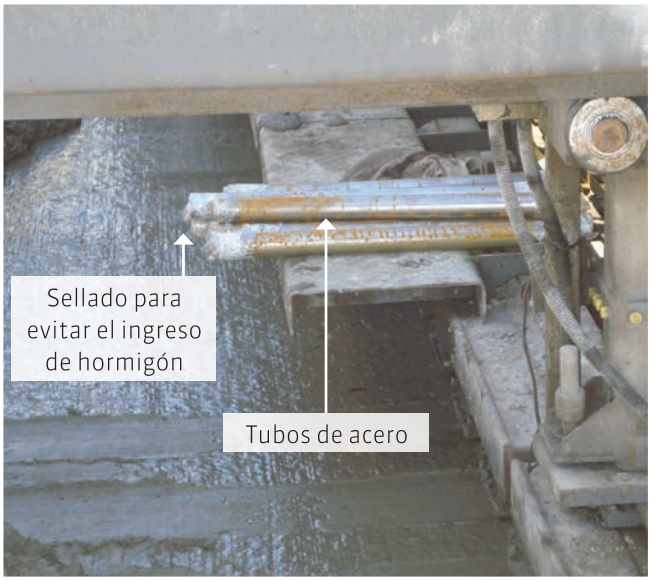
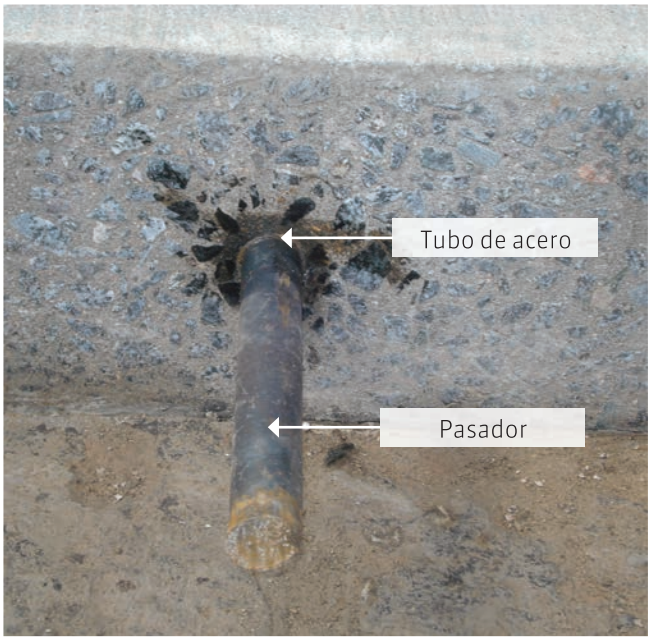


Figura 5-70 Detalle pasador colocado.



Luego de la salida del equipo, se marca con precisión la posición de la junta, y se puede retirar parte del hormigón sobrante, más allá del fin de los caños insertados. Previo al reinicio de la pavimentación, se corta todo el espesor del pavimento (incluidos los caños) con un disco de diámetro adecuado, en coincidencia con el eje de la junta, y se retira el hormigón endurecido sobrante (Figura 5-71), quedando por lo tanto expuestos los caños, en los cuales se insertan los pasadores.

Es importante que los diámetros sean compatibles, para evitar movimientos de los pasadores con el pavimento en servicio, perdiendo eficiencia en la transferencia de carga entre losas, que, con el tiempo, producirá deterioros prematuros. En caso contrario, debe utilizarse un relleno epoxídico para fijarlos en su posición. Además, esta metodología brinda la posibilidad de verificar diariamente el correcto funcionamiento del DBI, puesto que este procedimiento se transforma en una prueba de control de inserción.

Esta metodología se puede aplicar también cuando se utilizan canastos de pasadores, con o sin pavimentadoras, reemplazando en el último armazón los pasadores, por caños.

Figura 5-71: Aserrado en todo el espesor.

Otra alternativa de uso recomendado es la del cajón metálico. Se trata de una caja metálica, con una altura levemente inferior al espesor de la losa, y provista de ranuras en coincidencia con los pasadores. El cajón se coloca sobre el último canasto, dejando libre la mitad de la longitud de los pasadores que va a permanecer inmersa

en el hormigón; mientras que la otra mitad queda dentro del cajón, sólo con un pequeño espesor de mezcla en la parte superior. La pavimentadora pasa por sobre el cajón, completando la jornada y el hormigón dentro del molde, al igual que en la técnica anterior.

Previo al reinicio del hormigonado, se aserra el espesor remanente de hormigón sobre el cajón, con una amoladora o herramienta de mano, y se lo retira, quedando libre la mitad de los pasadores, lista para comenzar la pavimentación. Este cajón metálico debe ser de rigidez suficiente para soportar la presión de extrusión de la pavimentadora, por lo que es conveniente que sea suficientemente reforzado. De todas maneras, como este elemento es reutilizable, cuanto más resistente, mayor cantidad de usos va a permitir.

Figura 5-72: Cajón metálico para junta de construcción.

Figura 5-73 Cajón colocado en final de jornada.

La técnica tradicional utiliza un molde que se coloca en coincidencia con el fin de la pavimentación, con perforaciones para colocar los pasadores en el hormigón fresco. Con pavimentadoras, esto requiere pasar el eje de la última junta, luego marcarla y retirar el hormigón sobrante para instalar el molde. Demanda una precisa y controlada tarea de topografía en el posicionamiento del encofrado, ya que se utiliza para enrasar el hormigón; lo mismo respecto a dispositivos para colocar y fijar los pasadores insertos en la losa.

Figura 5-74: Junta de construcción. Técnica tradicional.

Con cualquiera de las prácticas indicadas, el reinicio de hormigón requiere entrenamiento y esfuerzo para lograr buenos resultados de nivelación y lisura. Cuando se trabaja con encofrados deslizantes, es aún más delicada la tarea porque la pavimentadora en la junta de inicio se posiciona sobre la última losa ejecutada, con la plancha unos centímetros por encima del nivel. El equipo avanza con esta altura hasta completar el paso de todo el largo del molde, y recién allí se coloca en la cota definitiva, en nivelación automática, de forma que es bastante habitual que los primeros centímetros de pavimento estén algo por encima de la cota de proyecto, por lo cual hay que enrasar y retirar el hormigón sobrante, con el auxilio de una regla de longitud adecuada.

Las tareas finales de terminación requieren un fratasado de la superficie para corregir y emprolijar los sectores

enrasados, tanto en finales como en inicios de pavimentación. Los equipos de encofrados deslizantes provistos de fratases automáticos resultan de gran ayuda en estos casos, porque estas herramientas de peso suficiente, permiten corregir adecuadamente la alineación y lisura final del pavimento.

Juntas longitudinales de construcción o ensambladas

Este tipo de juntas se ejecutan cuando la calzada se construye en distintas etapas o por fajas. Debido a que son juntas moldeadas, no se cuenta con el mecanismo de transferencia por trabazón entre agregados, por lo cual usualmente se ejecutan machihembradas.

Para la ejecución de este tipo de juntas deberán extremarse los recaudos en la terminación del pavimento en la zona de bordes, de manera de compatibilizar adecuadamente la nivelación de las fajas contiguas entre sí.

Mediante las Figuras 5-75 a la 5-78 se representa la secuencia de ejecución de una junta de construcción longitudinal.

Según se muestra en las fotografías, el primer paso consiste en ejecutar la primera faja de pavimento logrando un borde perfectamente definido, sin deformaciones y caídas en coincidencia con la futura junta longitudinal de construcción. En este caso, cuando se emplean equipos de encofrado deslizante, el operario encargado de la terminación del borde de pavimento debe extremar los recaudos para lograr una adecuada terminación sin deformar la superficie del pavimento.

Luego, se procede a la ejecución de la faja contigua, para la cual nuevamente debe haber un operario responsable de realizar la terminación en ese sector del pavimento. De esta manera, la primer tarea que se realiza, luego de la colocación de la segunda faja, es la de compatibilizar adecuadamente la nivelación de ambas superficies. En este caso, si la primera faja presenta alguna deformación, en la terminación de la segunda colada, debe copiarse también esa deformación, ya que no es posible efectuar correcciones en la faja ya ejecutada montando hormigón nuevo sobre el existente que presenta deformaciones.

Figura 5-75: Junta de construcción longitudinal. 1° Paso

Figura 5-76: Junta de construcción longitudinal. 2° Paso

Figura 5-77: Junta de construcción longitudinal. 3° Paso

Periódicamente se corrobora mediante una regla de aluminio de 1 metro de longitud que la nueva faja ejecutada presenta un borde adecuadamente terminado sin deformaciones en la zona de borde.

Finalmente, se procede a la limpieza del mortero que ha quedado depositado sobre la superficie de la faja anterior mediante un pequeño cepillo de alambre, para mejorar el aspecto estético de la junta, y además porque este material se encuentra pobremente adherido a la superficie de la faja contigua, por lo que es de esperar que se desprenda durante los primeros días desde su puesta en servicio.

Para que una junta de construcción se encuentre adecuadamente terminada, la totalidad de las imperfecciones que se produzcan durante la ejecución deben encontrarse reducidas al tamaño de la caja de sello y, por lo tanto, son corregidas cuando se realice el aserrado secundario de la junta. Se destaca que en este caso, por tratarse de una junta conformada durante la construcción, no se debe ejecutar el aserrado primario.

Figura 5-78: Junta de construcción longitudinal. 4° Paso.

Un aspecto importante también en la pavimentación por fajas es el control de las fisuras por simpatía. Estas fisuras aparecen cuando se ejecuta una faja vinculada a una ya existente, en donde existe un mayor riesgo de que las juntas de la faja anterior provoquen la manifestación de fisuras por reflexión en la nueva faja durante las primeras horas de vida del hormigón.

Para minimizar el riesgo de aparición de fisuras por simpatía en juntas longitudinales de construcción, se recomienda la aplicación de un trozo de film de polietileno de 50 cm de largo aproximadamente, sobre el borde del pavimento de la faja anterior y en coincidencia con las juntas transversales. Para evitar que el film se desplace durante la ejecución, se debe encontrar convenientemente lastrado o adherido, mediante la aplicación previa de grasa o asfalto.

Figura 5-79: Aplicación de film de polietileno para evitar fisuras por simpatía.

ASERRADO Y SELLADO DE JUNTAS

En el Capítulo 3 "Juntas" se han visto los fundamentos y la necesidad de introducir en los pavimentos de hormigón, un sistema de juntas de contracción para controlar la ubicación de las fisuras que se espera se produzcan, y de esta manera resulte más fácil su sellado y mantenimiento.

Las juntas de contracción son iniciadas con un corte o aserrado parcial del espesor de pavimento, con el objetivo de generar un debilitamiento de la sección en el cual se produzca o propague la fisura en forma controlada, desde el corte hasta la base de la losa. El sellado posterior tiene la función de minimizar el ingreso de agua a la estructura del pavimento, y evitar el ingreso de materiales incompresibles que puedan originar deterioros.

La metodología recomendada para la formación de las juntas de contracción es el aserrado del hormigón endurecido, cuando éste alcance la resistencia nece-

saria para soportar el equipo de corte, y que no se produzcan desprendimientos de agregados durante esta tarea. La utilización de insertos (vainas metálicas o de fibras) para generar las juntas no es una técnica adecuada, porque tiene un alto impacto en la lisura del pavimento (por retiro de la vaina), o porque produce despostillamientos y roturas en las juntas (con insertos perdidos).

El aserrado primario, o de control de fisuración, se efectúa con máquinas provistas con discos de corte diamantados (Figuras 5-80 y 5-81). La profundidad mínima del corte es de un tercio del espesor del pavimento (con bases granulares se puede reducir a un cuarto).

La ubicación de las juntas debe ser identificada en forma precisa, principalmente en los pavimentos con pasadores, para que funcionen correctamente. Los puntos, marcas o líneas de control se hacen en el hormigón fresco, y servirán de guía a los operadores de las aserradoras (Figura 5-82). Para el aserrado de juntas longitudinales es habitual utilizar dispositivos guía, arrastrados por las propias aserradoras autopropulsadas que gobiernan la dirección de la máquina mediante un sistema de ruedas y amortiguadores, que se deslizan por el borde del pavimento (Figura 5-83).

En obras de menor magnitud, en especial con moldes fijos, el marcado de las juntas longitudinales se puede

Figura 5-80: Equipo de aserrado.

Figura 5-81: Disco de corte.

Figura 5-82: Marcado de junta transversal para el posterior aserrado.

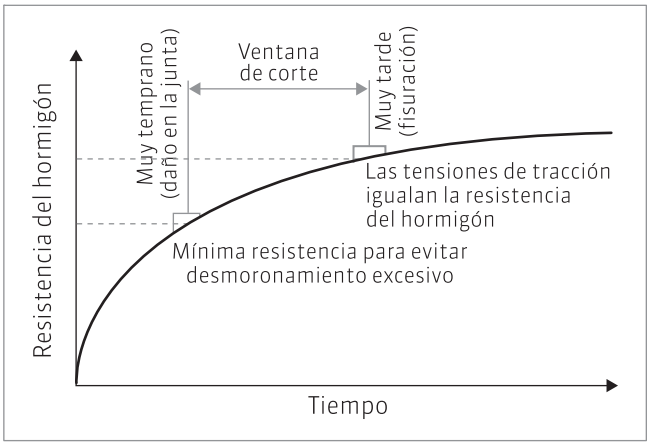
Figura 5-83: Guia para aserrado de junta longitudinal.

realizar en el hormigón endurecido mediante el uso de cuerdas o cordones embebidos en tiza, aunque solo la destreza y experiencia del aserrador pueden asegurar un alineamiento correcto de la junta.

Ventana de corte

El momento apropiado para el aserrado del hormigón es un parámetro difícil de determinar, y se requiere de la experiencia y responsabilidad de los operadores para garantizar buenos resultados. Existe un intervalo de tiempo, posterior a la colocación del hormigón, en el cual se debe realizar el aserrado de las juntas para evitar que se produzcan fisuras.

Figura 5-84 Ventana de corte. [ACPA TB016P. 2002]



Este intervalo, conocido como ventana de corte (o de aserrado), se inicia cuando la resistencia del hormigón es tal, que permite el corte de la junta sin que se produzcan daños ni desprendimientos de agregados a lo largo del corte. El fin del período ocurre cuando las tensiones provocadas por la restricción de la base superan la resistencia del hormigón, y se produce la fisuración del pavimento.

En la Figura 5-85 se puede apreciar el aspecto de aserrados efectuados en diversas etapas de maduración del hormigón, y sus consecuencias en la calidad del corte. Un aserrado tardío, más allá de la ventana de oportunidad, tiene como resultado la aparición de una fisura incontrolada en todo el ancho y espesor de la losa.

Los principales factores que influyen en el inicio y duración de la ventana de corte son:

- Características de la mezcla (resistencia, módulo de elasticidad, coeficiente de expansión térmica, etc.).
- Condiciones ambientales (época y horario de construcción, caídas bruscas de temperatura, o lluvia, asoleamiento, viento y humedad, etc.).
- Condiciones de la superficie de apoyo (rigidez, terminación superficial, permeabilidad, ruptores de adherencia, etc.).
- Protección y curado del hormigón (materiales y dosis adecuadas, inicio del curado, medidas especiales, etc.).
- Colocación y posicionamiento de pasadores (corte preciso, libre de rebabas, alineación apropiada, densificación en zona de canastos, etc.)

Es evidente que la determinación precisa de los tiempos de inicio y fin de la ventana de aserrado es bastante engorrosa, en especial si se debe evaluar diariamente y en condiciones de obra.

El aserrado de control se debe iniciar apenas el hormigón permita ser cortado sin desprendimiento de agregados ni roturas". Esto significa que el personal a cargo de esta tarea debe encontrarse disponible para la ejecución de esta tarea en el preciso instante que el hormigón adquiere la resistencia necesaria, sin que se produzcan demoras ni interrupciones.

Figura 5-85: Distintos grado de daño debido al aserrado de juntas. [ACPA TB016P. 2002]

a. Sin daño - aserrado dentro de la ventana.

b. Daño moderado - aserrado al inicio de la ventana.

c. Daño inaceptable - aserrado muy temprano.

En otras palabras, la determinación del momento oportuno para comenzar el aserrado de juntas está basada en un ensayo de prueba y error. Cuando el hormigón comienza a ganar resistencia suficiente (puede ser transitado), se realiza un aserrado tentativo con el disco y se observa la calidad del corte, que debe ser sano y sin desprendimientos de áridos. Si no es así, se espera un tiempo más, y se repite el intento; hasta que se obtenga un corte de buena calidad.

Este procedimiento que parece bastante rudimentario, en realidad se lleva a cabo sólo en las primeras experiencias, por cuanto un operador responsable y entrenado, realiza paralelamente pruebas de rayado de la superficie, con una herramienta metálica o una piedra, observando el efecto que produce en la superficie del hormigón. Este ensayo práctico le servirá en las jornadas futuras como guía o señal para iniciar el aserrado en el momento adecuado.

El comienzo del aserrado tan pronto el hormigón lo permita conlleva además la implementación de las medidas necesarias para cumplir esta premisa. Esto significa que se debe:

- Disponer de las cuadrillas de aserrado las 24 horas, es decir que tienen la responsabilidad de estar pendientes del momento preciso, a cualquier hora del día.
- Contar con la cantidad de aserradoras suficientes para acompañar las producciones previstas.
- Adoptar secuencias apropiadas de aserrado.
- Contar con equipos y metodologías de contingencia, para atender imprevistos.

Con pavimentadoras es habitual el uso de tres aserradoras: dos que cortan juntas transversales y la tercera que efectúa la longitudinal. Además es aconsejable disponer, como mínimo, de un equipo adicional de reserva.

La secuencia recomendada de aserrado es la que se corresponde con el orden de aparición de las fisuras en un pavimento, es decir iniciar con las juntas transversales, y finalizar con la longitudinal. Con altas producciones el corte de las transversales se hace con dos aserradoras, la primera de ellas efectúa una junta por medio, y la otra completa las intermedias; pero ambas trabajando simultáneamente, sin demoras ni interrupciones (Figura 5-86). Excepcionalmente, ante una eventualidad que no pueda solucionarse de otra manera, se puede implementar el aserrado alternado cada dos o tres juntas, al menos con el objetivo de reducir tensiones, sólo como medida de contingencia, pues no existirá la certeza de evitar la fisuración incontrolada.

En todos los casos, luego del aserrado, se recomienda lavar la junta para eliminar el barro producido y volver a aplicar la membrana de curado en la zona afectada.

Figura 5-86: Dos aserradoras trabajando simultáneamente a juntas alternadas.

Sellado de juntas

El objetivo del sellado es minimizar la infiltración de agua superficial y de materiales incompresibles en la estructura del pavimento. El exceso de agua puede contribuir al ablandamiento, erosión y bombeo de las capas subyacentes a la losa de hormigón, resultando en una pérdida de soporte estructural, asentamiento y/o escalonamiento. En tanto el ingreso de incompresibles en las juntas puede ser causa de descascaramientos, despostillamientos y hasta roturas más graves de las losas por levantamiento (blow up).

Para garantizar el buen funcionamiento durante la vida en servicio del pavimento, es imprescindible un co-

rrecto sellado de las juntas con materiales y métodos de aplicación que aseguren un buen desempeño bajo cualquier condición climática, y una larga vida útil.

A.- SELECCIÓN DEL MATERIAL

La selección del material de sellado adecuado para el proyecto es el primer paso imprescindible para garantizar el éxito en el comportamiento de la estructura. Existen en el mercado una amplia variedad de materiales para el sellado de juntas en pavimentos de hormigón. Básicamente se pueden clasificar en dos grandes grupos: selladores líquidos y preformados. El éxito de los primeros está asociado con la adherencia a largo plazo en las paredes de la junta, y el de los preformados de la selección adecuada del tamaño, para asegurar su funcionamiento (compresión) a largo plazo. En la Tabla 5-3 se muestran las principales características y especificaciones de los selladores más comunes, tomada del Reporte ACI 504 – 1997 (American Concrete Institute).

Las propiedades más importantes que debe reunir un sellador, para que tenga un buen desempeño a largo plazo, dependen de su aplicación específica y de las condiciones climáticas durante la instalación, pero básicamente se deben considerar:

- **Elasticidad**: es la capacidad de un sellador de volver a su forma original luego de ser comprimido o estirado.
- **Módulo**: relacionado con el cambio en las tensiones internas del material mientras se está estirando o comprimiendo, para un intervalo de temperaturas (rigidez del material). Es el esfuerzo necesario para producir una deformación preestablecida.
- **Adherencia**: la aptitud del sellador para adherirse al hormigón, tanto inicialmente como a largo plazo (no aplicable a sellos preformados que se aplican comprimidos).
- **Cohesión**: capacidad del material de sello para resistir el desgarramiento causado por la tracción (no aplicable a preformados que trabajan comprimidos).
- **Resistencia al intemperismo**: aptitud del sellador para resistir el deterioro cuando está expuesto a los elementos ambientales (principalmente rayos UV y ozono).

Por su forma de instalación, los diferentes tipos de selladores se pueden clasificar en:

Selladores de aplicación en caliente

Los selladores de aplicación en caliente son los primeros utilizados en juntas de pavimento, han evolucionado durante muchos años de investigación y desarrollo. Actualmente se producen materiales de módulos bajos y con mejor elasticidad. Típicamente tienen una vida útil de 3 a 5 años con una correcta instalación, según reportes de American Concrete Pavement Association [ACPA TB012P. 1995]. No es inusual en este tipo de selladores la falla por pérdidas de cohesión.

Requieren generalmente de elevadas temperaturas de colocación (175 °C -200 °C), y de cordones de respaldo aptos para resistir estas temperaturas (poliuretano), que elevan sus costos de instalación. Es sumamente importante respetar las temperaturas de colocación recomendadas por el fabricante para mantener las propiedades del material.

Selladores de aplicación en frío

Los selladores de aplicación en frío, termoplásticos, contienen solventes, y excepcionalmente se presentan en emulsión. La liberación del solvente o agua pueden causar contracciones del material o incremento de la rigidez, resultando en una disminución de los movimientos admisibles en la junta y en su serviciabilidad. Estos selladores en general están restringidos a usos donde las juntas tienen escaso movimiento.

Selladores de curado químico

Se encuentran dentro del grupo de los selladores de aplicación en frío y se presentan en uno o dos componentes. El curado se basa en reacciones químicas para pasar del estado sólido, al ser expuesto a la atmósfera. Por sus propiedades son altamente indicados para el sellado de juntas en pavimentos, por sus resistencias al intemperismo, su elasticidad y recuperación, y sus bajos módulos de deformación. En este tipo de selladores se encuentran las siliconas de bajo módulo, cuya expectativa de vida excede los 8 a 10 años [ACPA TB012P. 1995].

Tabla 5-3: Principales características y especificaciones de los selladores más usuales. [ACI 504-90. Reaprobado 1997]

Grupo	Líquidos					Preformados
Tipo	Mastic	Aplic. en caliente	Aplic. en frío	Curado químico	Base solventes	Sellos de compresión
Composición	Asfaltos bajo punto ablandamiento. Polibutenos Polyisobutileno Se utilizan con filler, algunos pueden contener solventes	Asfaltos Caucho asfalto Alquitrán de hulla (1) Alquitrán de hulla, PVC Todos contienen 100 % de sólidos	Caucho asfalto Acrílicos Vinilo Todos contienen solventes, algunos pueden ser emulsionados	(2) Polisulfuros (3) Poliuretanos Combinac. de ambos c/ alquitrán de hulla (4) Siliconas (5) Epoxi Pueden ser de uno o dos componentes	Neopreno Clorosulfona-tados Butadieno estireno	Caucho neopreno
Resistencia a envejecimiento e intemperismo	Baja	Moderada (Alquitrán hulla PVC (1): alta resist. intemperismo)	Moderada	Alta	Alta	Alta
Incremento dureza en relación a: (1) edad	Alta	Alta a moderada (exc. (1): no endurece)	Alta	Moderada (exc. (5): Alta)	Alta	Baja
(2) baja temper.	Alta	Alta a moderada (exc.(1): no endurece)	Alta	Baja	Alta	Baja
Recuperación	Baja	Moderada (exc.(1): Alta)	Baja	(2) Moderada (3) y (4) Alta (5) Baja	Baja	Alta
Resist. intrusión sólidos	Baja	Baja a altas temp.	Baja a altas temp. (1) Alta	Alta	Baja	Alta
Módulo a 100 % elongación	No aplicable	Bajo	Bajo	Bajo (4) Bajo a alto (5) no aplicable	Moderado	
Capacidad de deformación	± 3 %	± 5 % (1) ± 25 % extensión	± 7 %	± 25 % exc. (5) menor (4) hasta ± 100 %	± 7 %	Debe estar comprimido siempre hasta 45-85 % ancho original

Es importante señalar además que en un pavimento en servicio, los selladores están sujetos no sólo a esfuerzos horizontales, sino también a fuerzas cortantes verticales. Esto ocurre cada vez que pase un vehículo pesado, cuando existen cavidades debajo de las losas en la zona de juntas. Esto explica que algunos selladores que cumplen con las especificaciones en cuanto a elongaciones máximas, en la práctica su comportamiento no resulte satisfactorio.

Los selladores de siliconas de bajo módulo son especialmente indicados para climas con elevada amplitud térmica (temperaturas diurnas y nocturnas). En este tipo de selladores es crucial la correcta limpieza, microtexturizado y secado de las paredes de la caja, para garantizar la adherencia del material.

Selladores preformados

Los selladores preformados se entregan listos para su instalación, no necesitan calentarse, mezclarse y/o curarse en el camino. A diferencia de los selladores líquidos, éstos trabajan únicamente a compresión, durante toda su vida útil, por lo que su éxito depende no sólo de las propiedades elastoméricas, sino también de la adecuada selección de su tamaño. Las experiencias de la ACPA indican que estos selladores pueden proveer servicio eficiente durante períodos de 15 a 20 años [ACPA TB012P. 1995].

Para la selección del material de sellado de juntas debe considerarse no sólo la calidad de los diversos materiales, que deben cumplir con los criterios enunciados precedentemente, sino que en la evaluación de costos de los distintos selladores debe ponderarse, la necesidad de resellados en el futuro durante la vida útil del pavimento.

El envejecimiento de los selladores y la necesidad de resellados frecuentes pueden producir importantes variaciones en el costo final del Proyecto, o una considerable reducción de la vida útil de la estructura, si no se cumple rigurosamente con el plan de conservación y mantenimiento necesario.

B.- DISEÑO Y EJECUCIÓN DEL RESERVORIO

Una acertada elección del material de sellado de juntas a utilizar debe estar acompañada por una correcta aplicación del sellador seleccionado. En este aspecto, es sumamente importante determinar las dimensiones de la caja que alojará el cordón de respaldo (si fuera necesario) y el material de sellado. La geometría de este reservorio es función del sellador utilizado, de las características del pavimento (tamaño de losas), y de las condiciones climáticas de la zona.

La determinación del factor de forma (relación profundidad y ancho del sello) adecuado para el material de sellado adoptado conduce a realizar un segundo corte o aserrado de las juntas (aserrado secundario), para darle a la caja las dimensiones necesarias.

Un buen diseño del factor de forma debe contemplar los siguientes aspectos (selladores líquidos):

- Ancho de la junta suficiente para absorber los movimientos horizontales (función de máxima temperatura de colocación, mínima temperatura anual, coeficiente de expansión térmica, dimensión de las losas, etc.).
- Empleo y colocación correcta de cordón de respaldo.
- Profundidad suficiente para permitir la colocación del sellador y del cordón de respaldo.
- El sellador debe quedar de 5 mm a 8 mm por debajo del nivel del pavimento, para evitar su extrusión cuando la junta se cierra (dilatación térmica), expulsando el sellado hacia arriba y exponiéndolo al tránsito vehicular.

En la Tabla 5-4 se indican las dimensiones recomendadas para selladores de siliconas, a manera de guía, las que deben verificarse para las particulares condiciones de cada obra:

No obstante, se puede determinar el ancho de caja más recomendable que permita cumplir las exigencias a que será sometido el sello en función de los movimientos esperados en las juntas; utilizando la siguiente expresión:

Cálculo del movimiento esperado de las juntas

Ec. 5-1

$$\Delta L = C.L\left[CET.(TI_{MAX\ MIN} - TH_{MAX\ MIN}) + \varepsilon c^{*}\right]$$

Siendo:

ΔT el movimiento esperado de la junta.

L el largo de la losa.

C el coeficiente de restricción (0,65 para bases cementadas y 0,80 para granulares).

CET el coeficiente de expansión térmica.

TI la temperatura del hormigón durante la instalación.

TH la temperatura del hormigón en servicio.

εc la contracción por secado remanente del hormigón.
* La consideración de la contracción por secado depende de la edad del pavimento cuando se realiza el sellado.

En el siguiente ejemplo se muestra la determinación de la elongación y compresión máxima para distintos anchos de caja. La selección será la que asegure que el material de sellado trabaje dentro de los intervalos tolerables (especificados por el fabricante):

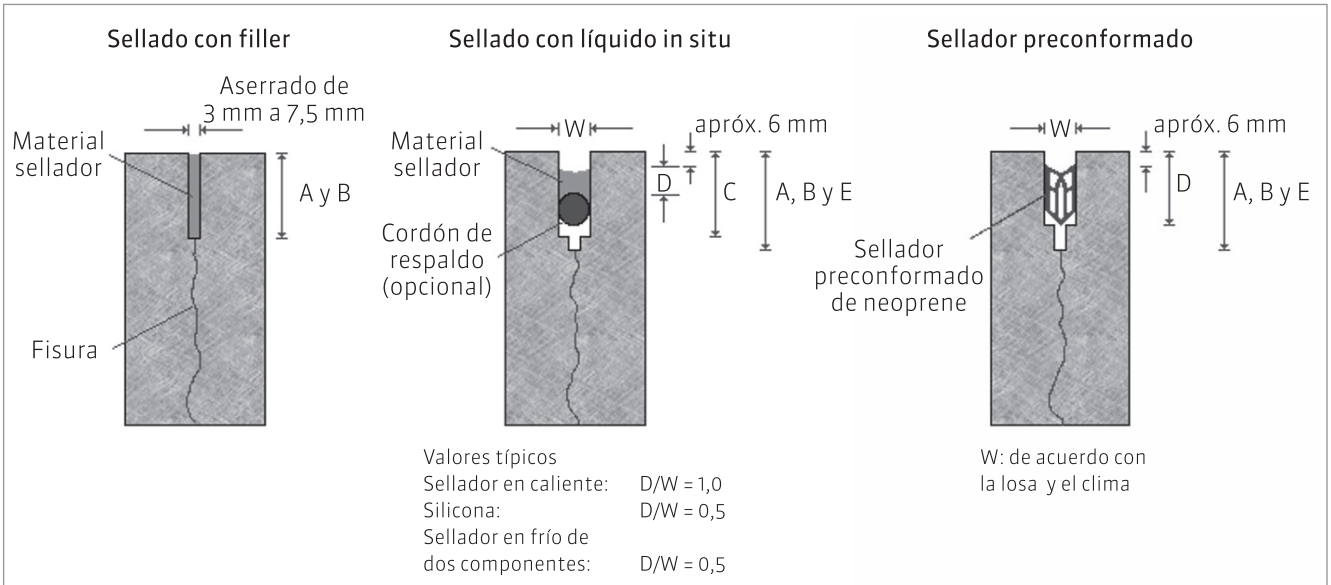
Tabla 5-4: Dimensiones recomendadas para sellado con silicona.

Requisitos de la junta			
Ancho de Junta (mm)	Espesor del Material (mm)	Profundidad aserrado secundario (mm)	Diámetro cordón de respaldo (mm)
6,4	6,4	25,4	9,5
9,5	6,4	31,8	12,7
12,7	6,4	31,8	15,9
15,9	7,9	38,1	19,0

Ejemplo de cálculo

Datos: L = 4500 m; CET = 11,5 x 10^{-6} 1/°C; Mínima Temp. del Hº = 5 °C; Máxima Temp. del Hº = 60 °C; εc = 300 µm/m; C = 0,65.

Figura 5-87: Distintas formas de sellar una junta. El factor de forma se define como D/W (profundidad/ancho) y generalmente oscila entre 0,5 y 2,0. (Adaptado de ACPA)



A- Aserrado inicial convencional (1/4 a 1/3 del espesor)
B- Aserrado temprano. Corte inicial a una profundidad de 32 mm como mínimo.
C- En función del sellador y del cordón de respaldo.
D- Según lo requerido por el fabricante.
E- Puede usarse un aserrado simple o uno doble. En el doble, se hace un corte inicial seguido de un corte de ensanchamiento.

Elongación máxima: Temp de colocación máxima 45 °C

$\Delta L = 0{,}65 \cdot 4500$ mm $[(11{,}5 \times 10^{-6}\ 1/°C \cdot 40\ °C) + 0{,}003] = 2{,}22$ mm

Ancho de caja (mm):	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0
Elongación:	34 %	32 %	30 %	28 %	26 %	25 %

Elongación mínima: Temp de colocación mínima 15 °C

$\Delta L = 0{,}65 \cdot 4500$ mm $(11{,}5 \times 10^{-6}\ 1/°C \cdot 45\ °C) = 1{,}51$ mm

Ancho de caja (mm):	5,5	6	6,5	7	7,5	8
Elongación:	-27 %	-25 %	-23 %	-22 %	-20 %	-19 %

El aserrado secundario o cajeo se efectúa con discos de corte diamantados de anchos especiales, o más habitualmente, utilizando dos discos convencionales superpuestos para alcanzar el ancho requerido (puede resultar necesaria la inclusión de un separador entre ambos para anchos mayores).

Se utilizan dos tipos de aserrado o cajeo: el aserrado húmedo con discos diamantados, y el aserrado en seco. El método más empleado es el húmedo, en donde el agua lubrica y enfría al disco, a la vez que permite controlar el polvo del aserrado. El aserrado seco con discos abrasivos suele emplearse en hormigones con agregados más blandos, y tiene la desventaja de la generación de polvo volátil.

C.- LIMPIEZA DE LA CAJA

Las tareas y secuencia de limpieza de las juntas varían de acuerdo con el método de aserrado secundario empleado:

La limpieza es un requisito imprescindible y de suma importancia para un buen desempeño del material de sellado, principalmente los que trabajan adheridos a las caras del aserrado (selladores líquidos), como en el caso de las siliconas. El objetivo es eliminar todo resto de lechada de aserrado, membrana de curado, polvo, elementos extraños y texturizado para mejorar la adherencia a las paredes de la caja.

Figura 5-88: Hidrolavado a presión.

Aserrado húmedo

Hidrolavado con agua a presión, para eliminar el lodo o lechada de aserrado. Es más sencillo realizarlo inmediatamente después del aserrado primario o de control.

Arenado de ambas caras de la junta, para aumentar la rugosidad y mejorar la adherencia del sellador.

Soplado y limpieza con aire (mayor a 6 kg/cm^2), para la extracción completa de arena y materiales depositados por viento o tránsito propio de la obra. Se recomienda su realización inmediatamente antes de proceder a la instalación del cordón de respaldo o sellado.

Aserrado en seco

No es necesario el hidrolavado a presión. Arenado y soplado de igual forma que con disco húmedo.

Nota: Con los materiales de sellado que no requieran adherencia, tales como los selladores preformados, puede evitarse el arenado de las caras de la junta.

D.- COLOCACIÓN DEL CORDÓN DE RESPALDO

Completadas las tareas de limpieza, previo al sellado se coloca el cordón de respaldo, hasta su posición correcta en la caja (Figura 5-89). La función primordial de este material es:

- Impedir la adherencia del sellador con el fondo de la caja del aserrado secundario, que de otra forma podría generar concentración de tensiones que puedan

producir un desgarramiento; asegurando entonces el buen funcionamiento del material de sellado.

- Optimizar la cantidad de material de sellado utilizado, minimizando las pérdidas durante el vertido, por escurrimiento por el fondo de la junta.

Figura 5-89: Colocación del cordón de sostenimiento.

El cordón de sostenimiento o respaldo tendrá un diámetro mínimo un 25 % mayor que el ancho de la junta, y será de material adecuado para la temperatura de colocación del sellador. Su colocación se efectúa con una herramienta especial, que consiste en una rueda con una pestaña de longitud apropiada, que posiciona el cordón a la profundidad necesaria.

E.- SELLADO DE JUNTAS

Con el cordón de respaldo colocado y posicionado correctamente, y las caras de las juntas completamente secas y limpias, se procede a la aplicación del material de sellado con las herramientas aptas para tal fin, según se trate de aplicación en frío o en caliente. A fin de garantizar los mejores resultados en la aplicación de los diversos tipos de selladores, es importante respetar siempre las recomendaciones del fabricante, manteniendo la geometría y coeficientes de forma adoptados para el diseño.

En el caso del uso de siliconas (Figura 5-90) está especialmente recomendado que las paredes de la juntas estén secas, motivo por el cual los productores aconsejan asimismo un período de curado mínimo antes de iniciar las tareas de sellado.

Los sellos de compresión preformados trabajan siempre a la compresión, con un intervalo que varía normalmente entre 20 % y 50 % del ancho original. Se colocan presionándolos dentro de la junta o caja, y pueden requerir de la aplicación de un material lubricante, que además actúa como mejorador de adherencia con las caras del aserrado.

Por otro lado, se recomienda el sellado en épocas de temperaturas intermedias (primavera u otoño), cuando las juntas presentan una abertura media, de manera que el huelgo que se deja entre el sellado y la superficie del pavimento sea adecuado. De otra forma se debería ajustar esta revancha para invierno y verano, cuando las aperturas (por contracción o expansión de losas) son muy distintas al igual que las expectativas de movimientos.

Cualquiera sea el material y la metodología utilizada para el sellado de las juntas, es imperioso verificar la calidad y efectividad de los procedimientos empleados

Figura 5-90: Aplicación sello de silicona.

mediante pruebas y/o ensayos de adherencia a las paredes de la junta.

Es claro que el comportamiento del material de sellado influye significativamente sobre el desempeño de la junta, y por lo tanto del pavimento de hormigón. Es por ello que se recomienda emplear materiales de alto desempeño como la silicona o los sellos preformados. Si bien tienen un mayor costo inicial que el resto, proveen un mejor sellado, más eficiente y con una mayor vida útil, minimizando las tareas de resellado durante la vida en servicio del pavimento.

Prevención de la ocurrencia de fisuración a edad temprana

En el Capítulo 3 se definen a las fisuras a edad temprana como aquéllas que ocurren dentro del período que va desde pocas horas luego de colocado el hormigón hasta algunos días posteriores, antes de que el pavimento sea abierto al tránsito, es decir, son fisuras no debidas a cargas. También se describen algunas de las causas y mecanismos que concurren para su formación.

Algunas recomendaciones sobre la selección, preparación y empleo de los materiales, prácticas constructivas e implementación de protección del hormigón durante este período pueden mitigar o colaborar en eliminar el problema de fisuración a edad temprana; entre ellas se destacan las siguientes prácticas:

- Preparar la subrasante y la base en forma correcta para proveer un soporte estable y uniforme, con un adecuado contenido de humedad.
- Emplear mezclas de hormigón con relación a/c baja, cantidad y tamaño de agregado grueso óptimo para minimizar la contracción por secado, evitando relaciones excesivamente bajas a las que se pueden asociar otros problemas como la contracción autógena, que se presenta con a/c inferiores a 0,42 o 0,40.
- Reducir el contenido de pasta mediante el empleo de aditivos reductores de agua convencionales.
- Emplear el menor contenido de arena que permita una trabajabilidad adecuada.
- Emplear el menor contenido de cemento que permita cumplir satisfactoriamente los requisitos de resistencia y durabilidad.
- Mantener los agregados saturados mediante el riego periódico de los acopios.
- Emplear agregados limpios y sin cantidades excesivas de polvo.
- En tiempo caluroso, diseñar mezclas con adecuada capacidad de exudación.
- Programar la colocación del hormigón de manera tal que no se superpongan el pico de calor generado por las reacciones de hidratación, la hora de mayor temperatura del ambiente y la mayor cantidad de horas de exposición a la radiación solar del pavimento.
- Evitar la pérdida de humedad de superficie mientras el hormigón se encuentre en estado plástico.
- Aplicar el curado en forma temprana y en dosis suficientes y uniformes.
- Evitar las restricciones externas, por ejemplo con un buen corte y perfilado de la base.
- Mantener saturada la base previo a recibir el pavimento mediante el riego periódico, con el cuidado de no empantanar el carril de desplazamiento de las orugas, cuando no se cuente con sobreancho.
- Romper la adherencia del pavimento con la base cuando se empleen bases de elevada rigidez mediante la interposición entre las capas de un ruptor de la adherencia.
- Materializar las juntas de contracción inmediatamente en cuanto el hormigón permita obtener un corte sano a la separación y profundidad previstas para aliviar las tensiones.
- Materializar juntas de dilatación o aislación en los lugares indicados para prevenir las restricciones debidas a los puntos o estructuras fijas adyacentes al pavimento o cruces.
- En condiciones de colocación con clima riguroso con elevado gradiente térmico, proteger al pavimento para prevenir una brusca pérdida de calor.
- En tiempo frío, proteger al pavimento del riesgo de

congelamiento durante el período que se ha denominado hormigón joven.

- En días y zonas muy ventosas, disponer protección contra la incidencia de fuertes vientos sobre el hormigón colocado.
- Cuando existan gradientes térmicos importantes, proteger el borde del pavimento que presenta mayor exposición a la radiación solar.
- En condiciones de clima cálido, evaluar el empleo de un aditivo retardador de fragüe por su contribución a reducir la contracción térmica al diferir el calor generado.
- En condiciones de clima riguroso de colocación, monitorear la evolución de temperaturas del hormigón durante las primeras 48 horas y evitar las caídas de temperatura mayores a 3°C por hora y/o de 28 °C en 24 horas.
- Verificar el trabajo de juntas y el normal desempeño superficial mediante la inspección visual del pavimento durante las primeras 72 horas luego de colocado.

HORMIGONADO EN CLIMA RIGUROSO

La construcción de pavimentos rígidos y, en especial, la etapa de colocación del hormigón para pavimento, están fuertemente afectadas por las condiciones climáticas existentes al momento de la ejecución, en virtud de la gran superficie de exposición que presentan.

El hormigonado en climas fríos o calurosos, así como la posibilidad de enfrentarse a acontecimientos tales como: una lluvia o tormenta, un frente frío, vientos fuertes , descensos bruscos de temperatura durante la noche, la posibilidad de la caída de una helada, generan la necesidad de conocer cómo pueden afectar estas variables al pavimento de hormigón recién colocado y, en consecuencia, tomar las medidas preventivas necesarias para mitigar los riesgos asociados a estos fenómenos y asegurar un adecuado desempeño del pavimento.

Por ello, durante cada jornada de trabajo, se deben analizar las condiciones climáticas reinantes y pronosticadas para decidir si se puede trabajar sin limitaciones o se deben tomar recaudos en cuanto a los horarios de colocación del hormigón, o la necesidad de adopción de medidas especiales de prevención o protección del pavimento o, eventualmente, decidir la conveniencia de no hormigonar, por ejemplo cuando esté pronosticada una tormenta.

Son de gran utilidad algunas herramientas informáticas como el Hiperpav (disponible en www.hiperpav.com), que ha sido desarrollado por la Administración Federal de Carreteras de EEUU (FHWA); y que permite analizar, mediante simulaciones, el comportamiento de los pavimentos de hormigón frente a solicitaciones térmicas durante sus primeras 72 horas de vida. Este programa permite, de este modo, realizar análisis de sensibilidad, evaluar eventuales riesgos de fisuración térmica y plantear diferentes estrategias para la programación y ejecución de los trabajos, con el fin de reducir los riesgos asociados al hormigonado en condiciones de clima riguroso.

Hormigonado en tiempo caluroso

Se define al tiempo caluroso como aquellas condiciones de exposición durante las operaciones de mezclado, transporte, colocación y/o exposición del hormigón en las que exista cualquier combinación de elevada temperatura ambiente, baja humedad relativa (H.R.) del ambiente, elevada radiación solar y vientos, que tiendan a perjudicar la calidad del hormigón fresco o endurecido.

La mayoría de los problemas están asociados a la aceleración de las reacciones de hidratación, al incremento de la temperatura máxima alcanzada y a la pérdida de humedad. Por ello, se debe evitar en este ambiente de exposición el empleo de acelerantes de fragüe o de cementos de alta resistencia inicial, ya que ello podría potenciar los riesgos de fisuración de origen térmico, si no se emplean adecuadamente.

Cuando el proyecto implique la construcción en estas condiciones, durante la etapa de diseño de la mezcla se deben verificar en laboratorio las propiedades del

hormigón frente a ese escenario. Algunos de los problemas vinculados con el tiempo caluroso incluyen:

- Elevadas pérdidas de asentamiento.
- Menor tiempo disponible para el transporte colocación y terminación.
- Mayor demanda de agua con pérdidas de resistencia a la compresión.
- Elevadas tasas de evaporación.
- Mayor riesgo de fisuración temprana (plástica, por secado y/o térmica).
- Menor tiempo disponible para ejecutar el aserrado de juntas.
- Rápida evolución y mayores resistencias a edades tempranas, a riesgo de obtener valores menores a larga edad.
- Reducción del contenido de aire incorporado a igual dosis.
- Menor eficiencia de los aditivos reductores de agua.

Los riesgos de fisuración plástica son mayores a medida que aumenta la tasa de evaporación, pues las fisuras resultan de la pérdida de humedad de la masa de hormigón antes del fraguado inicial.

La pérdida de brillo superficial es un indicador del incremento del riesgo de fisuración plástica, por lo cual, en el caso que haya demoras en la aplicación de la membrana de curado, debe mantenerse húmeda la superficie mediante una fina niebla de agua hasta que se pueda practicar el curado definitivo.

La Portland Cement Association provee un nomograma para determinar la tasa de evaporación en función de la temperatura del aire, la temperatura del hormigón, la humedad relativa y la velocidad del viento (Figura 5-91).

Si la tasa de evaporación es mayor a 1,0 kg/m²/h se recomienda proveer un medio más efectivo para reducir la pérdida de humedad, como el empleo de neblinas, reductores de evaporación, entre otros.

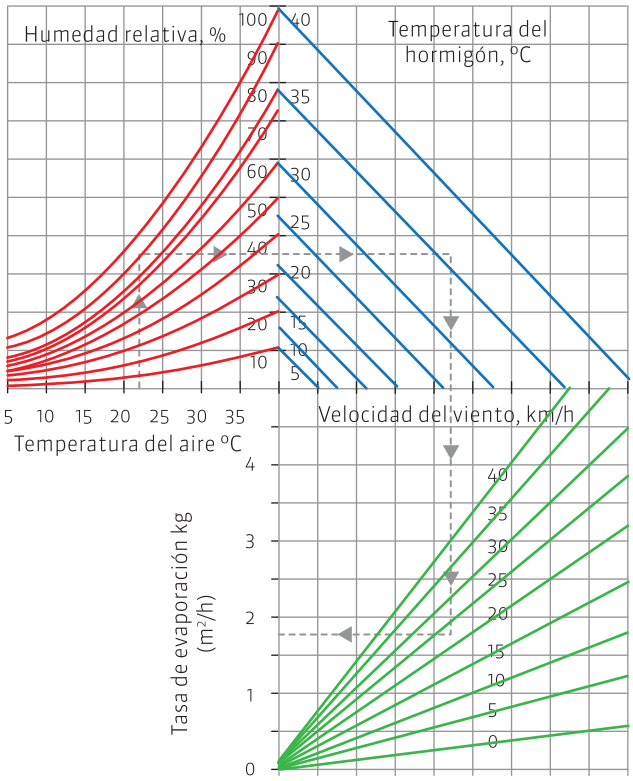
Con altas temperaturas del ambiente, también son elevadas las temperaturas máximas que alcanza el pavimento de hormigón a las pocas horas luego de colocado, pudiendo llegar a valores del orden de los 65 °C o 70 °C (Figura 5-92). En estas condiciones es muy importante el riesgo de fisuración térmica que se genera debido a la brusca caída de temperatura que se puede producir con la baja de temperatura del ambiente con la llegada de la noche. El American Concrete Institute (ACI), en su publicación para hormigón en tiempo caluroso (ACI 305-06), indica que existen riesgos de fisuración térmica con gradientes de temperatura mayores a los 3 °C por hora, o un total 28 °C durante las primeras 24 horas posteriores a la colocación, por lo que deben tomarse las medidas necesarias para evitar que las pérdidas de temperatura alcancen esos valores.

El Reglamento CIRSOC 201:2005 indica no colocar hormigones cuya temperatura en estado fresco sea superior a 30 °C. Este criterio es también adoptado por algunas especificaciones, pero la experiencia demuestra que, en condiciones de tiempo caluroso, puede ser recomendable iniciar la colocación del hormigón luego del mediodía cuando es máxima la radiación solar, de modo de evitar la exposición a ésta y reducir la cantidad de horas de asoleamiento. De este modo el hormigón a pesar de ser colocado con una temperatura inicial levemente mayor al límite indicado, alcanza una temperatura máxima muy inferior a la que tendría uno ejecutado por la mañana y que hubiera recibido muchas más horas de radiación solar (Figura 5-93). Se debe tener en cuenta que la temperatura mínima durante la noche está fuertemente influenciada por las condiciones imperantes en el ambiente; es decir, cuanto menor sea la máxima temperatura alcanzada menor será el gradiente térmico y el consecuente riesgo de fisuración temprana asociado a este fenómeno.

Asimismo, esta estrategia impide que se superpongan el pico de calor generado por las reacciones de hidratación, con la mayor temperatura del ambiente y el máximo calor absorbido por exposición a la radiación solar del pavimento, reduciendo los riesgos de fisuración térmica.

La aplicación temprana, la dosis adecuada y la uniformidad de la cobertura que brindan las membranas de curado no sólo tiene significación sobre el retardo en la evaporación

Figura 5-91: Nomograma para la determinación de la tasa de evaporación. [PCA EB201. 2004]



Forma de usar el gráfico

1. Ingresar con la temperatura del aire hasta intersectar la curva de humedad relativa.

2. Desplazarse hacia la derecha hasta la temperatura del hormigón.

3. Desplazarse hacia abajo hasta la velocidad del viento.

4. Moverse hacia la izquierda y leer en el eje la tasa aproximada de evaporación.

Referencias

- Humedad relativa
- Temperatura del hormigón
- Velocidad del viento

Figura 5-92: Evolución de la temperatura en el hormigón en clima cálido.

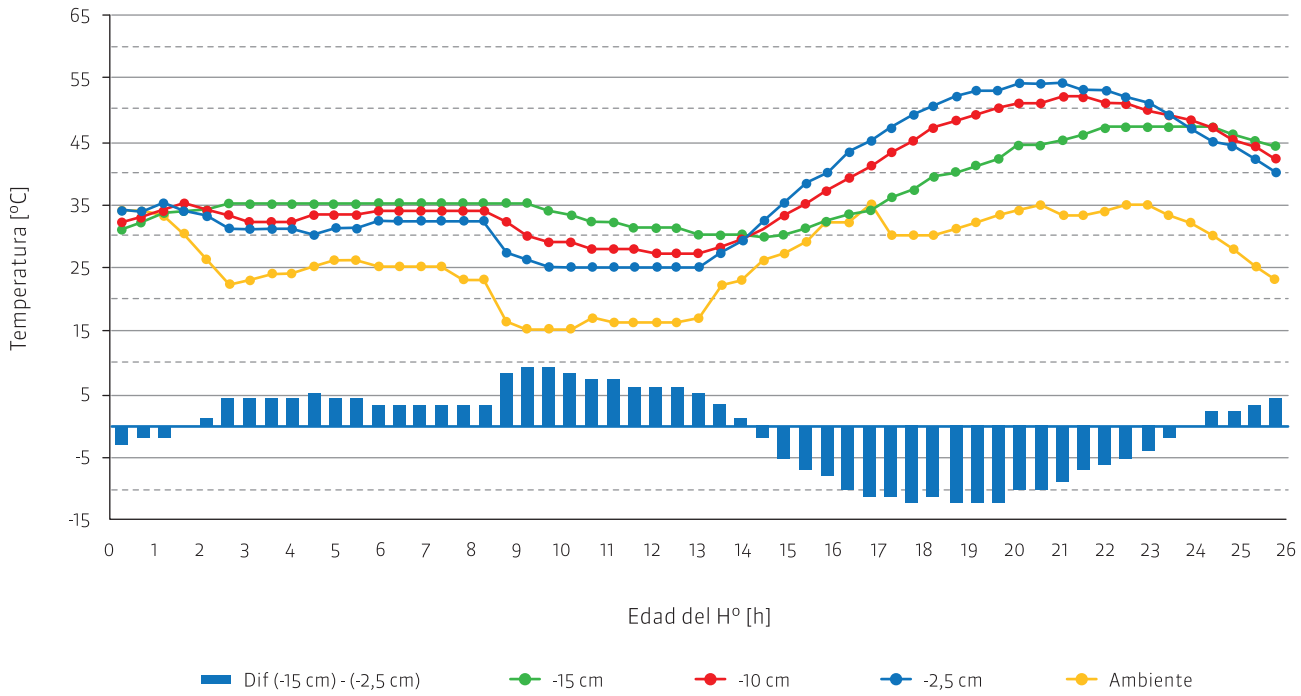
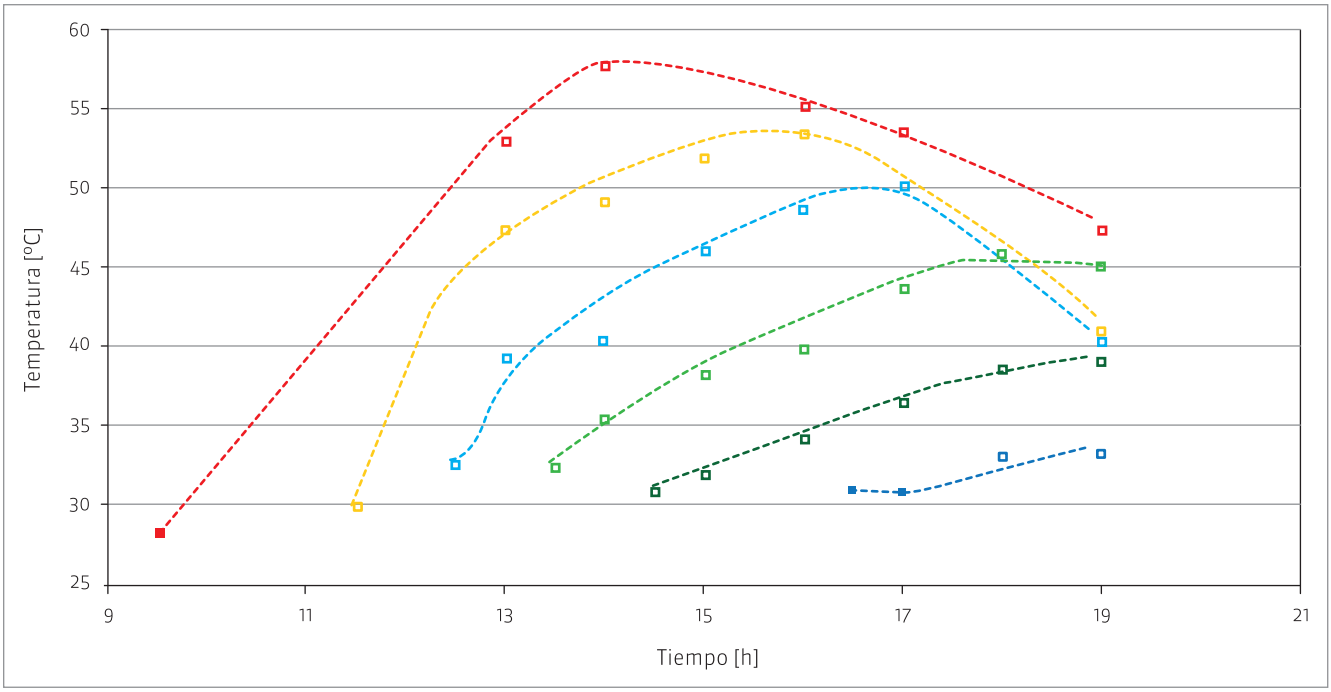


Figura 5-93: Variación de la temperatura del hormigón en función de la hora de colocación.



que produce sino también en función de su efecto beneficioso en la reducción de la ganancia de calor por radiación gracias a su pigmentación blanca. En este sentido, una demora en su aplicación en las condiciones de colocación en clima riguroso, potencia los riesgos al sumarse los efectos del secado prematuro y del mayor salto térmico.

Entre las precauciones a tomar para reducir el riesgo de fisuración de origen térmico, a ser implementadas durante la construcción, se puede mencionar:

- Mantener saturados a los agregados mediante el riego periódico.
- Humedecer la base antes de colocar el hormigón para reducir su temperatura y evitar que la superficie absorba agua de la mezcla.
- Colocar pantallas contra los rayos del sol para bajar la temperatura de la superficie y borde del pavimento de hormigón.
- Prestar especial cuidado en las tareas de curado.
- Trabajar con la menor cantidad de agua posible y el menor asentamiento que permita una colocación y terminación adecuadas.
- Diseñar la mezcla con el menor contenido de arena, que permita trabajabilidad y terminación apropiadas.
- Monitorear la evolución de las temperaturas del pavimento y del ambiente durante las primeras 24 o 36 h.
- Restringir los horarios de hormigonado para reducir la temperatura máxima a alcanzar por el pavimento, y mitigar el salto térmico durante la primera noche.
- Aplicar el curado inmediatamente luego de finalizada la terminación del hormigón. Eventualmente, si se atrasan dichas operaciones, se puede evaluar el empleo de neblinas o retardadores de evaporación.

Hormigonado en tiempo frío

Aunque en su condición de servicio el pavimento no se encuentre expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo (ver Capítulo 4 “Resistencia a los ciclos de congelamiento y deshielo”), el hormigonado en tiempo frío requiere de la adopción de ciertas medidas preventivas para garantizar el comportamiento adecuado del hormigón.

Se define que existe condición de tiempo frío cuando la temperatura media diaria ((t máx + t mín) /2) es inferior a

Figura 5-94: Monitoreo de temperaturas.

5 °C durante tres días consecutivos. El ACI 306-88 "Hormigonado en Tiempo Frío", establece que existe condición de tiempo frío, además del requisito anterior, cuando la temperatura ambiente es menor o igual a 10 °C durante 12 horas consecutivas dentro de las primeras 72 horas de vida del hormigón.

Principalmente se debe evitar que la temperatura del hormigón joven descienda hasta la temperatura de congelamiento, ya que ello produciría un daño irreparable, pero adicionalmente y aunque no exista ese riesgo se deben garantizar las condiciones adecuadas de temperatura y humedad para que se desarrollen las reacciones de hidratación de la pasta de cemento. A medida que baja la temperatura, la velocidad de las reacciones de hidratación decrece, por lo tanto baja el gradiente de ganancia de resistencia, y cuando llega a ser lo suficientemente baja, la misma se inhibe.

No hay mecanismo alguno para proteger al hormigón joven del deterioro por congelamiento. El único recurso práctico es evitar que se congele hasta que haya alcanzado una resistencia superior a los 4 MPa.

En la práctica, se considera que para una temperatura media inferior a 5 °C, la resistencia prácticamente no evoluciona o lo hace tan lentamente que su incremento no es significativo, por lo que en general no se contabilizan los días en que se da esa condición. Aunque, para ser más precisos, las reacciones literalmente se detienen por debajo de la temperatura de activación, para la cual suele adoptarse un valor medio representativo de -10 °C.

El retardo en la velocidad de las reacciones de hidratación tiene como consecuencia directa demoras importantes en el fraguado y evolución lenta de la resistencia. Estos fenómenos deben ser tenidos en cuenta ya que redundan en la necesidad de mayor cantidad de días para alcanzar las resistencias especificadas, por lo que es preciso prolongar también los plazos de curado, aunque es esperable que las resistencias alcanzadas a larga edad sean mayores a las obtenidas a temperatura normalizada. También se verán afectadas las tareas de aserrado de las juntas.

En la medida en que el hormigón permanezca más tiempo en estado fresco se incrementan los riesgos de fisuración plástica, por el simple hecho de estar más cantidad de horas en ese estado.

En condiciones de exposición de clima riguroso, para estimar el plazo de habilitación, puede emplearse el criterio de Madurez (ver Capítulo 4 "Materiales"), que tiene en cuenta al tiempo transcurrido y el régimen de temperaturas al que el hormigón estuvo expuesto durante ese período.

CUIDADOS A TENER EN CUENTA:
A continuación se dan algunas recomendaciones a tener en cuenta cuando se coloca hormigón en tiempo frío:

- Utilizar relaciones a/c menores a 0,45, evitando caer muy por debajo de 0,40.
- Aunque no sea requisito por durabilidad, el AII puede ayudar a cumplir el requisito anterior en la medida que reduce la demanda de agua para una trabajabilidad equivalente.
- Realizar un curado efectivo mediante el empleo de una membrana de curado en base a resina, que colabora en la conservación de la temperatura del hormigón, al evitar la evaporación superficial y conservar de este modo la energía del calor latente de evaporación que se perdería.
- Monitorear y registrar la temperatura media del

ambiente y del hormigón colocado durante las primeras 48 horas luego de colocado.

- Comenzar la jornada de trabajo con temperaturas > 2 °C en ascenso.
- No colocar hormigón con temperatura de la mezcla inferior a 16 °C (CIRSOC). Sin embargo, la experiencia indica que este valor puede ser algo menor manteniendo ciertos controles y monitoreando la evolución de las temperaturas.
- Finalizar la jornada con temperaturas del ambiente de 5 °C en descenso para prevenir el riesgo de congelamiento durante la noche.
- Emplear mezclas que tengan buena ganancia de resistencia a edad temprana, reducir o evitar el uso de grandes proporciones de escoria de alto horno o puzolanas, a menos que se requieran por cuestiones de durabilidad.
- Utilizar aditivos aceleradores, siempre que su desempeño haya sido verificado en pastones de prueba. No emplear aditivos que contengan cloruros.
- Colocar los agregados libres de hielo, nieve o trozos congelados antes de ser empleados.
- Emplear, en caso de ser necesario, mantas para proteger al hormigón en las primeras horas del curado. En el caso de utilizarse, antes de retirarlas se debe esperar a que la temperatura de las losas se equipare con la del ambiente, para evitar un choque térmico que podría provocar la fisuración de las mismas. Además se deben implementar las medidas necesarias para evitar que perjudiquen la textura superficial del pavimento.
- Prolongar el curado hasta obtener la resistencia a la compresión de diseño y como regla práctica, no deben contarse los días en los que la temperatura media diaria fue inferior a 5 °C.
- Demorar el aserrado de las juntas, debido a que la ganancia de resistencia es lenta.

Protección contra la lluvia y vientos fuertes

Si está pronosticada o se espera una lluvia o tormentas de vientos o ambas en la zona de la obra, no deben iniciarse las tareas de hormigonado, ya que la superficie del hormigón fresco puede verse afectada, deteriorando o debilitando la textura y pudiendo inducir fisuras por choque térmico.

No obstante ello, se debe contar con rollos de film de polietileno para cubrir al hormigón y protegerlo de una eventual caída de lluvia no prevista sobre un pavimento recién colocado, y que no ha desarrollado la suficiente resistencia para soportarla (Figura 5-95).

Figura 5-95: Rollo de polietileno listo para su colocación para proteger la superficie del hormigón fresco de la lluvia.

Las mantas deben lastrarse para evitar que sean levantadas por el viento, y con ese fin pueden emplearse listones de madera, encofrados o cualquier otro elemento disponible en obra. Una manera aproximada para determinar la superficie de hormigón a cubrir es aquélla hasta donde la lluvia no deje marcas sobre la superficie.

Se debe tener la precaución de que, al extenderla sobre el pavimento, no se dañe con esta operación a la textura del mismo.

Además, el agua de lluvia puede elevar la relación a/c de la superficie, creando una capa poco durable, susceptible a sufrir descascaramientos, despostillamientos y erosión.
En zonas donde sean habituales los vientos fuertes, se deben implementar pantallas laterales para proteger al pavimento recién colocado del eventual efecto perjudicial de la incidencia de los mismos.

CONTROLES PREVIOS A LA PAVIMENTACIÓN – CHECKLIST

Es conveniente verificar una serie de aspectos y puntos importantes, antes de comenzar la jornada de pavimentación. El listado de ítems siguiente es orientativo y pretende ayudar en la correcta atención de las necesidades generadas por las tareas de colocación con pavimentadora de encofrados deslizantes, y garantizar los mejores resultados:

Checklist Ítems a verificar
› Chequear la disponibilidad de cancha suficiente en condiciones de ser pavimentada, para completar al menos una jornada de producción promedio para el equipamiento con que se cuenta.
› Comprobar la inexistencia de baches o depresiones en la superficie de la base o subrasante a cubrir en la jornada.
› Verificar el buen estado y nivelación de los carriles de desplazamiento de la pavimentadora.
› Verificar la adecuada limpieza de la cancha.
› Chequear la disponibilidad de equipos de limpieza en el frente, tales como barredora sopladora, compresor, u otro medio apropiado para repetir trabajos de limpieza si fuera necesario.
› Verificar que estén colocados los hilos guía en una distancia equivalente a la cancha a cubrir en la jornada; o en su defecto, la disponibilidad de equipos, personal y elementos necesarios para la recolocación de guías a medida que se liberan tramos.
› Comprobar la presencia de estacas o demarcaciones previas de la ubicación de juntas transversales del pavimento, para el posicionamiento de canastos o el accionamiento manual del DBI (excepto pavimentadoras con medición automática).
› Comprobar y/o corregir, al inicio y a lo largo de la jornada, el tensado de los cables guía.
› Chequear que estén previamente distribuidos los materiales de consumo necesarios en la cancha a pavimentar, a distancias acordes a los rendimientos y gastos esperados (canastos o paquetes de pasadores, barras de unión, tambores de membrana de curado, etc.).
› Chequear la operatividad y funcionamiento de todos los motores, sensores y partes móviles de la pavimentadora de encofrados deslizantes o equipo a utilizar.
› Comprobar la ubicación y el correcto funcionamiento de los vibradores de la pavimentadora, o de los equipos que se dispongan para la densificación del hormigón.
› Verificar la alineación y calibración correcta del molde deslizante, bordeadores, etc.
› Chequear el buen funcionamiento y operatividad del equipo de texturizado y curado, o de los dispositivos destinados a dichas tareas y mantener picos aspersores de reserva para reemplazar en caso de obturación.
› Disponer de equipos para curado de emergencia (mochila) con agua o con el producto de curado que se emplee.
› Verificar el buen estado de los elementos destinados al texturizado de la superficie (arpillera, césped sintético, peines, etc.).
› Chequear que se dispone de camiones regadores, tanques u otros equipos necesarios para el humedecimiento de la cancha durante la jornada.
› Verificar la existencia de aceites, lubricantes y/o medios de aplicación adecuados para el recubrimiento de los pasadores.

Checklist Ítems a verificar *(cont.)*
› Verificar que estén disponibles en el frente de pavimentación todos los equipos, herramientas y elementos de mano necesarios para la terminación del hormigón, tales como reglas, fratases, cucharas de albañil, carretillas, baldes, etc.
› Comprobar la disponibilidad y operatividad de los vibradores de inmersión manuales usados en las juntas de inicio y fin de jornada.
› Chequear la existencia en el frente de elementos de uso eventual, para resolver emergencias como fratases de mano adicionales, mochila de aspersión para membrana de curado, tablas para contención de bordes, etc.
› Verificar que se dispone de los moldes o elementos utilizados para la ejecución de la junta de construcción de fin de jornada, sean estos caños para alojar pasadores, cajón metálico o molde de cierre.
› Chequear que se cuente con la cantidad de aserradoras suficientes para atender la producción prevista en la jornada, y que las mismas estén operativas.
› Verificar que se tiene al menos una aserradora de reserva para emergencias, y que funcione adecuadamente.
› Disponibilidad de iluminación nocturna para el caso de tener que realizar trabajos de aserrado por la noche.
› Comprobar que se dispone de la cantidad de discos de aserrado suficientes para atender la jornada de producción que se va a iniciar.
› Chequear el funcionamiento y operatividad de todos los motores, cintas, dosificadores, etc.; en la planta productora de hormigón.
› Verificar la disponibilidad y buen funcionamiento de los equipos de carga de materiales necesarios para atender la producción de hormigón.
› Chequear la existencia de agua suficiente en los depósitos, o el buen funcionamiento de las bombas alimentadoras, que garanticen la producción de la planta, y las otras necesidades relacionadas como lavado de camiones y humedecimiento de áridos.
› Comprobar que las instalaciones y dispositivos preparados para el lavado de camiones se encuentren en condiciones de operar.
› Comprobar que se disponen de los equipos de riego por aspersión para el humedecimiento de los acopios de agregados, y que funcionen adecuadamente.
› Verificar que se cuenta con la cantidad de materiales aprobados suficientes para la producción prevista en la jornada.
› Verificar disponibilidad y buen funcionamiento de los equipos de comunicación entre la planta elaboradora de hormigón y el tren de pavimentación.
› Chequear que se cuente con la cantidad de camiones necesarios y suficientes para el transporte del hormigón.
› Verificar el buen estado de los camiones volcadores, de las cajas, el cierre estanco de compuertas, etc.
› Verificar el buen estado de los caminos desde la planta elaboradora hasta el frente de obra.
› Chequear que se cuente con los elementos y equipos necesarios para los controles y ensayos que se efectúan en el frente.
› Chequear los pronósticos del clima para cada día de trabajo de pavimentación.
› Verificar que se disponga de material y técnicas de aplicación para cubrir el hormigón recientemente colocado en caso de lluvia.

BIBLIOGRAFÍA

- **AASHTO/FHWA/Industry** Joint Training. Construction of Portland Cement Concrete Pavements - Particpant's Manual. 1996.
- **ACI 305.1-06.** Specification for Hot Weather Concreting. American Concrete Institute.
- **ACI 306R-88.** Cold Weather Concreting. American Concrete Institute.
- **ACI 504R-90 (reaprobado 1997).** Guide to Sealing Joints in Concrete Structures. American Concrete Institute.
- **ACPA.** EB204P. Subgrades and Subbases for Concrete Pavements. American Concrete Pavement Association. 2007.
- **ACPA.** EB235P. Pavement Surface Characteristics – A Synthesis and Guide. American Concrete Pavement Association. 2006.
- **ACPA.** JP007P. Best Practices for Airport Portland Cement Concrete Pavements. American Concrete Pavement Association. 2003.
- **ACPA.** TB006P. Constructing Smooth Concrete Pavements. American Concrete Pavement Association. 2003.
- **ACPA.** TB010P. Design and Construction of Joints for Concrete Highways. American Concrete Pavement Association. 1991.
- **ACPA.** TB012P. Joint and Crack Sealing and Repair for Concrete Pavements. American Concrete Pavement Association. 1995.
- **ACPA.** TB016P. Early Cracking of Concrete Pavements. American Concrete Pavement Association. 2002.
- **ACPA.** TB017P. Concrete Intersections - A Guide for Design and Construction. American Concrete Pavement Association. 2003.
- **FEBELCEM.** Road Pavements of Cement Concrete -Execution of monolithic pavements. Federation of the Belgian Cement Industry. 2001.
- **FHWA.** HIF-07-004. Integrated Materials and Construction Practices for Concrete Pavements: A State-of-the-Practice Manual. Second printing. Federal Highway Administration. 2007. ISBN 978-0-9652310-9-1..
- **FHWA.** RD-02-099. Guide for Curing of Portland Cement Concrete Pavements. Volume I. Federal Highway Administration. 2005.
- **ICPA.** Avances en la Rugosidad (IRI) de Pavimentos de Hormigón Construidos con Pavimentadoras de Molde Deslizante. Instituto del Cemento Portland Argentino.
- **ICPA.** Construcción de Pavimentos de Hormigón - Manual de la Inspección. Instituto del Cemento Portland Argentino.
- **ICPA.** Construcción de Pavimentos de Suelo Cemento. Instituto del Cemento Portland Argentino.
- **ICPC.** Cipriano A. Londoño N. Diseño Construcción y Mantenimiento de pavimentos de Concreto. Instituto Colombiano de Productores de Cemento. 2004.
- **IMCYC.** Guía para el Diseño y Construcción de Pavimentos Rígidos. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. 1997.
- **INTI.** CIRSOC 201-2005. Reglamento Argentino de Estructuras de hormigón. Instituto Nacional de Tecnología Industrial.
- **Iowa State University**. Portland Cement Concrete Pavements: Construction Basics. Concrete Paving Notes nº 1. 2005.
- **PCC Center**. Concrete Paving Workforce Reference no. 1: Concrete Materials Storage, Mixing and Delivery. Iowa State University. 2004.
- **PCC Center.** Concrete Paving Workforce Reference no. 2: Concrete Paving Site Preparation and Construction. Iowa State University. 2004.
- **PCC Center**. Concrete Paving Workforce Reference no. 3: Concrete Pavement Joint Sawing, Cleaning and Sealing. Iowa State University. 2004.
- **NCHRP Report 634**. Texturing of Concrete Pavements. National Cooperative Highway Research Program. 2009.
- **Norbert Delatte**. Concrete Pavement Design Construction and Performance. 2008. ISBN 978-0-203-96108-7.
- **PCA EB201.** Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Portland Cement Association. 2004.
- **PCA.** Guide to Cement-Treated Base (CTB). Portland Cement Association. 2007.
- **PCA.** Soil-Cement Construction Handbook. Portland Cement Association. 1956.