

Resultado y experiencia de la inclusión de algunos conceptos y criterios técnicos en las especificaciones de pavimentos de hormigón en Chile

Mauricio Salgado Torres

Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile

Josue Smith Solar 360, Providencia, Santiago de Chile, Chile

+562-27260300

msalgado@ich.cl

Durante los últimos años en Chile se han efectuado cambios en las especificaciones técnicas de construcción de los pavimentos de hormigón tendientes a mejorar los procesos constructivos y la calidad de terminación de los mismos, así como mejorar en algunos aspectos la posición de competencia del pavimento de hormigón frente a otros tipos de pavimentos.

El presente trabajo pretende resumir el resultado y la experiencia que se ha logrado consolidar a partir de lo observado en algunos contratos de pavimentación llevados a cabo en diferentes regiones de Chile, donde la incorporación de algunos cambios y ajustes a conceptos y criterios técnicos en las especificaciones han permitido alcanzar mejores estándares en la calidad y desempeño de los pavimentos así como responder de mejor forma a las expectativas creadas a partir de la inclusión de estos tópicos en práctica constructiva.

Dentro de los aspectos sobre los cuales se hace mención en el documento tienen que ver con los siguientes tópicos:

- Criterios para la dosificación y requisitos para los hormigones a emplear en pavimentación.
- Inclusión de fibras en el hormigón para pavimentos.
- El corte delgado en juntas sin sello.
- El uso del concepto de la madurez con miras a lograr la rápida apertura al tránsito.

1. Introducción

En los últimos años la ingeniería de pavimentos y particularmente la dedicada al mundo del hormigón ha visto como por influencia del desarrollo y evolución de los conceptos mecanicistas, se ha dado una suerte de reingeniería que ha conllevado una revisión y actualización de las especificaciones técnicas, lo que ha permitido que paulatinamente se vayan incorporando novedades en la forma de definir y proyectar pavimentos de hormigón, más allá de la simple definición de los módulos de rotura especificados; lo cual en el caso particular de Chile ha permitido generar instancias para que alternativas de pavimentación en hormigón compitan o sean la opción preferente al momento de decidir sobre con que materialidad pavimentar.

Por la misma razón, el ingeniero de pavimentos de hoy es más consciente de la importancia y relevancia que tienen los parámetros que caracterizan un hormigón, en el ánimo de lograr bien sea una optimización del diseño, una mejor condición de trabajabilidad durante la ejecución de las obras de pavimentación y sobretodo un mejor desempeño (*performance*) en el tiempo.

Por lo tanto de los principales desafíos que se plantean en la actualidad es desarrollar una tecnología del hormigón de pavimentos, específicamente pensada alrededor de las problemáticas a las que se ve expuesto el hormigón antes, durante y posterior al proceso constructivo, que de no especificarse adecuadamente puede derivar en problemas que dificulten su manejo y colocación, acentúen el desarrollo de ciertos fenómenos en edades tempranas o comprometan tanto el cumplimiento de la resistencia especificada como su desempeño, aspecto y durabilidad en el tiempo.

Los ingenieros de pavimentos saben que no es suficiente con indicar los parámetros clásicos que identifican un Hormigón, si lo que se quiere es tener un material con la adecuada docilidad, un comportamiento homogéneo y controlable que determine los tiempos justos y precisos para ejecutar cortes o iniciar el curado, y que además aumente la probabilidad de cumplimiento de los estándares especificados, los cuales obviamente coinciden con las hipótesis supuestas por parte del proyectista en los diseños.

En esta misma línea, es importante entender y dominar aquellos conceptos que explican la injerencia que tienen o pueden llegar a tener los componentes, tradicionales o innovadores (por ejemplo, la inclusión de fibras en el hormigón), o aquellos cambios y ajustes a los procesos constructivos de las obras de pavimentación con hormigón, tales como el corte delgado en juntas sin sello.

Finalmente, se plantea como a través de la incorporación de conceptos comúnmente utilizados en la tecnología del hormigón en otros tipos de obras, éstos tendrían una aplicación práctica en el mejoramiento de algún atributo del pavimento o facilitar algún proceso constructivo, como sería el caso del concepto de la madurez como una alternativa para facilitar la toma de decisiones sobre abrir prontamente al tránsito o encontrar el mejor momento para la ejecución del corte en las juntas.

La importancia de contar con una adecuada y óptima dosificación del hormigón para pavimentos.

En la actualidad, se tiene mayor conocimiento y experiencia sobre las características intrínsecas del material entre quienes proyectan y diseñan, y no solamente entre quienes fabrican el hormigón y/o ejecutan las obras. Se detecta una mayor preocupación las dosificaciones, con miras a una optimización de las proporciones y características de áridos, cemento, agua y adiciones, de modo que se cuente al final con dosificaciones que respondan de la mejor forma a las exigencias y solicitudes a las que se vea expuesta la estructura de pavimento de hormigón.

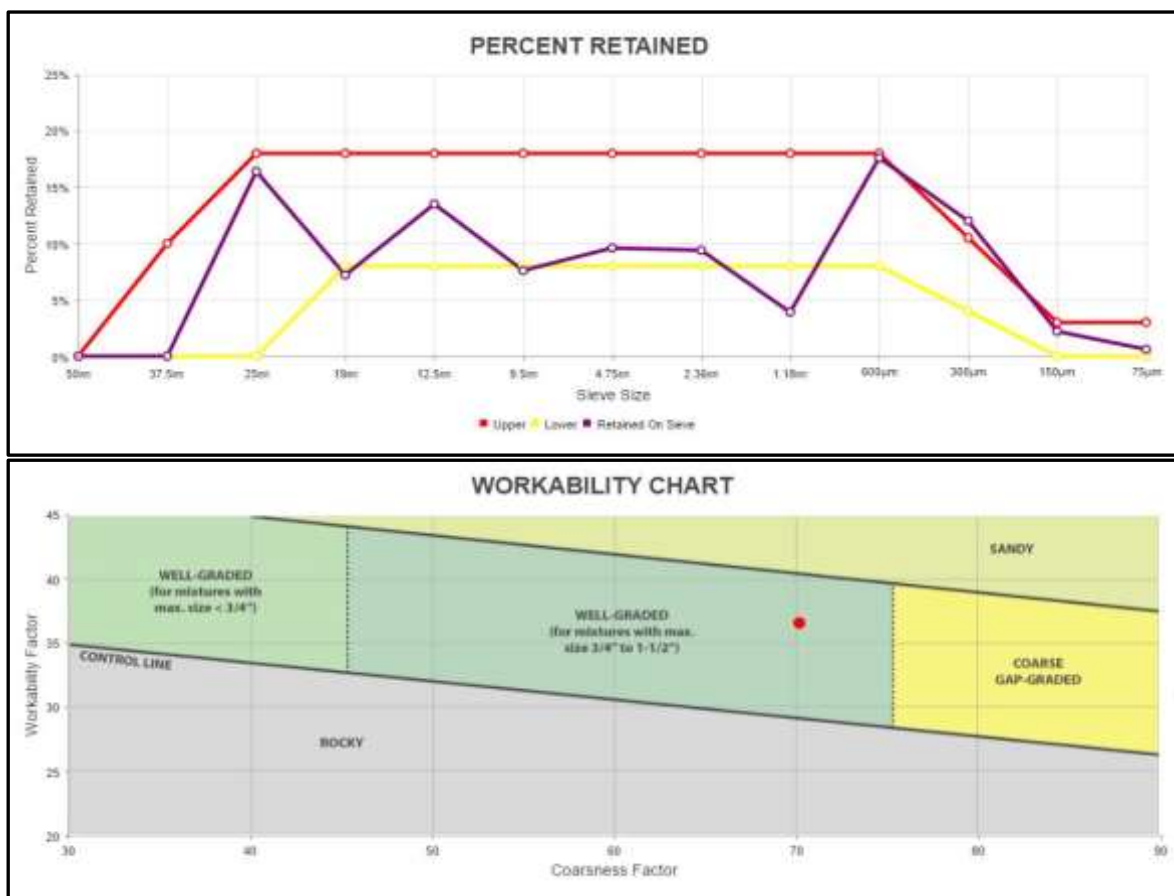


Figura 1: Ejemplos de Gráficos de porcentaje retenido de una dosificación de una mezcla de hormigón y Grafico de Trabajabilidad según Shilstone (Fuente: American Concrete Pavement Association - ACPA)

A su vez el poder identificar los contenidos de óptimos de cemento que eviten o disminuyan el riesgo que por su exceso generen problemas de retracción o problemas de fatiga debido a su rigidez; así como también las proporciones recomendables de arena, cemento y agua que permitan dar un adecuado manejo a la exudación y presencia de pasta en la superficie. El diseño de dosificaciones adecuadas conforme al tipo de moldaje (fijo o deslizante), tipo de equipo de pavimentación a utilizar, clima durante la construcción (humedad y temperatura),

entre otros aspectos que aseguren la calidad de un producto final con mayor durabilidad y óptimo desempeño estructural.

Dentro de las consideraciones y aspectos técnicos que paulatinamente se han ido incorporando en Chile dentro de algunas especificaciones de contratos de pavimentación con hormigón en Chile incluyen temas tales como:

- El hormigón deberá ser confeccionado con cemento hidráulico de alta resistencia y con una dosis de cemento de mínimo 300 kg/m³ y máximo 380 kg/m³.
- El Índice de Trituración total será de 4% máximo para las arenas y 20% máximo para los áridos gruesos. El Contratista deberá asegurar la calidad y homogeneidad de los áridos en su fuente de producción, previo a su traslado al sector de fabricación de hormigón. Para esto, deberá solicitar su recepción al Inspector Fiscal presentando los análisis que correspondan por cada tipo de árido y por cada 500 m³ a emplear, salvo que el Proyecto indique lo contrario.
- Particularmente en zonas, en que presumiblemente se espere algún tipo de meteorización, se aceptará sólo 3% de partículas desmenuzables en áridos gruesos
- El tamaño máximo nominal del material no podrá ser mayor a 40 mm, el Desgaste de Los Angeles, máximo 35%, el porcentaje que pasa por tamiz 0,08 mm (ASTM N° 200) debe ser de máximo 0,5% en peso.
- El árido grueso en proyectos de más de 5000 m³ se deberá además cumplir con los siguientes requisitos:

Requisito	Exigencia
Porcentaje de chancado	Entre 60% y 90%
Porcentaje de lajas (*)	Máximo 2%

(*) El porcentaje de lajas deberá ser determinado considerando sólo la fracción chancada del árido.

- El hormigón deberá ser dosificado por métodos tradicionales (Fauy, ACI, Método Ingles u otros), debiendo adicionalmente, chequear su granulometría mediante el método Shilstone, con el fin de conocer los correspondientes valores de los factores de grosor del árido (CF – Coarness Factor) y factor de Trabajabilidad (W), definidos en esta metodología de análisis de dosificaciones, de modo tal que se verifique si la combinación de estos dos valores sitúa a la dosificación de la mezcla en la zona recomendada para proyectos de pavimentación.
- Es importante advertir que la recomendación entregada por la aplicación de Shilstone es solamente para la visación de la dosificación de hormigones y no para efectos de controlar la banda granulométrica de trabajo.

Los beneficios de la inclusión de fibras en las mezclas de hormigón

La posibilidad de incorporar fibras, sintéticas o metálicas, en el hormigón no es un tema absolutamente nuevo, pero si se considera que su inclusión se lleva a cabo en hormigones para pavimentos este uso es de naturaleza reciente, el cual responde como alternativa de solución a problemáticas que pueden resolverse por la inclusión de macrofibras como parte integrante de una mezcla de hormigón.

En Chile el uso de las macrofibras en pavimentos para carreteras se encuentra aceptado y reconocido especificándose la resistencia residual que es necesaria y suficiente para responder a las exigencias a flexotracción que puede requerir un pavimento de hormigón bajo ciertas circunstancias de operación. Las especificaciones indican que con 1 MPa es más que suficiente para satisfacer las exigencias a las cuales puede verse sometido un pavimento.

La inclusión de macrofibras contribuye por un lado a la potencial reducción de los espesores en la estructura del pavimento, pero también a controlar algunos efectos que se presentan durante la fase de endurecimiento del hormigón.

Dentro de los aspectos en los que se ha venido trabajando en Chile para que hagan parte de las especificaciones de los proyectos de pavimentación con hormigón que consideren la inclusión de macrofibras, incluyen las siguientes consideraciones técnicas:

- Cada unidad que contenga fibra deberá protegerse de daños durante su transporte, del agua, de la luz solar y contaminantes, debiéndose mantener la envoltura original sellada (saco, caja u otra) hasta que el material sea utilizado en la obra. El producto deberá ser almacenado en lugares protegidos del sol, libres de humedad y alta temperatura.
- En todo caso, cualquier estudio de dosificación estará respaldado por ensayos que acrediten una resistencia especificada a la flexotracción de mínimo 4,5 MPa a los 90 días, u otra resistencia que especifique el Proyecto, considerando una fracción defectuosa del 20%. Si se especifica una resistencia a la compresión, la resistencia especificada a los 28 días será de mínimo 30 MPa en probeta cilíndrica, considerando una fracción defectuosa del 10%.
- Cuando el hormigón se especifique con fibra, éste deberá cumplir con una resistencia residual a la flexotracción mayor o igual a 1,0 MPa para L/150 a los 28 días, según la norma ASTM 1609. Se deberá considerar viga de sección 15 cm x 15 cm para ensaye de resistencia residual. En proyectos donde exista la posibilidad de tener un alto potencial de erosión en la base se recomienda utilizar un valor de 1,5 MPa de resistencia residual.
- La dosificación del hormigón deberá indicar la identificación de la fibra y la cantidad de ésta que se utilizará para cumplir con la resistencia residual especificada. Se deberá verificar que las propiedades del hormigón con fibra cumplen con lo

especificado, confeccionando hormigones de prueba, lo cual deberá ser informado en la dosificación.

- La incorporación de fibra al hormigón deberá realizarse en planta mediante un dosificador u otro medio mecánico que asegure una distribución homogénea de fibra dentro de la masa de hormigón, no serán aceptables erizos o acumulaciones de fibra.
- El control de la cantidad de fibra deberá ser realizado determinando el consumo diario de fibra al finalizar cada jornada de trabajo. Se aceptará la jornada de trabajo si el consumo real de fibra es mayor o igual a la cantidad teórica prevista según la dosificación.
- El Contratista deberá determinar la dosis de fibra cada 250 m³ de hormigón producido. Para esto deberá medir la cantidad de fibra en peso seco para un volumen conocido de hormigón no menor a 15 lt, según el siguiente procedimiento:
 - Colocar el volumen conocido de hormigón fresco en un recipiente con agua.
 - Agitar manualmente hasta disgregar el hormigón dentro del agua de modo que la fibra flote.
 - Recuperar la fibra en suspensión y lavarla.
 - Secar la fibra recuperada en horno de convección forzada a una temperatura no mayor a la especificada por el fabricante, hasta masa constante.
 - Pesar la cantidad de fibra.
 - Calcular contenido de fibra por m³ de hormigón e informar
 - Esta medición podrá ser realizada en planta o en camión. Se deberá informar el origen del muestreo junto con los resultados.

De otro lado, dado el desarrollo tecnológico y teniendo presente los análisis de costos que aparece fruto de una optimización de los espesores de las losas, en Chile se ha venido desarrollando un nicho dentro de los caminos de bajos volúmenes de tránsito (aunque no necesariamente bajos niveles de carga), lo cual hacen interesante, atractivo y principalmente viable la incursión del Hormigón en este tipo de caminos.

El fundamento principal de los denominados “pavimentos ultradelgados de hormigón con fibra” se encuentra en el mejor aprovechamiento de lo que existe, es decir plataformas de camino, en ripio o tierra, completamente estables y consolidadas por la repetición de las cargas sobre ellas a lo largo del tiempo, con lo cual se tienen plataformas con capacidades de soportes interesantes y suficientes para procurar la eliminación de bases con material de préstamo y la construcción del pavimento de Hormigón sobre dicha superficie, lo cual permite una comparación objetiva y justa de paquetes estructurales que como alternativa de solución son económicamente competitivos e interesante desde la perspectiva sustentable. En síntesis, la idea es que en esta solución se construya directamente sobre la rasante de camino pre-existente previamente perfilada y nivelada, de modo de así obviar el material de préstamo para la base.



Figura 2: Ruta G84, caso de pavimentos ultradelgados de hormigón con fibra (Fuente: ICH)

La incorporación de conceptos como el diseño de losas cortas y de materiales que como las fibras amplían el espectro de resistencia y óptimo desempeño del Hormigón entregan esta posibilidad. Lo que hace realmente competitiva a esta solución son los espesores de losa que pueden llegar a manejarse los cuales van desde los 8 cm hasta aproximadamente los 12 cm, dicho espesor se diseña según el tipo de suelo, tránsito y clima que se tenga en el proyecto en cuestión.

La inclusión de fibras permite asegurar un mejor comportamiento estructural de la losa que tendría un espesor significativamente menor al que tradicionalmente se maneja, por tanto podría verse sometida a esfuerzos en donde la fibra debiera contribuir a soportarlos y controlarlos. Además, la presencia de la fibra ante la eventual aparición de fisuras en el Hormigón, éstas sean contenidas por la acción de las fibras. Para asegurar lo anterior, se debe garantizar la dosis de fibra suficiente para que se cumpla con la especificación de resistencia residual que se haya definido para el proyecto, usualmente de 1 MPa.

Sellar o no sellar

El tema en sí mismo de sellar o no sellar genera controversia y opiniones muy diversas. En el caso de Chile la discusión se reduce y cada vez se observa una mayor tendencia en el uso de juntas generadas por cortes delgados con discos cuyo espesor en promedio es de 3mm aprox., lo cual proporciona una abertura en la junta donde no habría espacio suficiente para colocar el sello o incluso el cordón de respaldo siquiera.

Ante la preocupación sobre si esta medida y tendencia ocasionarían problemas posteriores en la losa o en el desempeño del pavimento en general, la experiencia y los años de servicio de varios pavimentos construidos en lugares en donde inclusive los niveles de precipitación son elevados revelan que no se han presentado inconvenientes y los pavimentos operan con normalidad. Lo que sí es importante comentar es que la especificación técnica exige la colocación de subdrenajes longitudinales que capten el agua que pudiese infiltrarse por el costado del pavimento.

El desafío de la rápida apertura al tránsito.

La incursión de conceptos y tecnologías ampliamente conocidos desde hace mucho tiempo atrás dentro de la tecnología del Hormigón, pero aplicados específicamente al mundo de los pavimentos, como sería el concepto de la “madurez”, entregan una alternativa concreta al desafío de la rápida apertura al tránsito. La idea es que aprovechando el conocimiento de la relación directamente proporcional entre madurez y resistencia pueda este concepto utilizarse como herramienta y mecanismo para procurar acelerar la puesta en servicio y que a su vez se tenga un medio que permita verificar objetivamente el momento en que es posible hacerlo.

La estrategia en este caso consiste en que sabiendo que controlando y aprovechando adecuadamente el cambio de temperatura que naturalmente tiene el Hormigón durante su proceso de endurecimiento, se tomen medidas para acelerar este proceso y lograr la madurez del Hormigón que asegure una resistencia suficiente en un corto lapso de tiempo para poder ofrecer la posibilidad de abrir al tránsito antes de lo acostumbrado.

La idea por supuesto es desarrollar un nivel de resistencia temprano sin apelar al uso de aditivos sino simplemente controlando los procesos de curado y el calor de hidratación, empleando técnicas de protección tales como mantas húmedas que cubran e incluso encapsulen la superficie del pavimento recién construido de modo que el mismo calor de hidratación favorezca la madurez del Hormigón.



Figura 2: Medición con madurimetro en terreno (Fuente: ICH)

Es importante y necesario saber si un Hormigón tiene la madurez que asegure el mínimo de resistencia. En este sentido, es necesario encontrar previamente la relación entre madurez y resistencia para la mezcla de Hormigón que se utilizara en el pavimento, mediante probetas de ensayo en laboratorio a las cuales se mida su temperatura (empleando un madurimetro) y resistencia (mediante ensayos de compresión) a diferentes edades, con la intención de conocer el comportamiento que tendría el pavimento en su proceso normal de endurecimiento.

Posteriormente, una vez se conoce la información de madurez y resistencia, es decir a partir de la toma de registros de datos, pertenecientes a la evolución de la temperatura que va teniendo el Hormigón mediante el uso de sensores incluidos en el mismo durante la construcción que puedan ser conectados a un madurimetro. Se procede con esta información a estimar el nivel de resistencia que tendría el pavimento en ese preciso momento deduciendo este dato de la correlación obtenida en laboratorio. Una vez se verifique que la madurez alcanzada corresponde a la resistencia mínima necesaria se podría habilitar la apertura al tránsito, ganando con ello tiempo y mejorando la eficiencia.

Es importante advertir que para poder implementar esta estrategia se debe tener el cuidado tanto en la obtención de las curvas de madurez versus resistencia, pero sobretodo tomar acciones efectivas mediante técnicas y cuidados que aseguren que efectivamente el hormigón madurará mucho más rápido de lo habitual.

En este sentido, en Chile desde hace varios años se exige en las especificaciones técnicas el monitoreo y medición de registros de madurez para agilizar la apertura al tránsito, aunque también toman estos datos como referencia sobre con que madurez correspondería llevar a cabo el corte en las juntas de contracción.

Comentarios finales

En el artículo se hace mención a aquellas tendencias sobre las cuales ya se han hecho algunos avances y tenido experiencias por parte del Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile – ICH, pero no significan que sean las únicas o que ellas representen las de mayor incidencia o impacto exclusivo en el futuro, pero lo que si plantean es que sobre la experiencia chilena en un plazo mucho más cercano estén al alcance su implementación en Latinoamérica.

Bibliografía

Covarrubias, J.P. Guía de diseño estructural de pavimentos delgados con fibra para caminos de bajo volumen de tránsito. TCPavements. 2015

MOP. Instructivo de Difusión de Nuevas Tecnologías y Especificaciones Técnicas Pavimentos – Laboratorio Nacional de Vialidad - Dirección de Vialidad Ministerio de Obras Publicas de Chile. 2012

Salsilli, R. et al Field performance of concrete pavements with short slabs and design procedure calibrated for Chilean conditions. International Journal of Pavement Engineering. 2014

Taylor, O. et al Concrete Pavement Mixture Design and Analysis (MDA): An Innovative Approach To Proportioning Concrete Mixtures. National Concrete Pavement Technology Center. 2015