



Fisuras de contracción en pavimentos de hormigón y el aserrado de juntas

M. F. Barreda¹, M. J. Naber¹, I. Quispe Sallo¹, J. D. Sota¹

¹LEMaC – Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata-60 y 124 -1900 La Plata.

Información del artículo

DOI:

<http://dx.doi.org/10.21041/ra.v3i2.47>

Artículo recibido el 16 de Marzo de 2013, revisado bajo las políticas de publicación de la Revista ALCONPAT y aceptado el 17 de Mayo de 2013. Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el tercer número del año 2014 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del tercer número del año 2013

RESUMEN

Los cambios volumétricos por variaciones de temperatura y contenido de humedad en el hormigón endurecido de los pavimentos, que por sus restricciones impiden su deformación, causan tensiones de tracción, provocando fisuras aleatorias. La presencia de fisuras de contracción en los pavimentos de hormigón, reducen su vida útil y generan costos de mantenimiento importantes. Es necesario definir a priori la ubicación de las fisuras aserrando el pavimento. Las zonas aserradas crean planos de debilidad donde se forman las fisuras, siendo crítico el momento oportuno para realizar el aserrado de las juntas de contracción en los pavimentos. El período óptimo para efectuar el aserrado se denomina ventana de aserrado. El objetivo de este trabajo es (poner objetivo). Entre los resultados obtenidos se puede decir que (dar resultados). Los estudios son parte de un Proyecto de I+D.

Palabras Clave: contracción; hormigón; pavimentos; juntas; fisuras.

ABSTRACT

In the hardened concrete of pavements, with limited deformation, volumetric changes due to variations in temperature and humidity cause tensile stresses, with subsequent cracks random. The presence of shrinkage cracks in concrete pavements, reduces its service life and generates substantial maintenance costs. It is necessary to define a priori the location of cracks, by sawing the pavement. Sawn areas create planes of weakness where cracks form, being critical the right time to saw the contraction joints in pavements. The optimal time to perform the sawing is called sawing window. In this paper the first results about concrete pavements are recorded, establishing sawing times, comparing cylindrical compressive strength, maturity of concrete and ultrasonic pulse values. The studies are part of a R & D project.

Keywords: contraction; concrete; pavements; joints; cracks.

Autor de contacto: José Daniel Sota (jdsota@gmail.com)

© 2013ALCONPAT Internacional

Información Legal

Revista ALCONPAT, Año 3, No. 2, Mayo – Agosto 2013, es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A.C., Av. Zamná No. 295 entre 61 y 63 Fraccionamiento Yucalpetén, Mérida, Yucatán, México, C.P. 97248, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Página Web: www.alconpat.org
Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, ISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Av. Zamná No. 295 entre 61 y 63 Fraccionamiento Yucalpetén, Mérida Yucatán, México, C.P. 97248, fecha de publicación: 30 de mayo de 2013.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor. Queda totalmente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la ALCONPAT Internacional A.C.

1. INTRODUCCIÓN

El diseño de juntas en los pavimentos de hormigón es el responsable del control de la fisuración, así como de mantener la capacidad estructural del pavimento y su calidad de servicio en los más altos niveles al menor costo.

La necesidad del sistema de juntas es el resultado del deseo de controlar la fisuración transversal y longitudinal. Esta fisuración se presenta por la combinación de varios efectos: la contracción por secado del hormigón, las variaciones de humedad y de temperatura, la aplicación de las cargas del tránsito, las restricciones de la subrasante, terreno de apoyo y también por ciertas características de los materiales empleados.

Los tipos de juntas más comunes en los pavimentos de hormigón son: longitudinales, transversales y de expansión.

Las juntas longitudinales se instalan para controlar la fisuración longitudinal, espaciándose a intervalos de 2,50 m a 4,00 m, coincidiendo generalmente con las líneas divisorias de las trochas de tránsito. No es aconsejable superar el intervalo de 4,00 m, a menos que la experiencia local indique que el pavimento con esas condiciones ha observado comportamiento satisfactorio. Estas juntas llevan normalmente barras de unión que impiden la separación de sus bordes.

Las juntas transversales, denominadas de contracción, controlan la fisuración transversal al disminuir las tensiones de tracción que se originan cuando la losa se contrae y las tensiones que causa el alabeo producido por diferenciales de temperatura y de contenido de humedad en el espesor de la losa. Cualquiera que fuere el procedimiento constructivo de las juntas, la profundidad de la ranura debe ser por lo menos igual a un cuarto del espesor de la losa.

El objeto de las juntas de expansión es disminuir las tensiones de compresión, proveyendo un espacio entre losas, que permita el movimiento del pavimento cuando se expande. Cuando las juntas de contracción están adecuadamente separadas, la necesidad de las juntas de expansión depende, en gran medida, de la temperatura ambiente predominante durante la construcción y de las características de expansión del agregado grueso empleado. El objetivo de este trabajo es...

2. GENERALIDADES

2.1. Juntas de contracción

Las juntas de contracción se ejecutan transversalmente al eje del camino con el objeto de reducir las tensiones de tracción que se producen cuando el hormigón se contrae, ya sea por un enfriamiento de su masa o por pérdida de humedad. Estas juntas también reducen las tensiones longitudinales producidas por las cargas y por el alabeo de las losas. Ejecutadas a distancias adecuadas, permiten controlar la ubicación de las fisuras transversales. La junta debilita la sección transversal del pavimento y ocasiona la aparición de la fisura en un lugar predeterminado, que es la junta misma, Figura 1. Además, la junta de contracción provee el espacio necesario para colocar el sellador, que evita que el agua y materiales extraños ingresen a la junta, entorpezcan su funcionamiento y debiliten la superficie de apoyo del pavimento.



Figura 1. El corte ocasiona la aparición de la fisura en la junta (Taylor P.; et al, 2007)

Figura 2. Junta aserrada demasiado tarde (Taylor P.; et al, 2007)

2.2. El momento oportuno para realizar el aserrado

La técnica del aserrado de juntas en los pavimentos de hormigón ha sido universalmente aceptada como medio para ejecutar los distintos tipos de juntas y controlar la formación de fisuras erráticas, en todo tipo de pavimentos.

Los resultados que se obtengan en el control de aparición de las fisuras erráticas de contracción dependerán, en gran parte, de que las operaciones de aserrado se realicen en el momento oportuno, Figura 2.

El aserrado debe iniciarse tan pronto como sea posible, con el fin de evitar que las fisuras de contracción aparezcan en las losas antes de cortar las ranuras en las cuales se las desea canalizar.

Las operaciones de corte deberán comenzarse tan pronto el hormigón haya endurecido lo suficiente como para evitar que la superficie del pavimento resulte dañada, para que el corte sea nítido, sin roturas ni desprendimientos del hormigón ni del mortero adyacente al corte que se practica, y sin que el agua que se emplea para enfriar el disco cortante perjudique al hormigón. Si al realizar la operación se observase alguno de los inconvenientes indicados, el aserrado deberá suspenderse hasta que pueda realizarse sin dificultades.

Algunos de los factores que influyen sobre el momento preciso de realizar la operación son: el tipo y dureza del agregado grueso, el método de curado, el contenido de cemento del hormigón y la temperatura y demás condiciones climáticas imperantes.

Debe tenerse presente que la contracción por secado del hormigón está directamente vinculada con su contenido unitario de agua y con las condiciones climáticas que puedan favorecer más, o menos, la evaporación del agua libre contenida en su masa.

Mientras más pueda demorarse la evaporación del agua libre más demorará el hormigón en contraerse y más tiempo disponible se tendrá para iniciar las operaciones de corte.

El curado adquiere una importancia fundamental y el empleo de los compuestos líquidos de calidad satisfactoria, que permiten formar membranas impermeables de curado, constituyen una ayuda efectiva para que resulte menos crítico el momento de efectuar el aserrado.

En términos generales puede decirse que el momento preciso de iniciar el aserrado debe determinarse experimentalmente para cada obra y para las condiciones particulares de materiales y de clima correspondientes a la misma en el momento de realizar la operación (Fava A.;Zuker J., 1971).

2.3.La ventana de aserrado

Existe un momento óptimo para aserrar juntas de contracción en los pavimentos de hormigón. Ese momento se produce dentro de la ventana de aserrado, Figura 3.

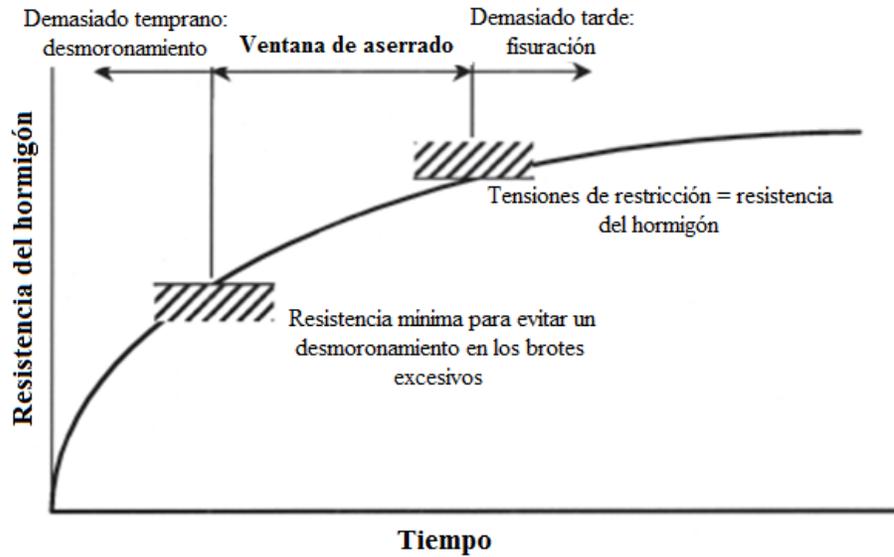


Figura 3. Ventana de aserrado (ACPA, TB016.01P, 2002).

La ventana es un período corto después de la colocación cuando se puede cortar el pavimento de hormigón correctamente y controlar la formación de fisuras.

Comienza cuando la resistencia del hormigón es suficiente para aserrar sin excesivo desmoronamiento en los bordes a lo largo del corte. La ventana de aserrado termina cuando el volumen del hormigón se reduce significativamente (debido a contracción por secado o por temperatura) y la restricción de la contracción induce tensiones de tracción mayores que la resistencia a la tracción del hormigón, es decir, cuando comienza la fisuración aleatoria.

La Figura 4 muestra diferentes grados de desmoronamiento:

a) Desmoronamiento inaceptable: aserrado demasiado pronto



b) Desmoronamiento moderado: aserrado temprano en la ventana



c) Sin desmoronamiento: aserrado más tarde en la ventana



Figura 4. Grados de desmoronamiento en los bordes de la junta causado por el aserrado (Taylor P.; et al, 2007)

Un estudio encontró que el desmoronamiento en los bordes de la junta estaba dentro de límites aceptables cuando la resistencia a compresión del hormigón era de 1.0 MPa a 7.0 MPa, dependiendo del tipo de agregado en la mezcla y considerando contenidos de cemento diferentes, Tabla 1.

El refinamiento de un número de umbral de resistencia específica para ser utilizado en un proyecto puede obtenerse mediante la utilización del principio de madurez del hormigón.

Tabla 1. Resistencia a la compresión cilíndrica necesaria para comenzar el aserrado usando equipo convencional (ACI 325.11R-01, 2001)

Forma del agregado grueso	Dureza del agregado grueso	Contenido de cemento kg/m ³	Corte aceptable (algún desmoronamiento en los bordes) MPa	Corte excelente (casi sin desmoronamiento en los bordes)MPa
Triturado	Blando	300	2.5	3.9
		385	2.2	3.7
		475	1.9	3.4
Triturado	Duro	300	4.9	7.0
		385	4.8	6.8
		475	4.7	6.6
Redondeado	Blando	300	1.4	2.5
		385	1.0	2.1
		475	1.0	1.8
Redondeado	Duro	300	3.3	4.9
		385	3.1	4.8
		475	2.9	4.6

La duración de la ventana de aserrado, al depender de muchos factores, es probable que sea diferente para cada proyecto y para cada jornada de construcción. Ciertas características de diseño, materiales o las condiciones meteorológicas pueden acortar considerablemente la ventana “Tabla 2”.

Tabla 2. Factores que influyen en la ventana de aserrado (ACPA, TB016.01P, 2002)

Categoría	Factor
Mezcla de hormigón	Alta demanda de agua
	Rápida resistencia temprana
	Fraguado retardado
	Agregado fino (finura y granulometría)
	Agregado grueso (tamaño máximo y/o %)
Clima	Repentino descenso de temperatura o chaparrón
	Repentino aumento de temperatura
	Fuertes vientos y baja humedad
	Bajas temperaturas y nublado
	Altas temperaturas y soleado
Base	Alta fricción entre la base y la losa de hormigón
	Adherencia entre la base y la losa de hormigón
	Superficie seca
	Materiales porosos
Miscelánea	Pavimentación contra o entre calles existentes
	Selección del disco cortante de la sierra
	Retraso en el curado

La aplicación del ensayo de madurez del hormigón en obra, Figura 5, permite conocer el desarrollo de la resistencia del hormigón del pavimento en tiempo real. Este conocimiento permite comprender la influencia de las condiciones ambientales en el perfil de resistencia del hormigón y, consecuentemente, en la ventana de aserrado (ACPA, TB016.01P, 2002).



Figura 5. Medidor de madurez del hormigón

3. PROYECTO EN EJECUCIÓN Y RESULTADOS PRELIMINARES

En la actualidad, la determinación del momento adecuado para aserrar juntas de contracción transversales en obra está basada en la experiencia del operador de la sierra y en una prueba simple y subjetiva que consiste en el rayado de la superficie del pavimento. El operador de la sierra generalmente realiza cortes algunas horas después de la finalización del hormigonado, es decir que el aserrado de juntas es más un arte que una ciencia en términos de determinar la ventana de aserrado adecuada para cada obra.

El LEMaC es un Centro de Investigaciones Viales de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata, donde se está trabajando en un proyecto de investigación y desarrollo denominado “Control de la fisuración en pavimentos de hormigón: juntas de contracción”, cuyo objetivo principal es establecer el momento oportuno para realizar el aserrado de juntas de contracción transversales en los pavimentos de hormigón, es decir, determinar la ventana de aserrado para el rango de parámetros medioambientales y materiales empleados habitualmente en la ciudad de La Plata, Provincia de Buenos Aires, República Argentina, y alrededores, mediante la aplicación de técnicas no destructivas tales como madurez y ultrasonido.

El trabajo plantea la determinación del momento adecuado para efectuar el aserrado de juntas partiendo de parámetros obtenidos de la aplicación de ensayos no destructivos que están relacionados con el grado de endurecimiento del hormigón. De esta forma, el comienzo del aserrado ya no dependerá de la subjetividad del operador de la sierra sino que estará subordinado a la resistencia del hormigón medida “*in situ*”.

El tiempo de aserrado es afectado considerablemente por el clima, el diseño de la mezcla de hormigón y el tiempo de fraguado. La ventana de aserrado obtenida en el trabajo, que será válida para los materiales y las condiciones climáticas habituales en la ciudad de La Plata y alrededores, podría ampliarse con experiencias realizadas por otros centros de investigación e integrar en el futuro una red más extensa, que contemple el aserrado de juntas de contracción en diferentes regiones del país, con sus respectivos materiales y climas.

Como primera etapa de este trabajo se desarrolló una metodología que permitió ajustar una dosificación con los materiales locales y en concordancia con los pavimentos urbanos del Partido de La Plata.

Las conclusiones obtenidas del trabajo podrían ser consideradas como punto de partida para el desarrollo de especificaciones referidas a la determinación del momento oportuno para realizar el aserrado de juntas, que incorporen el concepto de la ventana de aserrado y puedan ser incluidas en los pliegos de reparticiones municipales y provinciales.

4. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

Se diseñó una mezcla de hormigón apta para pavimentos, de las características y con los materiales empleados habitualmente en el Partido de La Plata, Provincia de Buenos Aires, República Argentina. Como aglomerante se usó un cemento pórtland compuesto con adición de “filler” calcáreo y escoria, con una resistencia de 40 MPa (CPC 40).

Como agregado grueso se empleó piedra partida granítica en dos tamaños (10:30 y 6:20) combinados (40/60 % respectivamente) y como agregado fino, arena silíceo natural (módulo de finura = 1,15) y arena granítica de trituración (0:6) (módulo de finura = 3,36) combinadas (25/75 % respectivamente), Tabla 3. La denominación de los agregados provenientes de la trituración artificial de las rocas, es la empleada habitualmente en corralones, canteras y obras, y corresponde al tamaño mínimo y máximo, expresado en mm, de los trozos que los constituyen.

Tabla 3. Granulometría de los agregados y sus combinaciones

Granulometrías de los agregados utilizados y sus combinaciones (% Pasa)							
Muestras Tamices	Grueso 10:30 Granítico	Grueso 6:20 Granítico	40% (10:30) 60% (6:20)	Fino 0:6 Granítico	Fino Silíceo	75% (0:6) 25% (silíceo)	Curva Total
2”	100	100	100				100
11/2 “	100	100	100				100
1”	95	100	98				99
3/4”	30	93	68				82
1/2“	3	43	27				58
3/8“	2	21	13	100	100	100	50
4	2	2	2	94	100	95	42
8	2	1	1	66	100	75	33
16				46	100	59	25
30				28	96	45	19
50				21	78	35	15
100				9	11	10	4

El aditivo usado fue un plastificante, recomendado para el uso en hormigones de pavimentos, con el fin de reducir agua de mezclado manteniendo la trabajabilidad del hormigón.

Se diseñó un hormigón respetando las exigencias establecidas en el Pliego de Especificaciones Técnicas de la Dirección Nacional de Vialidad, Tabla 4.

Tabla 4. Dosificación tipo para el Partido de La Plata

Dosificación de Hormigón para Pavimento	
Material	Peso [kg/m ³]
Agua	160
Cemento CPC 40	360
Piedra Partida Granítica 10:30	425
Piedra Partida Granítica 6:20	638
Arena silíceo	204
Arena de trituración granítica 0:6	611
Aditivo plastificante	0,8
a/c	0,44

Con el fin de poder estimar el momento oportuno para efectuar el aserrado de las juntas en pavimentos confeccionados con el hormigón considerado, se determinó la correlación entre la resistencia a compresión y la velocidad de pulso ultrasónico y la correlación entre la resistencia y la madurez del hormigón.

El medidor de madurez utilizado permitió el cálculo simultáneo de dos valores de madurez diferentes, empleando las expresiones de Nurse-Saúl y de Arrhenius. En el primer caso, se calcula el factor temperatura-tiempo de la forma siguiente:

$$M(t) = \sum(T_a - T_o) \Delta t \quad (1)$$

donde:

M (t) = factor temperatura-tiempo a la edad t (°C.h)

Δt = intervalo de tiempo (h)

T_a = temperatura promedio del hormigón durante el intervalo de tiempo Δt (°C)

T_o = temperatura de referencia (°C)

En el segundo caso, la función empleada permite adquirir la edad equivalente como sigue:

$$t_e = \sum e^{-Q \left(\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_s} \right)} \Delta t \quad (2)$$

donde:

t_e = edad equivalente a la temperatura especificada T_s (h)

Q = energía de activación dividida por la constante universal de los gases (K)

T_a = temperatura promedio del hormigón durante el intervalo de tiempo Δt (K)

T_s = temperatura especificada (K)

Δt = intervalo de tiempo (h)

5.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 5 muestra los valores de resistencia a compresión - velocidad ultrasónica, obtenidos a las mismas edades. La velocidad ultrasónica fue determinada sobre una probeta prismática aplicando el método de medición indirecta o superficial, colocando los transductores en la misma cara.

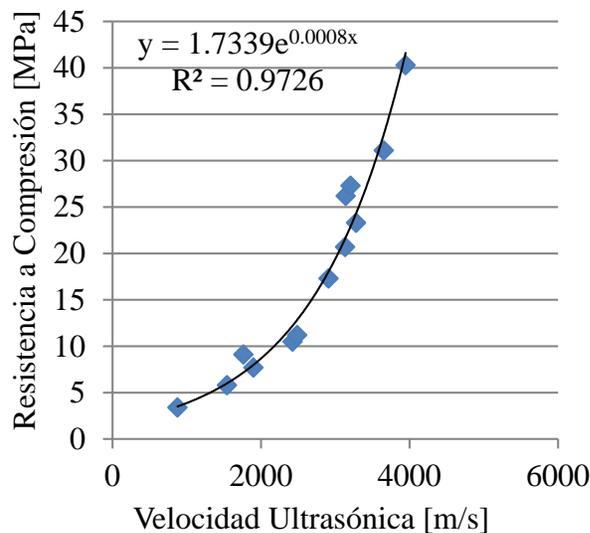


Figura 5. Valores de resistencia a compresión - velocidad ultrasónica.

Esta forma de realizar las mediciones fue utilizada debido a que en los pavimentos generalmente se tiene acceso a una sola cara del hormigón. Se obtuvo una curva de correlación que responde a la ecuación 1:

$$y = 1,7339e^{0,0008x} \quad (3)$$

donde:

y = resistencia a compresión (MPa)

x = velocidad ultrasónica (m/s)

En la Figura 6 se observan las curvas de correlación resistencia a compresión – factor temperatura - tiempo, obtenidas mediante el empleo de dos de los cuatro canales disponibles en el equipo de medición empleado. Las ecuaciones obtenidas son las siguientes (4 y 5):

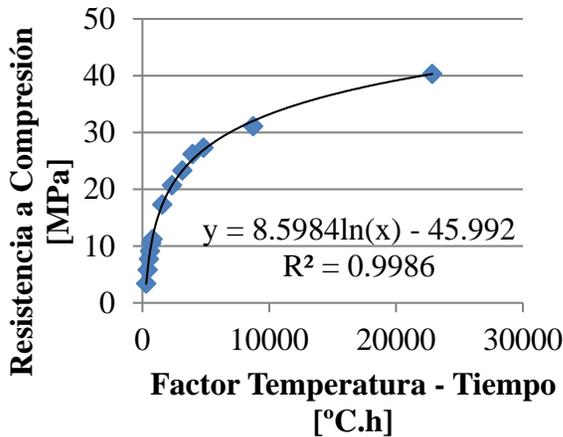
$$y = 8,5984\ln x - 45,992 \quad (4)$$

$$y = 8,5803\ln x - 45625 \quad (5)$$

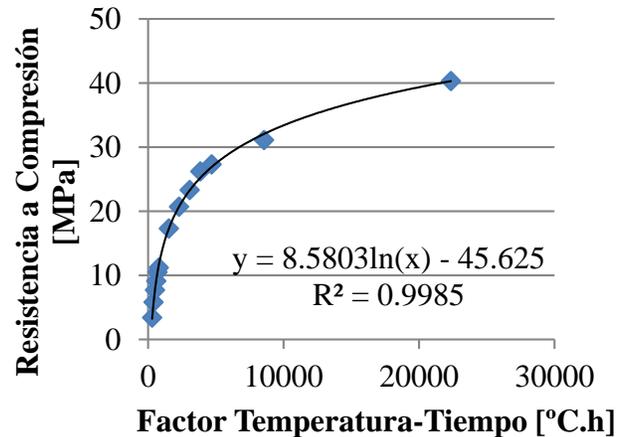
donde:

y = resistencia a compresión (MPa)

x = factor temperatura-tiempo (°C.h)



(a)



(b)

Figura 6. Curvas de correlación resistencia a compresión – factor temperatura – tiempo.

(a) Ecuación 4 y (b) Ecuación 5.

En la Figura 7 se observan las curvas de correlación resistencia a compresión – edad equivalente, obtenidas mediante el empleo de dos de los cuatro canales disponibles en el equipo de medición empleado. Las ecuaciones obtenidas son las siguientes (6 y 7):

$$y = 8,5903\ln x - 17,462 \quad (6)$$

$$y = 8,5445\ln x - 16,829 \quad (7)$$

donde:

y = resistencia a compresión (MPa)

x = edad equivalente (h)

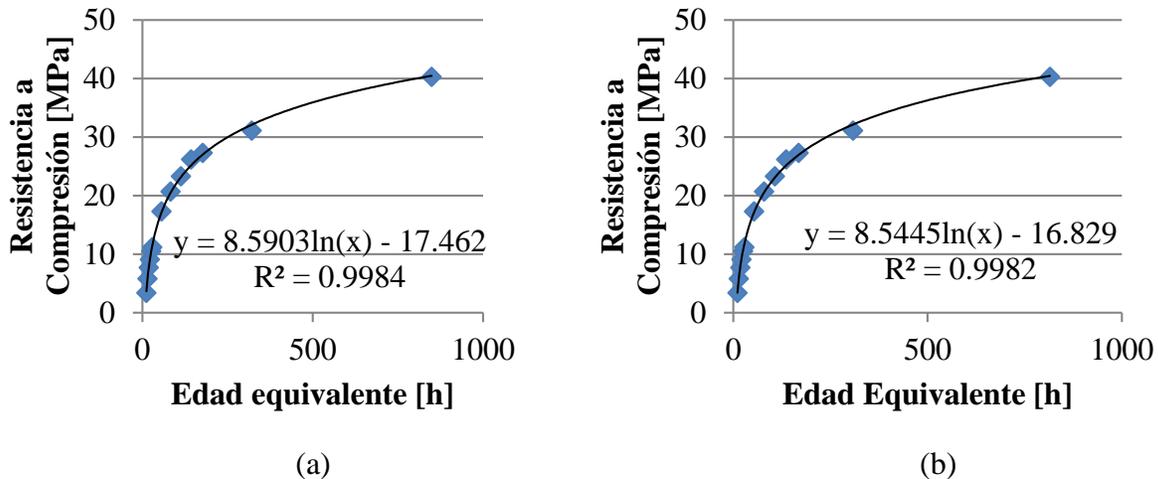


Figura 7. Curvas de correlación resistencia a compresión – edad equivalente.
(a) Ecuación 6 y (b) Ecuación 7.

Considerando en la Tabla 1 la fila correspondiente al hormigón cuyas características más se aproximan al hormigón en estudio, se obtendría un corte aceptable para una resistencia a compresión del hormigón de 4,8 MPa y un corte excelente para una resistencia de 6,8 MPa. Aplicando la ecuación 3, estos valores de resistencia corresponden a valores de la velocidad ultrasónica de 1272,8 m/s y 1708,2 m/s, respectivamente.

Aplicando la ecuación 4, los valores de resistencia considerados corresponden a valores del factor temperatura-tiempo de 367,7°C. h y 463,9 °C. h, respectivamente.

Aplicando la ecuación 6, los valores de resistencia contemplados corresponden a valores de la edad equivalente de 13,4 h y 16,8 h, respectivamente.

Es decir que el aserrado puede realizarse sin inconvenientes cuando los valores determinados sobre el pavimento en construcción, obtenidos a través de los métodos de ultrasonido o madurez, coincidan con los obtenidos en laboratorio mediante la aplicación de las ecuaciones precedentes.

5. CONCLUSIONES

Los métodos utilizados son confiables en este tipo de hormigones y tienen buena reproducibilidad de resultados en las condiciones ensayadas.

Se pueden establecer con confianza anticipadamente, parámetros obtenidos mediante la aplicación de técnicas no destructivas, para controlar la ventana de aserrado en pavimentos urbanos con acopios de materiales controlados.

Se debería realizar un ajuste final con las temperaturas imperantes durante la época del año en que se construye el pavimento.

6. BIBLIOGRAFÍA

ACI 325.11R-01 (2001), “*Accelerated Techniques for Concrete Paving*”.

ACPA, TB016.01P (2002), “*Early Cracking of Concrete Pavements – Causes and Repairs*”, Skokie, Illinois.

ASTM C 1074 (1998), “*Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method*”.

Dirección Nacional de Vialidad (1998), “*Pliego de Especificaciones Técnicas Generales*”.

Fava A., Zuker J. (1971), “*Técnicas y Equipos Actuales para el Aserrado de Juntas en los Pavimentos de Hormigón*”, VI Simposio del Equipo Vial, Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires, Publicación N° 95: pp. 117 –140.

IRAM 1683 (1990), “*Hormigón de Cemento Portland, Método para Determinar la Velocidad de Pulsos Ultrasónicos*”.

Taylor P., et al (2007), “*Integrated Materials and Construction Practices for Concrete Pavement: a State-of-the-Practice Manual*”, FHWA Publication No. HIF - 07 – 004.