

Título: ENSAYO METODOLOGÍA DE COLOCACIÓN DE MEMBRANAS DE CURADO EN PAVIMENTOS DE HORMIGÓN

Autores:

Juan Pablo Covarrubias V., Ing. Civil TCPavements

Avenida Suecia 81 Depto. 103, Santiago, Chile

E-mail:juanpablo.covarrubias@tcpavements.com

Tel + 56 2 658 1321

Luis Hernán Perú, Ing. Civil

E-mail:lhernanpg@gmail.com

Innovación Tecnológica para la Infraestructura Vial

10^{mo} Congreso PROVIAL

8 - 11 de Octubre de 2012, Santiago

Fecha de envío:	30 de abril 2012
Número de palabras:	3830 palabras
Número de figuras y tablas:	17 (1000 palabras)
TOTAL	20.830 palabras

Resumen

El proceso de curado del hormigón es aquel que asegura la correcta evolución de las propiedades de éste en la superficie, evitando su secado superficial. Esto mejora la hidratación del cemento bajo condiciones de temperatura y humedad ambiente de construcción. Los pavimentos tienen toda su superficie expuesta a las variables medio ambientales que permiten la evaporación del agua y por ende el secado prematuro de la superficie, tales como viento, temperatura ambiente y humedad relativa del aire, pudiendo producir grandes evaporaciones desde la superficie del hormigón, haciendo que éste se agriete y pierda resistencia superficial. Es por eso que el tipo de curado que se elija tiene que ser el indicado para lograr la hidratación del cemento y evitar la pérdida de agua.

Dada la importancia del curado en el proceso de hidratación del hormigón y con el fin de buscar una solución óptima a este proceso, se compararon distintos productos disponibles en el mercado y tiempos de aplicación de modo de encontrar una solución óptima a este fenómeno.

En el estudio se busca encontrar la mejor metodología para curar el hormigón. En vez de medir la evaporación de agua se busca medir el comportamiento de la superficie. Las propiedades relevantes que se buscan, para un pavimento duradero son agrietamiento y desgaste superficial.

1.- Introducción

1.1- Curado del Hormigón

El curado del hormigón garantiza las condiciones óptimas de humedad y temperatura necesaria para que el hormigón desarrolle su resistencia, reduciendo la porosidad de la pasta y haciendo que el ingreso de la humedad disminuya. Esto garantiza que la estructura cumpla con la vida útil de diseño.

Un estudio realizado por Sawyer en 1957, muestra cómo varía el desgaste superficial del hormigón ensayado a distintos días de curado. Los resultados del estudio son mostrados en la figura 1

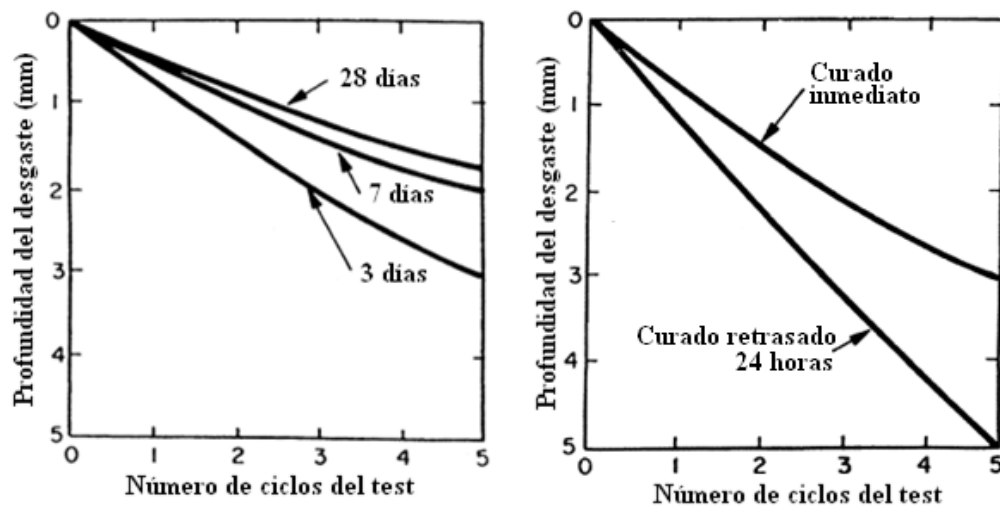


Figura 1: Efecto del curado sobre la resistencia a la abrasión y su aplazamiento.

1.2- Duración e Influencia del Curado

La duración necesaria para el curado del hormigón depende de las siguientes características:

Condición ambiental.

Composición y dosificación de la mezcla, y relación agua/cemento (en adelante, a/c).

Propiedades deseadas.

Tasa de desarrollo de estas propiedades durante y después del curado.

Eficiencia del método.

El tiempo mínimo de curado va a depender de las propiedades que se desarrollen más lentamente.

Para el curado de losas o pavimentos, el Instituto Americano del Concreto (en adelante, ACI), recomienda que los tiempos mínimos de curado del hormigón sean los mostrados en la tabla 1 o el tiempo que sea necesario para alcanzar un 70% de la resistencia especificada, ya sea a la compresión o flexión. Esto se debe aplicar cuando la temperatura media diaria ambiente es superior a los 5 °C.

Si las temperaturas medias diarias están por debajo de los 5°C, se tienen que tomar las medidas necesarias para prevenir daños causados por el congelamiento del agua. Estas medidas se pueden encontrar en el documento del ACI 306R.

Tabla 1: Período mínimo de curado para los distintos tipos de cementos.

Norma ASTM C 150	Periodo mínimo de curado
Tipo I	7 días
Tipo II	10 días
Tipo III	3 días
Tipo IV o V	14 días

1.3- Consideraciones Para el Curado del Hormigón

La evaporación del agua superficial en el hormigón depende principalmente de la temperatura ambiente, humedad relativa del aire, temperatura del hormigón y velocidad del viento. Una combinación desfavorable de estas variables puede incrementar la tasa de evaporación de la superficie del hormigón, lo que aumenta el riesgo de fisuración por retracción plástica y además su durabilidad.

En tal caso, se deben tomar medidas adicionales en el curado del hormigón, de modo de proteger las superficies de las pérdidas excesivas de humedad.

1.4- Retardador de evaporación como curado inicial

Los retardadores de evaporación son compuestos orgánicos capaces de producir una película molecular sobre el agua de exudación, reduciendo su evaporación y logrando que el hormigón inicialmente se cure.

En términos químicos, consisten en una cadena de hidrocarburos hidrófugos (repelen el agua) que está unida a un grupo de alcoholes hidrófilos (atraen el agua) (Thorpe et al, 1965). De esta manera, el agua de exudación se une al alcohol (que está encadenado a los hidrocarburos), siendo incapaz de vencer el enlace químico. La siguiente figura muestra lo explicado.

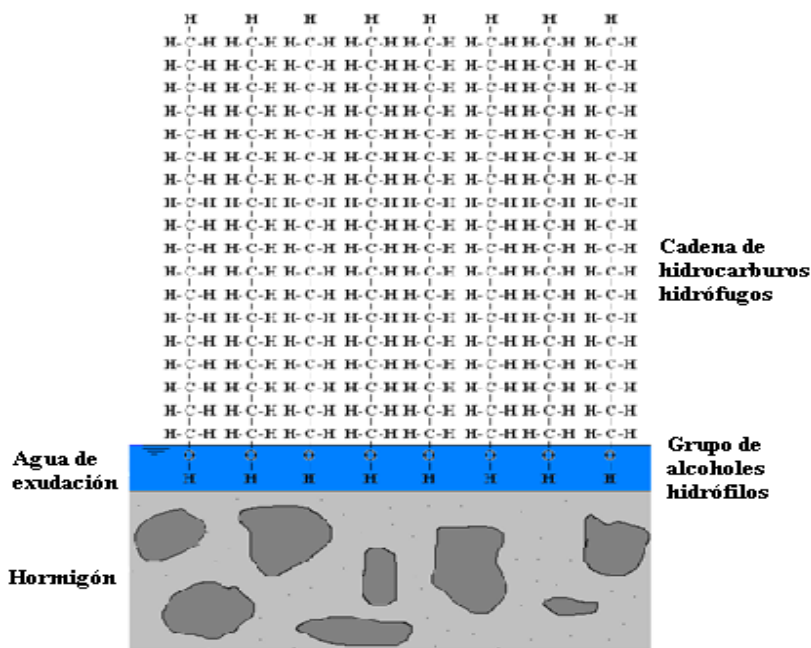


Figura 2: Sistema químico de un retardador de evaporación.

Los retardadores de evaporaciones generalmente son utilizados para darle un acabado superficial a los pisos industriales. Algunos pisos industriales son utilizados para el tránsito de vehículos, considerados como pavimento. En la práctica, sin embargo, no se ha demostrado la eficacia en pavimentos.

1.5- Curado en base de silicatos de litio

El litio de curado está compuesto fundamentalmente por silicato de litio y funciona reaccionando con el hidróxido de calcio, un subproducto de la hidratación del cemento, para producir hidrato de silicato de

calcio (C-S-H), responsable en gran parte de la dureza y resistencia del hormigón. Este nuevo C-S-H generado, se deposita en los poros y canales de la superficie de la losa densificando la superficie, previniendo así el escape de humedad y mejorando su resistencia superficial. [Ref. 7]

Este compuesto al ser aplicado sobre el hormigón reacciona con el cemento formando un gel adicional cerca de la superficie. Este gel llena los poros que permiten el escape del agua del hormigón preservando mayor humedad en la superficie lo cual reduce la tensión superficial responsable del agrietamiento por retracción.

La aplicación del litio de curado es mucho más rápida y fácil que la de otros productos, se rocía una capa ligera sobre la superficie. Es importante señalar que el litio de curado no es un compuesto de curado como los definidos por la norma ASTM C 309, ya que actúa reaccionando con el cemento y por lo tanto queda excluido de dicho estándar. [Ref. 7]

2.- METODOLOGÍA DE TRABAJO

En el presente capítulo se explica la metodología utilizada durante la investigación. Para ello, en la primera parte se mencionan las variables que son parte del estudio y se muestran los principales productos de curado en observación. Luego se describe el programa de ensayos y se explica cómo y bajo qué normas estos se desarrollan.

La eficiencia de los productos de curado para pavimentos de hormigón se centra en los diferentes tiempos de aplicación de cada producto sobre un pavimento de hormigón construido dentro del recinto del Laboratorio Nacional de Vialidad. Estos se comparan con una losa patrón de hormigón sin curar considerando como el más eficiente aquel que deja el pavimento de hormigón libre de grietas con resistencia superficial a la abrasión.

2.1- Productos de curado

Se trabajó con las siguientes empresas distribuidoras de membranas: Cromcret, Dynal y Sika. Cada una de estas empresas aportó dos membranas para su estudio. Por su parte, Concretos Especiales aportó dos productos de curado en base de silicatos de litio de la empresa Sinak. Además, se utilizó una manta de curado inorgánica de polipropileno de la empresa extranjera PNA, que proporciona un 100% de humedad bajo ella.

En las tablas 2, 3 y 4 se detallan las características de los productos utilizados para la investigación.

Tabla 2: Características principales de los productos de curado utilizados¹.

	Sinak		Cromcret		Dynal		Sika	
Nombre	Lithium cure	Lithium cure	Curcrom P	Curcrom S	Fraguate x G13 RR A	Fraguate x G13 RR B	Antisol	Sikacure 116
	(Litio 1)	(Litio 2)	(Acuosa 1)	(Resina 1)	(Resina 2)	(Resina 3)	(Acuosa 2)	(Resina 4)
Tipo membrana	-	-	1 D	1 D	2	2	1 D	2
Clase membrana	-	-	A	B	B	B	A	B
Color	Transp.	Blanco	Blanco	Blanco	Ámbar	Blanco	Blanco	Ámbar
Densidad [kg/dm ³]	-	-	0,98	0,9	0,822	0,822	0,99	0,87
Dosis [gr/m ²]	380	380	200	200	164	164	198	180
Rendimiento [Compuesto/Agua]	-	1:1	-	-	-	-	-	-

2.2- Tiempos de aplicación de los productos de curado

Los tiempos de aplicación de los productos de curado van a variar para poder comparar los resultados y su eficiencia. Estas aplicaciones son las siguientes:

Según lo indicado en las fichas técnicas de cada proveedor (Según Ficha).

Aplicación de la membrana después de 1,5 horas de haber sido colocado el hormigón (1,5 hr).

Aplicación del retardador de evaporación inmediatamente de haber sido colocado el hormigón y después de 1 hora se aplica el compuesto formador de membrana. (Retardador + 1 hr).

La información entre paréntesis es para determinar qué aplicación se utiliza durante el estudio.

¹ Fuente: Empresas distribuidoras de productos de curado.

A partir de las variables mencionadas se establece la siguiente tabla:

Tabla 5: Combinaciones y tiempo de las aplicaciones por cada tipo de curado.

	Litio 1	Litio 2	Acuosa 1	Acuosa 2	Resina 1	Resina 2	Resina 3	Resina 4	Manta	Sin curar
Según Ficha	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1,5 Hrs			X	X	X	X	X	X		
Retardador + 1 Hr			X	X	X	X	X	X		X

La tabla 5 muestra 23 combinaciones posibles, pero para tener resultados más representativos, se duplicó cada método de curado, obteniendo 46 combinaciones.

2.3- Construcción del pavimento de hormigón

Para realizar la prueba, se construyó un tramo de pavimento de hormigón de 45 x 4 m con un espesor de 0,12 m, resultando 46 losas de 3,52 m² cada una. La pavimentación se realizó un día en el que se dieran las condiciones desfavorables para la pavimentación, tales como alta temperatura, viento y una baja humedad relativa. Esto se hizo para ver la eficiencia de cada producto, en especial las membranas de curado frente a condiciones climáticas adversas. Bajo estas condiciones se eligió el día lunes 21 de marzo de 2011, en que hubo 28 °C como temperatura máxima, humedad relativa del 60% y un viento predominante suroeste de 10,2 km/hr, para pavimentar el tramo de prueba. El hormigón utilizado para pavimentar fue un HF 4,5 (10) 40 10 entregado por la empresa de hormigón Pétreos.

Una vez pavimentado, se inició la etapa de curado donde se colocaron los diferentes productos en cada una de las secciones de 3,52 m² en el cual cada empresa se encargó de curar las losas asignadas mediante sus productos de curado en los tiempos acordados.

En la figura 3 se aprecian las losas de hormigón con sus respectivas aplicaciones de curado.



Figura 3: Pavimento de hormigón con aplicaciones de curado.

Para finalizar la construcción del tramo de prueba se le indujeron cortes a lo ancho y a lo largo de cada losa para evitar la aparición de grietas por retracción hidráulica. Los cortes se hicieron después de seis horas de colocado el hormigón.

2.4- Programa de Ensayos

La investigación contempló la construcción de dos pruebas paralelas. Por un lado se pavimentó un tramo de 46 losas en terreno y, por otra parte, se replicaron las mismas losas en vigas prismáticas en laboratorio. El propósito era establecer la diferencia del comportamiento de los productos de curado al aire libre y en ambiente controlado.

Los ensayos que a continuación se presentan pretenden recolectar información acerca de la superficie del pavimento de hormigón, por lo que cada ensayo es fundamental para su análisis dado que éstos evalúan su comportamiento superficial.

A continuación se explican detalladamente los ensayos realizados durante la investigación.

2.5- Inspección Visual

Se estableció un área de control dentro de cada losa previniendo que los productos de curado pudiesen haber sido mal aplicados, ya sea porque el viento evitó que hiciera contacto donde debía, produciendo un traslape con los productos adyacente, lo que no permite evaluar el comportamiento y su efecto curador; o el aplicador no hubiese podido cubrir toda la losa con su respectivo producto debido a las restricciones físicas del equipo.

Es por esas razones que se creó el área de control de 1 m² ubicado a 40 cm del borde de la losa de hormigón y en la mitad de su eje, como se muestra en la siguiente figura, para asegurar que exista un solo tipo de curado por losa y asegurar la dosis especificada por el fabricante, en donde se les hicieron controles de ancho y largo de grietas. Además, a las losas se les tomaron fotografías para ver su evolución en el tiempo.



Figura 4: Área de control.

El ancho de las grietas fue medido a través de un microscopio digital el cual permitía medir distancias dentro de la imagen obteniendo resultados como se muestra en la figura 5.

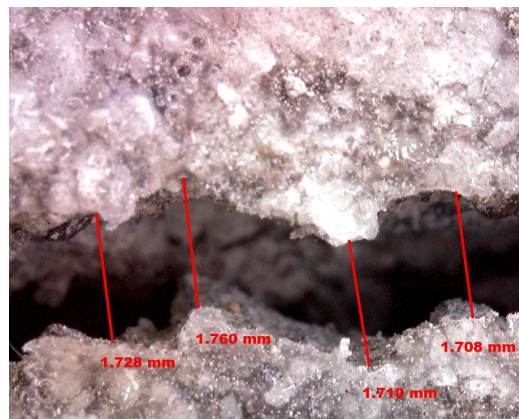


Figura 5: Ancho de grieta de una losa en el área de control.

Las grietas fueron medidas al azar dentro del área de control de cada losa. Dependiendo de la cantidad de grietas que presentaban las losas, se les controlaban más o menos grietas para obtener un ancho de grieta promedio. Y a cada una de ella se le midió en distintos lugares para homogeneizar su ancho. Luego, mediante un cordel, se midió el largo de todas las grietas existentes en el área de control para poder seguir

la forma de la grieta y obtener el largo real de ella. Finalmente se multiplicó el ancho promedio por el largo total de las grietas y se obtuvo el área agrietada.

2.6- Ensayo de resistencia superficial

Este ensayo evalúa la calidad de la superficie curada de una probeta de hormigón sometiéndola al paso repetido de una grata (rueda) de acero cargada.

A continuación se realiza una breve descripción de este ensayo, el cual ha sido adecuado al método de ensayo 8.302.53: Método para determinar el porcentaje máximo de ligante en lechadas asfálticas usando la rueda de carga, del Manual de Carretera.

Se pesa la probeta de hormigón previamente curada en una balanza de capacidad mínima 2.000 g. y resolución de 0,1 g. Luego se coloca en la máquina de ensayo, cargada con 10 kg, la cual tiene un contador de ciclos. Al llegar al ciclo 25, se retiran los pesos y la probeta, y es pesada nuevamente, obteniendo un desgaste y disminución de peso. Este proceso se repite para los siguientes ciclos: 50, 100, 250, 500, 750, 1.000, 1.250 y 1.500.

La siguiente figura permite ver un dibujo esquematizado de las partes de la máquina de desgaste.

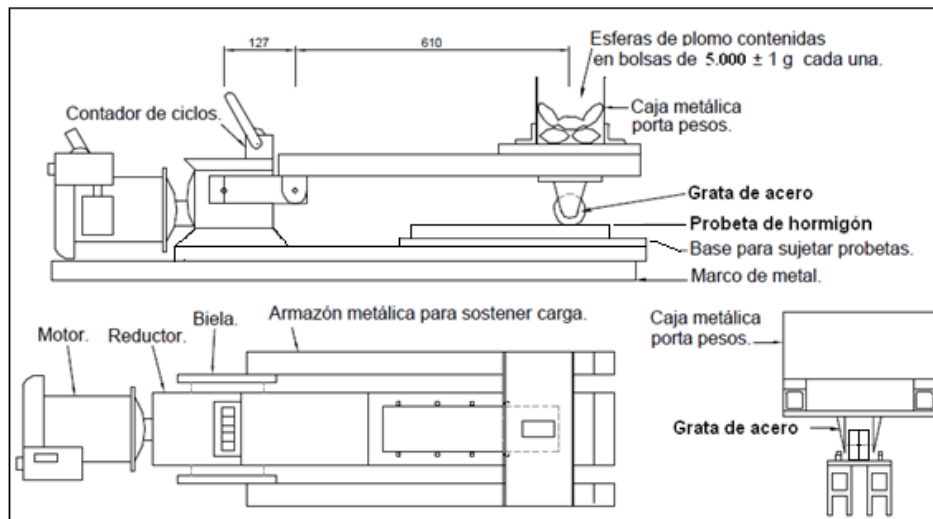


Figura 6: Esquema máquina de ensayo de desgaste.

La diferencia de peso por cada pesada de la probeta se grafica v/s la cantidad de ciclos del ensayo produciendo la siguiente curva de desgaste:

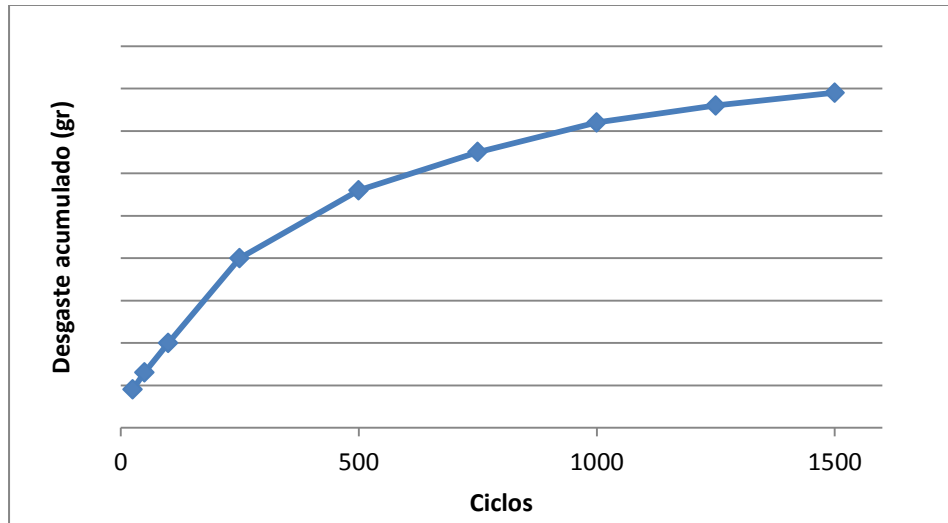


Figura 7: Curva típica del ensayo de desgaste superficial.

3.- RESULTADOS

3.1- Inspección visual.

La inspección visual consistió en estimar el área de la grieta, lo que permite observar la calidad de la superficie del pavimento de hormigón. A continuación se presentan tablas y gráficos con el resumen de los datos obtenidos de las mediciones realizadas en terreno en las que se comparan ancho, largo y área de grietas.

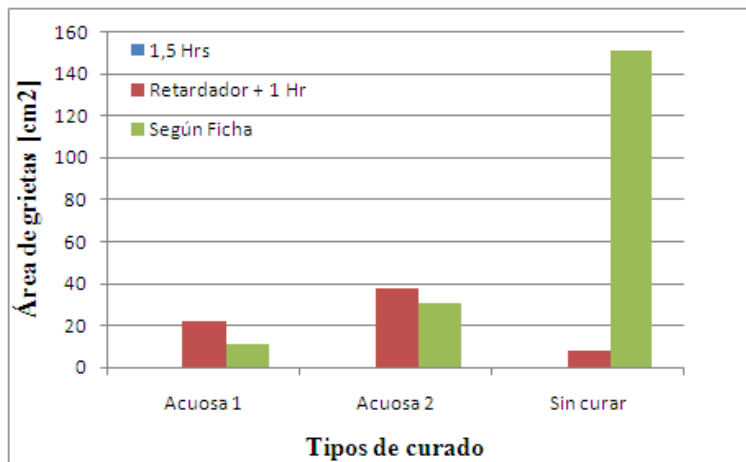


Figura 8: Comparación área de grietas acuosas y patrón.

Las membranas en base a resina, tienen un peor comportamiento si son aplicadas según la ficha técnica, que cuando son aplicadas a 1,5 hr de haber sido colocado el hormigón. Esto se debe a que al momento de aplicarlas existe todavía agua de exudación en la superficie del hormigón. Si las membranas son combinadas con el retardador, las grietas son aún mayores ya que el efecto del retardador desaparece pasado la hora, por lo que todavía hay agua en la superficie del hormigón, lo que impide la formación de la membrana. Si no se utiliza membrana de curado, el retardador logra disminuir el agrietamiento significativamente.

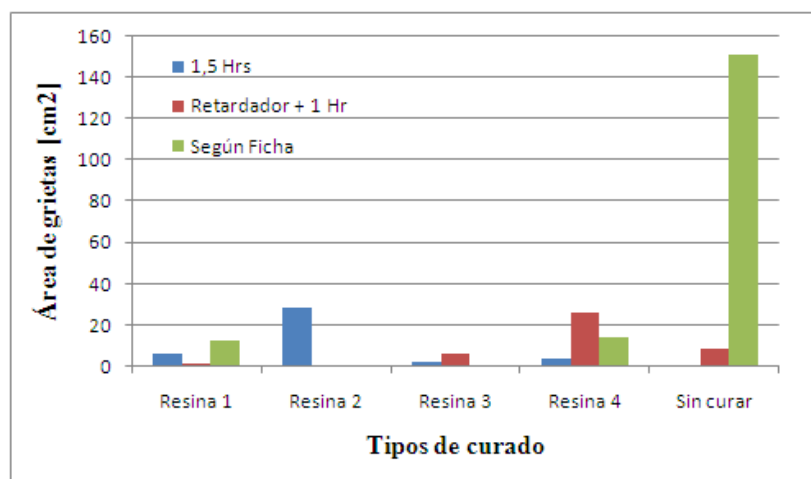


Figura 9: Comparación área de grietas resinas y patrón.

Cada membrana de resina obtiene su mejor comportamiento en tiempos de aplicaciones distintos. La Resina 1 y 2 lo obtienen cuando son aplicadas combinadas con el retardador de evaporación. En cambio la Resina 3 y 4 tienen comportamientos similares cuando se aplican a “1,5 hr”. El uso de un retardador de evaporación combinado con membranas en base a resinas produce un efecto diferenciado según la resina que se utilice. Para las resinas 1 y 2 el efecto es positivo, no existiendo prácticamente agrietamiento. Diferente es el caso para las resinas 3 y 4 en que es claramente desfavorable. En tanto que el momento de aplicación de la membrana en base a resina depende también de que resina es utilizada. Para la resina 1 y 4 es preferible aplicarlo a 1 hora y media de la pavimentación, mientras que las resinas 2 y 3, según lo especificado en la ficha del producto.

Al momento de comparar el comportamiento de las membranas acuosas con el de las membranas de resinas aplicadas a 1,5 hr, las primeras demostraron una mayor eficiencia al momento de curar el hormigón. Es posible que esta diferencia se deba a que las membranas acuosas aportan agua a la superficie del hormigón, frenando el agrietamiento producido por la falta de agua, formando su película curadora. En cambio, las membranas de resina no aportan agua, dejando la superficie tal cual estaba, formando su película.

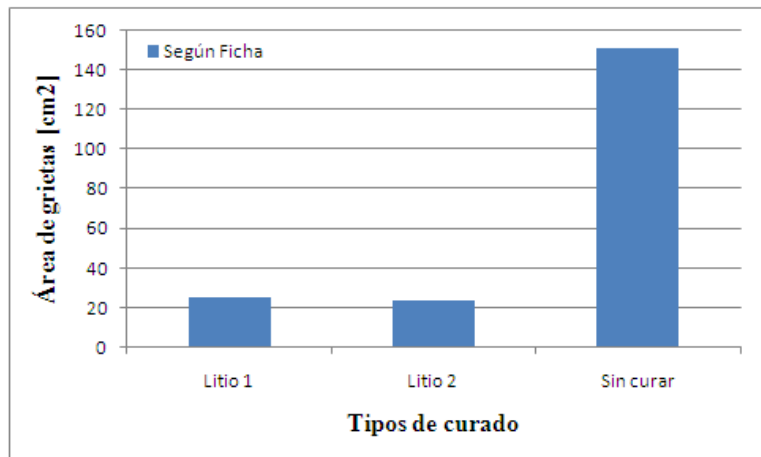


Figura 10: Comparación área de grietas litio y patrón.

Ambos productos de litio (Litio 1 y 2) se comportan similares, pero por debajo de los rendimientos de otros productos de curados, haciéndolo menos efectivo a la hora de curar el hormigón.

En la tabla y gráficos siguientes, se resume en términos generales la inspección visual independiente del tiempo de curado aplicado, realizando una comparación general de los métodos estudiados.

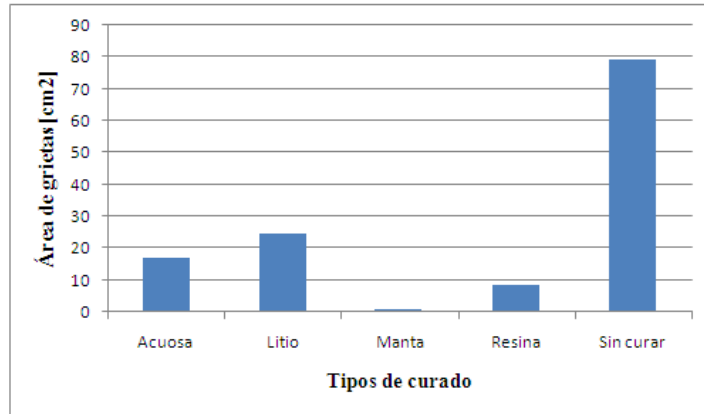


Figura 11: Comparación área grietas tipos de curados.

Se observa en en los gráficos 10 y 11 que mediante cualquier método de curado el comportamiento del hormigón mejora notoriamente en comparación a no aplicar ninguna protección. La manta es más eficiente, por sobre los otros métodos de curado (membranas y litio) al momento de comparar las grietas presentes en la superficie del pavimento de hormigón.

3.2- Ensayo desgaste superficial

Se compararon los cuatro productos de curado y como se aprecia en la figura 12, la manta al igual que en la pruebas visuales es la que tiene un mejor comportamiento en el ensayo, por lo que esta solución adquiere una mayor resistencia a la abrasión.

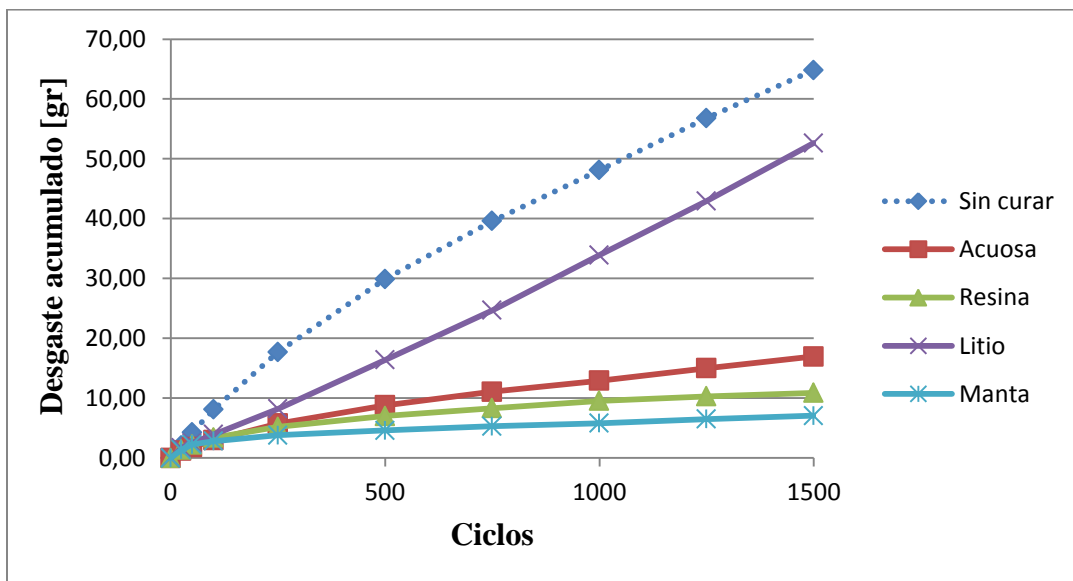


Figura 12: Desgaste acumulado v/s tipos de curado.

Covarrubias, Perú

Los datos que se resumen a continuación, pertenecen a las mediciones y resultados obtenidos de los ensayos realizados a las losas del tramo de prueba y a las probetas de hormigón confeccionadas en laboratorio. Estos datos son relativos, los cuales fueron normalizados para ser comparados fácilmente en un mismo gráfico. Hay que mencionar que los mejores resultados son los que se acercan al número 1.

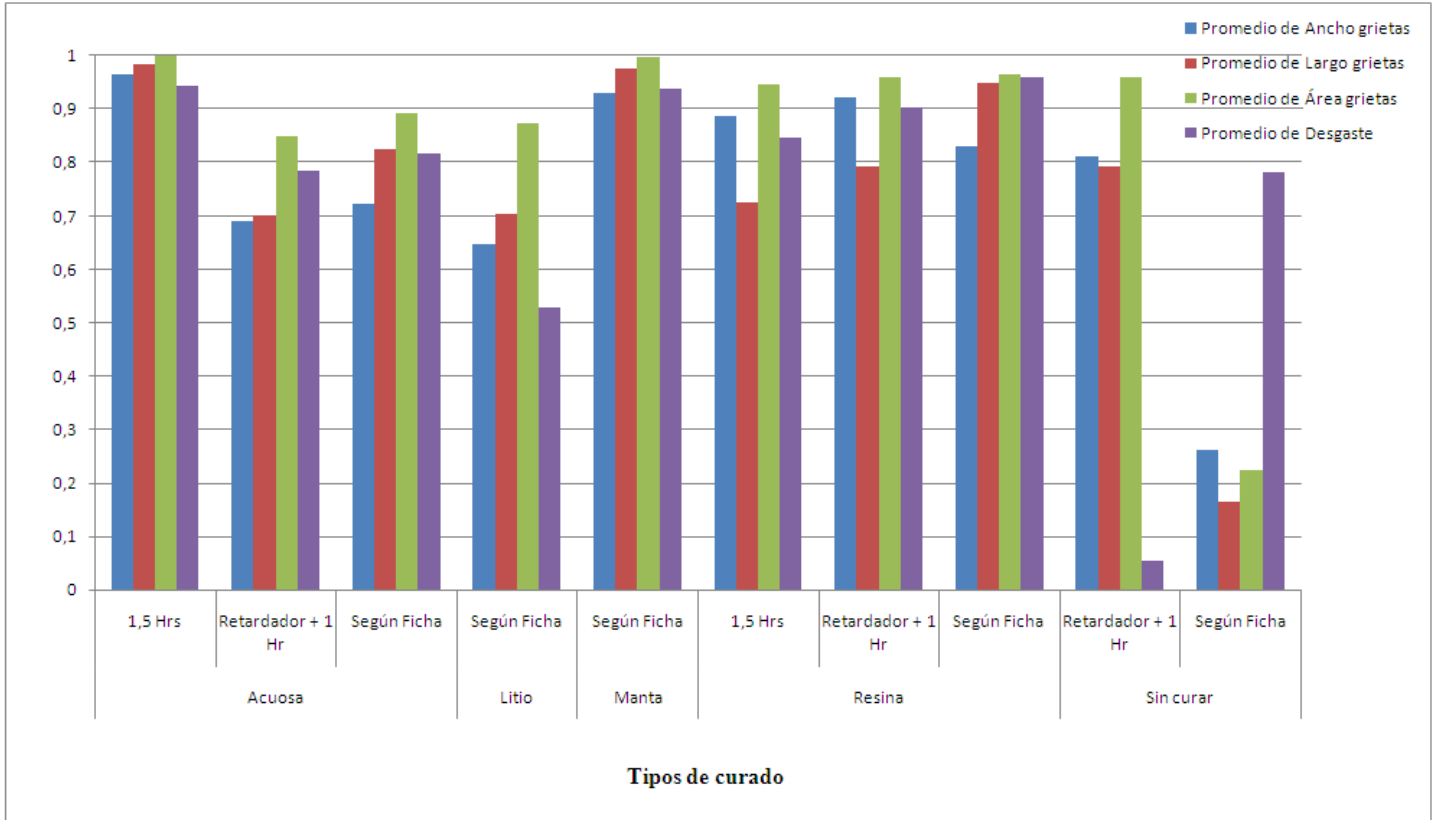


Figura 13: Comparación resultados normalizados (1 Mejor desempeño) para cada membrana, tipo de ensayo y tiempo de aplicación.

La manta de curado y las membranas de resina tienen el mejor comportamiento en general, según se puede observar en la figura 13. Utilizar sólo el retardador de evaporación puede producir una superficie con baja resistencia superficial, con pocas grietas.

A excepción del retardador de evaporación, los métodos de curado que dejan con menor nivel de grietas la superficie del hormigón, son también los que la dejan con mejor resistencia a la abrasión.

Haciendo una última comparación de los métodos estudiados, se presentan en la figura 14 todas las variables antes mencionadas ponderadas cada una por igual. Se observa que el mejor método de curado, bajo las condiciones ambientales ya mencionadas, es la manta de curado.

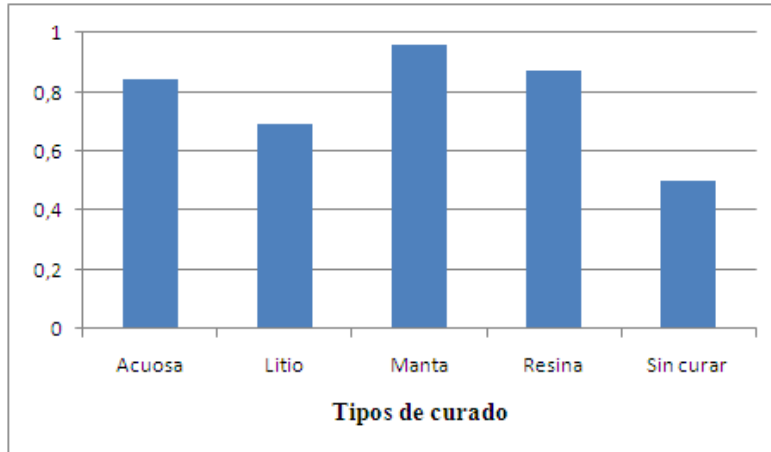


Figura 14: Resumen de ponderados totales.

4.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El uso de una metodología de curado sobre un pavimento de hormigón trae como principal ventaja una superficie más resistente a la abrasión y superficies libres de agrietamiento

De todos los métodos de curado investigados, la manta de curado obtuvo el mejor comportamiento; esta impide la evaporación del agua de amasado produciendo un 100% de humedad bajo ella lo que hace que el hormigón alcance la hidratación del cemento. Además asegura que el área de hormigón cubierta por ella se cure.

Por otra parte, las membranas de curado en base a resinas mostraron un mejor comportamiento que las membranas en base acuosa. Esto se debe principalmente a que las de resinas forman su película o capa protectora independiente de si hay agua en la superficie del hormigón. Esto las hace más confiables al momento de curar el hormigón debido a que no hay que esperar demasiado tiempo a la hora de aplicarlas. En cambio, las acuosas, no forman su película si hay agua en la superficie produciendo un mal curado.

Al momento de comparar los distintos tiempos de aplicación “Según Ficha” y “Retardador + 1 hr” se observa alta presencia de grietas en las membranas de base acuosa, debido a que todavía hay agua en la superficie. No así al aplicarlas a “1,5 hr”, esto se puede explicar por la disolución o “quiebre” de la membrana debido al agua de exudación

Otro punto importante a considerar es la tendencia a disminuir contaminaciones durante la construcción. Debido a que las membranas de curado en base a resinas contienen altos contenidos de VOC y que ya han sido prohibidas en algunos estados de EEUU, es importante encontrar métodos alternativos de curado que sean eficaces y de rápida aplicación a la hora de curar el hormigón. Por esta razón es que se debe seguir investigando en la aplicación de las membranas de base acuosa.

Se puede concluir que el uso del retardador de evaporación mejora la calidad de la superficie del hormigón, pero puede disminuir la resistencia a la abrasión, lo que confirma su uso de curado inicial. Las principales ventajas del uso de los retardadores de evaporación es el aumento del tiempo máximo para la aplicación de las membranas tradicionales.

5.- BIBLIOGRAFÍA

1. ACI Standards and Reports 2001. *ACI 308R-01: Guide to curing concrete*.
2. American section of the international association for testing materials 2003. *ASTM-C156: Standard test method for water retention by concrete curing materials*, Pennsylvania, Estados Unidos.
3. American section of the international association for testing materials 1969 *ASTM-C171-69: Standard specification for sheet materials for curing concrete*. Pennsylvania, Estados Unidos.
4. American section of the international association for testing materials 1998. *ASTM-C309: Standard specification for liquid membrane forming compounds for curing concrete*. Pennsylvania, Estados Unidos.
5. Covarrubias J.P 2004, *Diseño de hormigones*.
6. Covarrubias, J.P. 1987. "Use of curing membrane in concrete pavements", *Transportation Research Board*, Washington, D.C, 76th Annual meeting.
7. Kohler, E y M. Caro 2011 "Uso de litio para el curado de pavimentos de hormigón", ICH.
8. Manual de carreteras volumen 5 (2010): *Especificaciones técnicas generales de construcción*. Dirección de vialidad, ministerio de obras públicas, Chile.
9. Manual de carreteras volumen 8 (2010). *Hormigones: Especificaciones y métodos de muestreo, ensaye y control (LNV 26)*. Dirección de vialidad, ministerio de obras públicas, Chile.
10. Melón 2011, *Guía para el curado del hormigón*. Visto el 8 de Septiembre de 2011, http://www.melon.cl/cemento/at_webtips9.php#n7
11. Newman, J and B.S Choo 2003, *Advanced Concrete Technology 2: Concrete Properties*, Elsevier, Londres.
12. Neville, A.M 1977, *Tecnología del concreto. Tomo II*, Editorial Limusa, Instituto Mexicano del cemento y del concreto, A, C.
13. Sawyer, J.L. 1957, "Wear test on Concrete using the German Standard Method of Test Machine", *Proceedings ASTM*, V57, 60th Annual meeting, pp 1143-1153
14. Thorpe, D & W. Cordon 1965 "Control of rapid drying of fresh concrete by evaporation control", *Journal of the American Concrete Institute*. V62, pp 977-985