

INFLUENCIA DE DIFERENTES CONDICIONES DE CURADO POR RIEGO EN LA RESISTENCIA A FLEXIÓN Y AL CONGELAMIENTO DE LOSETAS TIPO DOBLE S

LourdesMamani Carvajal

RonaldCabrera Tumiri

Verónica Gallardo Tapia

Jorge Echazú Cortez

lourdespilar.ing@gmail.com vgallardo@umsa.bo jechazuco@gmail.com

Resumen.- En el presente proyecto se analizó la influencia de la frecuencia del riego, la duración del mismo, el uso de cubierta de polietileno y la posición individual de las piezas durante el curado; sobre la resistencia a flexión y al congelamiento, de losetas de hormigón tipo doble S. Los resultados mostraron que hay incremento de la resistencia a flexión para una frecuencia de 5 veces al día en lugar de una. De la misma forma, existe aumento en la resistencia a flexión cuando se utiliza cubierta de polietileno, tanto en las primeras horas como después del riego. Finalmente, se evidencia un ascenso de la resistencia a flexión para la posición individual “cara arriba” en lugar de “cara abajo”. En cuanto a la resistencia al congelamiento, no se notaron diferencias significativas para ninguno de los tratamientos estudiados en la investigación.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha incrementado el uso de pavimentos de losetas de concreto en nuestro país, particularmente en ciudades como la ciudad de El Alto. Esto se debe principalmente a la facilidad de colocación y también al elevado uso de mano de obra tanto en la fabricación como en la puesta en servicio de este material, lo que genera una gran cantidad de empleo. Los pavimentos a base de losetas permiten además, mayor comodidad en el mantenimiento y en la instalación de tuberías debajo de las calles. Lamentablemente, la mayor parte de este material es todavía fabricado de manera semiartesanal y existen grandes deficiencias en el control de su calidad, lo que se traduce en un pobre desempeño de manera general. El presente estudio se inscribe dentro de una línea de investigación desarrollada en el Instituto de Ensayo de Materiales, destinada a proponer medidas sencillas y económicas para el mejoramiento de la calidad de este importante material. Habiéndose concluido una investigación previa para evaluar el efecto del curado por inmersión y el curado por riego, en el presente proyecto se estudia el efecto de diferentes

procedimientos de curado por riego en la resistencia a flexión y en la durabilidad expresada como la resistencia al congelamiento.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la influencia de diferentes condiciones de curado por riego, sobre la resistencia a flexión y al congelamiento de Losetas de Hormigón Tipo Doble “S”.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar la influencia sobre la resistencia a flexión y al congelamiento, de la frecuencia del curado por riego de losetas de hormigón tipo doble “S”, variando ésta en 1, 3 y 5 veces al día.
- Determinar la influencia sobre la resistencia a flexión y al congelamiento, de la cubierta de polietileno después del curado por riego.
- Determinar la influencia sobre la resistencia a flexión y al congelamiento, de la posición individual de las losetas durante el curado (con la cara de desgaste hacia arriba o hacia abajo).
- Determinar la influencia sobre la resistencia a flexión y al congelamiento,

de la protección con cubierta de polietileno durante las primeras horas después del desmoldado.

- Determinar la influencia sobre la resistencia a flexión y al congelamiento, de la duración del curado por riego.

3. ALCANCE Y LIMITACIONES

El proyecto fue desarrollado en la fábrica "SEMCOKA" de la ciudad de El Alto, perteneciente al Señor Milton Kantuta. Se vaciaron losetas con los mismos materiales, los mismos operarios (mano de obra) y las mismas condiciones que usualmente se disponen en la fábrica. La dosificación para la preparación de las losetas fue la que habitualmente se usa en la fábrica, de manera que ésta no fue objeto de estudio.

Las losetas objeto de estudio, se regaron a la misma hora del día todos los días, para evitar variaciones en los resultados. Una vez alcanzada la edad de ensayo, las losetas se transportaron al Instituto de Ensayo de Materiales para realizar los respectivos ensayos: el de resistencia a flexión y el de congelamiento y descongelamiento. El ensayo de flexión se realizó en base al procedimiento indicado en la Norma Colombiana ICONTEC 2017, con algunas modificaciones en la toma de dimensiones. El ensayo de congelamiento y descongelamiento se realizó según el procedimiento indicado en la Norma ASTM C 67 (Método Standard para el Muestreo y Ensayo de Ladrillos y Bloques Huecos Estructurales de Arcilla) como está especificado en la Norma ASTM C 936 (Especificación normalizada para unidades sólidas e intertrabadas de concreto para pavimentación) que sirve de referencia para el presente estudio.

4. MARCO TEORICO

Como se sabe, inmediatamente después de vaciado, el hormigón tiende a expulsar el agua de amasado mediante un proceso conocido como exudación o sangrado. Esto se debe a que el agua es el componente más liviano de la mezcla y por ello, mientras

los elementos sólidos (arenas y gravas) tienden a asentarse, el agua tiende a ascender a la superficie. El proceso de exudación como se muestra en la Figura N° 1, puede acentuarse por la incidencia de la luz directa del sol y por la acción del viento, que producen una fuerte evaporación de la película de agua formada en la superficie. La exudación, combinada con la evaporación puede generar una pérdida de agua tan importante, que el agua restante sea insuficiente para hidratar las partículas de cemento que aún no han reaccionado y que deben reaccionar para asegurar en el elemento la resistencia mecánica esperada. Por otro lado, producto de la exudación, quedarán poros capilares en el cuerpo del elemento, mismos que además de disminuir la resistencia mecánica, afectarán la impermeabilidad de la loseta, con el consecuente empobrecimiento de su durabilidad. Por estos motivos, la protección del hormigón durante las primeras horas (donde tiene lugar el proceso de fraguado) para evitar la pérdida de agua por evaporación, y el curado durante las primeras horas del endurecimiento o adquisición de resistencia (inmediatamente después del fraguado), son dos medidas importantes y muy económicas que pueden asegurar una mayor resistencia mecánica en los elementos recién vaciados.

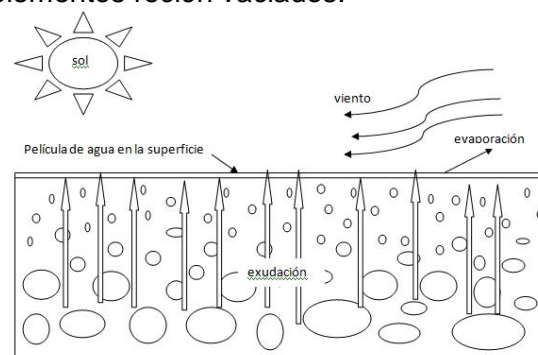


Figura N° 1: Proceso de exudación en el hormigón recién vaciado (Echazu, 2017)

El curado no sólo influye en la resistencia final del concreto, sino que disminuye la permeabilidad y mejora la durabilidad. Un buen y oportuno curado aumenta la resistencia a la abrasión de pisos de

concreto, vías y obras hidráulicas, reduce la posibilidad de aparición de grietas por contracción plástica y, aunque no la puede evitar, retarda la contracción por secado, haciendo que se desarrolle a una edad tal que la resistencia mecánica, especialmente la resistencia a tensión, haya alcanzado un nivel suficientemente alto para controlar el agrietamiento. Para la realización del presente proyecto se escogió el tipo de curado por riego por su sencillez, economía y amplia difusión en las diferentes fábricas de la ciudad de El Alto.

5. MARCO PRÁCTICO

Una vez que las losetas fueron vaciadas como se indicó en el Alcance del presente informe de investigación, se procedió a someter a los diferentes grupos de losetas a los tratamientos de curado objeto de estudio de acuerdo a los siguientes diseños de los experimentos.

5.1 Diseño de los experimentos

5.1.1 Frecuencia de Curado por Riego

Para analizar la influencia de la frecuencia del curado por riego sobre la resistencia a flexión y al congelamiento, se realizó un análisis de varianza ANOVA con un diseño completamente al azar (DCA) con tres niveles (1, 3 y 5 veces al día) como se muestra en el Cuadro N° 1. Se realizaron 10 repeticiones para la resistencia a flexión y 5 repeticiones para el congelamiento y descongelamiento. La duración del curado fue de tres días. Para el tratamiento se fabricaron 20 losetas por grupo, formando 4 pilas separadas de 5 losetas cada una, teniendo un total de 3 grupos, correspondientes a los 3 niveles del DCA. Para el ensayo de resistencia a flexión se ensayaron 15 losetas descartando los valores más dispersos, de manera que queden 10 valores. Para el ensayo de resistencia a congelamiento y descongelamiento se tomaron 5 losetas del grupo inicial de 20 losetas.

5.1.2 Tipo de curado

Para determinar la influencia del tipo de

curado, sobre la resistencia a flexión y al congelamiento, se realizó un ANOVA DCA

ENSAYOS DE RESISTENCIA A FLEXION Y AL CONGELAMIENTO Y DESCONGELAMIENTO		
1 VEZ/DÍA	3 VECES / DÍA	5 VECES / DÍA
Repetición 1	Repetición 1	Repetición 1
Repetición 2	Repetición 2	Repetición 2
Repetición 3	Repetición 3	Repetición 3
...

Cuadro N° 1: Variación de la frecuencia de curado

con 6 niveles de tratamiento como se indica a continuación (ver Cuadro N° 2):

- ✓ Curado patrón: sin protección de polietileno después del riego, cara arriba, sin polietileno durante las primeras horas y con duración de 3 días.
- ✓ Curado *con protección de polietileno después del riego*. El resto, igual que para el curado patrón.
- ✓ Curado por riego *con diferente posición individual: cara abajo*. El resto, igual que para el curado patrón.
- ✓ Curado por riego *con protección durante las primeras horas*. El resto, igual que para el curado patrón.
- ✓ Curado por riego *con diferente duración: 5 días*. El resto, igual que para el curado patrón.
- ✓ Curado por riego *con polietileno después del riego y con polietileno las primeras horas*. El resto, igual que para el curado patrón.

ENSAYOS DE RESISTENCIA A FLEXION Y AL CONGELAMIENTO Y DESCONGELAMIENTO					
Sin polietileno después del riego	Con polietileno después del riego	Sin polietileno después del riego	Sin polietileno después del riego	Sin polietileno después del riego	Con polietileno después del riego
cara arriba	cara arriba	cara abajo	cara arriba	cara arriba	cara arriba
sin polietileno Primeras horas	sin polietileno Primeras horas	sin polietileno Primeras horas	con polietileno Primeras horas	sin polietileno Primeras horas	con polietileno Primeras horas
3 días	3 días	3 días	3 días	5 días	3 días
rep. 1	rep. 1	rep. 1	rep. 1	rep. 1	rep. 1
rep. 2	rep. 2	rep. 2	rep. 2	rep. 2	rep. 2
rep. 3	rep. 3	rep. 3	rep. 3	rep. 3	rep. 3
.
.
.
.
.

Cuadro N° 2: Variación del tipo de curado

El riego se realizó con una frecuencia de 5

veces al día para todos los tratamientos. Para el experimento se formaron 6 grupos de losetas, correspondientes a los 6 niveles del tratamiento. Cada grupo estuvo conformado por 4 pilas de 5 losetas. Para el ensayo de resistencia a flexión se ensayaron 15 losetas, descartando los valores más dispersos de manera que queden 10 valores para el análisis. Para el ensayo de resistencia al congelamiento y descongelamiento se tomaron las 5 losetas restantes del grupo de 20 losetas que se tenía inicialmente.

5.2 Fabricación de losetas para el estudio

Como ya se indicó, las losetas fueron elaboradas con los materiales, operarios, equipos y condiciones de la fábrica mencionada. En las Fotografías N° 1, N° 2, N° 3 y N° 4 se muestran aspectos importantes de ese proceso de elaboración.



Fotografía N° 1: Colocación del hormigón sobre los moldes y vibrado



Fotografía N° 2: "pecheo" para sacar las losetas de los moldes



Fotografía N° 3: Acabado superficial de las losetas recién desmoldadas



Fotografía N° 4: Apilado de losetas para el fraguado

En la fábrica de referencia, de esta forma son producidas alrededor de 3000 losetas al día.

5.3 Curado de las losetas en estudio

El curado por riego se inició al día siguiente de la producción. En el Cuadro N° 3 se detallan las horas del día en que se realizó el curado para los diferentes grupos del primer diseño (frecuencia del curado).

FRECUENCIA DE CURADO	HORAS DE CURADO				
	7:00	9:30	12:00	14:30	17:00
1 vez al día			X		
3 veces al día	X		X		X
5 veces al día	X	X	X	X	X

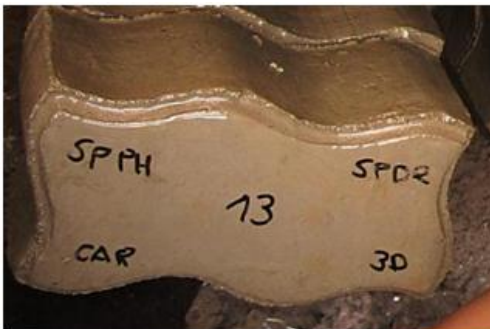
Fuente: Propia, 2014

Cuadro N°3: Horas de curado

En las siguientes fotografías se muestran el apilado, codificación, riego y protección de las losetas en estudio.



Fotografía N°5: Losetas apiladas por grupos



Fotografía N° 6: Loseta codificada



Fotografía N°7: Losetas curadas por riego



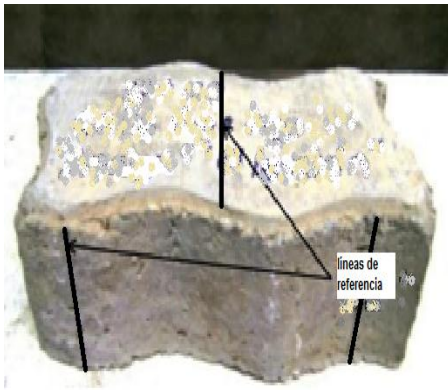
Fotografía N° 8: Losetas protegidas durante las primeras horas



Fotografía N° 9: Losetas protegidas después del riego

5.4 Ensayo de Resistencia a Flexión

Los ensayos de resistencia a flexión se realizaron en el Instituto de Ensayo de Materiales. Todas las losetas fueron ensayadas a los 28 días de su fabricación. El traslado de las losetas se realizó un día antes del ensayo, ese mismo día se procedió al marcado de cada una de las losetas como se muestra en la Fotografía N° 10.



Fotografía N° 10: Loseta marcada para el ensayo de flexión

Esta marcación se realiza con la finalidad de posicionar la loseta en la máquina universal de manera correcta tanto en los apoyos como en la parte central donde es aplicada la carga de forma gradual. La velocidad de aplicación de la carga debe estar en un rango entre 1 y 2 KN por segundo.



Fotografía N° 11: Colocación de la loseta en la Máquina Universal

En las Fotografías N° 11 y N° 12 se muestran la colocación de la loseta en la máquina universal de ensayos y una loseta en el momento de la rotura por esfuerzos de flexión.



Figura N°12: Loseta sometida a flexión hasta la rotura

Después de realizado el ensayo y registrada la carga de rotura, se procede a realizar la medición de las dimensiones de la base de la loseta en el lugar donde se produjo la rotura y de la altura en dos caras opuestas cerca de la sección donde se produjo la rotura(ver Fotografía N° 13).



Figura N° 13: Medición de la altura de una loseta ensayada

5.5 Ensayo de resistencia al congelamiento y descongelamiento

El ensayo comenzó con la inmersión de las probetas (mitades de losetas) en bañadores con agua a temperatura ambiente durante 24 horas para lograr la saturación completa de sus huecos abiertos(ver Fotografía N° 14). Posteriormente, se sacaron las probetas del agua y se las secó superficialmente para luego pesarlas, este procedimiento se realizó con el fin de obtener valores de pérdida de peso a lo largo de todo el ensayo.



Fotografía N° 14: Losetas sumergidas para saturación

A continuación se colocaron las probetas en bandejas de manera que no entren en contacto unas con otras, ni con los bordes de las bandejas. Se procedió a introducir agua en cada bandeja de manera que las probetas estén sumergidas ½ pulgada (12.7 mm). La colocación de las probetas en las bandejas se hizo de tal manera que las caras vistas de las losetas entren en contacto con el agua en las bandejas. Luego se introdujeron las bandejas en la cámara congeladora y permanecieron allí por el lapso de 20 horas (ver Fotografía N° 15).



Fotografía N° 15: Losetas en la cámara congeladora

Una vez transcurrido el tiempo en la cámara congeladora se las retiró y sumergió en los tanques de descongelamiento por un lapso de 4 horas.



Fotografía N° 16: Loseta recién retirada de la cámara congeladora

Todo el proceso explicado anteriormente constituye un ciclo de ensayo de congelamiento y descongelamiento, este ciclo fue repetido 50 veces para cada probeta de ensayo.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 Resultados del ensayo de resistencia a flexión

El Gráfico N° 1 muestra los resultados del ensayo de resistencia a flexión para el primer grupo de losetas que fue curado por tres días variando la frecuencia de curado de 1 (1V), 3 (3V) y 5 (5V) veces al día.

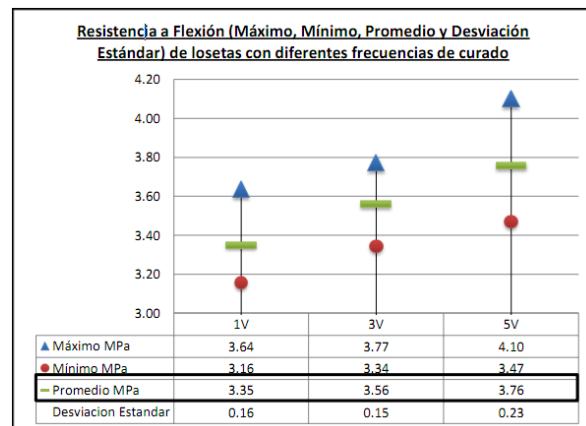


Gráfico N° 1: Resultados de Resistencia a flexión para losetas con diferentes frecuencias de curado

Estos resultados fueron analizados en sus varianzas (ANOVA) y con la prueba de Duncan para detectar diferencias significativas. Ese análisis determinó que hay diferencias significativas entre las resistencias de las losetas curadas durante 5 días y las curadas durante 1 día, no así

con las losetas curadas durante 3 días. Tampoco hay diferencias significativas entre las resistencias de las losetas curadas 1 y 3 días.

En cuanto a los resultados de los ensayos de flexión en las losetas sometidas a diferentes tipos de curado, estos se muestran en el Gráfico N° 2:

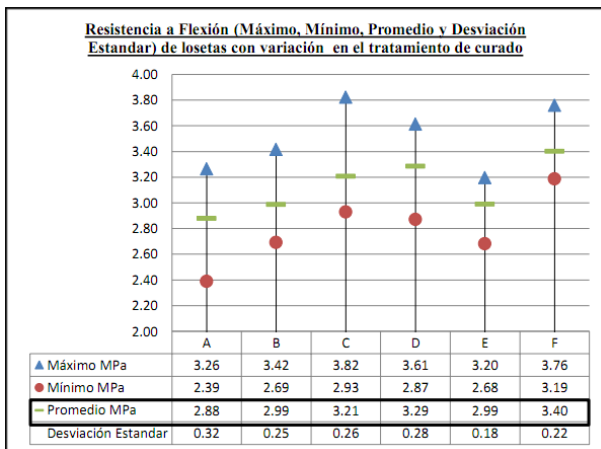


Gráfico N° 2: Resultados de Resistencia a flexión para el segundo grupo estudiado

En este gráfico, los diferentes tipos de curado están denominados con letras del alfabeto, mismas que tienen los siguientes significados:

- A: Curado sin protección de polietileno después del riego, cara arriba, sin polietileno durante las primeras horas y por 3 días (patrón).
- B: Curado con protección después del riego, por lo demás igual que A.
- C: Curado por riego con diferente posición individual: cara abajo, por lo demás igual que A.
- D: Curado por riego con protección durante las primeras horas, por lo demás igual que A.
- E: Curado por riego con diferente duración: 5 días, por lo demás igual que A.
- F: Curado con protección de polietileno después del riego y durante las primeras horas, por lo demás igual que A.

El análisis de varianza y la prueba de Duncan mostraron que existen diferencias significativas a favor de las resistencias obtenidas con los tratamientos C (cara abajo), D (con protección durante las primeras horas) y F (con protección después del riego y durante las primeras horas) con relación al tratamiento patrón

denominado con la letra A.

6.2 Resultados del ensayo de congelamiento y descongelamiento

En los Gráficos N° 3 y N° 4 se muestran los resultados de los ensayos de congelamiento y descongelamiento en losetas sometidas a diferentes frecuencias de curado (Gráfico N° 3) y a diferentes tipos de curado (Gráfico N° 4).

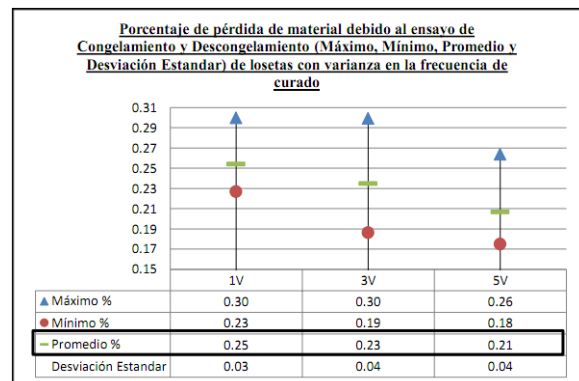


Gráfico N° 3: Resultados de Pérdida de material por congelamiento y descongelamiento para el primer grupo estudiado

El análisis estadístico de estos resultados mostró que no existen diferencias significativas para la pérdida de material en las losetas sometidas a diferentes frecuencias de curado.

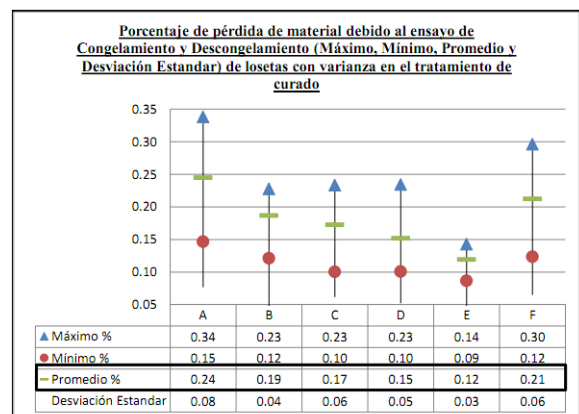


Gráfico N° 4: Resultados de Pérdida de material por congelamiento y descongelamiento para el segundo grupo estudiado

El análisis estadístico de estos

resultados mostró que tampoco existen diferencias significativas para la pérdida de material en las losetas sometidas a diferentes tipos de curado.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- ✓ En cuanto a la influencia de la frecuencia del curado por riego en la Resistencia a flexión de losetas de hormigón tipo doble S, se concluye que existe diferencia significativa a favor de la resistencia de las losetas curadas 5 veces al día en relación con las curadas 1 vez al día.
- ✓ Con relación a las 6 opciones de curado estudiadas en la presente investigación, se concluye que existen diferencias significativas a favor de la resistencia a flexión de las losetas curadas con posición individual cara abajo; asimismo, a favor de la resistencia de las que tuvieron protección de polietileno durante las primeras horas; y finalmente, a favor de la resistencia de las que tuvieron protección de polietileno tanto durante las primeras horas como después del riego; todas estas diferencias, con relación a las losetas curadas sin protección durante las primeras horas ni después del riego y con posición individual cara arriba.
- ✓ Se concluye también que una mayor duración del curado (5 días en lugar de 3) no tiene influencia significativa en la resistencia a flexión de las losetas estudiadas; tampoco influye significativamente la protección después del riego como medida solitaria.
- ✓ Los ensayos de congelamiento y descongelamiento y la determinación de la pérdida de material por ese efecto, mostraron que no existen diferencias significativas para los resultados de las losetas tratadas con diferentes frecuencias de curado y con diferentes tipos de curado.

7.2 Recomendaciones

- ✓ Para optimizar la resistencia mecánica a flexión de las losetas, se recomienda protegerlas durante las primeras horas luego de su fabricación hasta el momento de iniciar el curado. Se debe curar por riego con una frecuencia de 3 veces al día, protegiendo las losetas con polietileno después de cada riego. El riego tendrá una duración de 3 días. La posición de las losetas durante el curado será cara abajo.
- ✓ Se recomienda realizar una nueva investigación para conocer a qué hora del día es más aconsejable realizar el curado por riego de este tipo de elementos.
- ✓ Se recomienda profundizar el estudio del efecto del curado en relación con la Resistencia al Congelamiento y Descongelamiento.

8 Bibliografía

- ASTM C 293. (1988).
- ACI Committee 308. "Guide to Curing Concrete". (2002). Detroit: ACI Committee 308-01.
- Adoquines y Losetas Para Calles y Avenidas. (Febrero de 2014). *Presupuesto y Construcción*, 16-17.
- Echazú J.C. (2005). Texto base de Materiales de Construcción, *Segunda revisión*. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Ingeniería.
- Fagandini F. M. F. (2007). *Uso de un Sistema de Curado Intermedio en Hormigón Fresco*. Universidad De Chile Facultad De Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería Civil. Santiago de Chile: Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
- Flores, J. J. (2012). *Influencia de la Dosificación en la Absorción y el Coeficiente de Saturación en losetas de Hormigón tipo Doble "S"*. Proyecto de Grado para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Ingeniería. La Paz, Murillo, Bolivia.

- Garcia F.C.A., Mesa S. H.R.(2001). Metodología de la Investigación y Diseño Estadístico de Experimentos.
- IBCH. (2008). Pavimentos. *Construcción de pavimento de adoquines de hormigón*, 6.
- ICPC. (1983). NOTAS TECNICAS. *Adoquines de Hormigón*, 4.
- Herrera, M. M.C. (2006). *Pavimentos Intertrabados de Adoquines de Hormigon* .RevistaCemento, 7.
- Llampá, P. (2009). *Influencia del Curado en la Resistencia a Flexión de las Losetas de Hormigon Tipo Doble S en el mercado Local*. Proyecto de Grado para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Ingeniería La Paz, Murillo, Bolivia.
- Morales, E. J. (2012). *Propuesta de Norma Guatemalteca para Procedimiento de Ensayo de Laboratorio y Clasificación de Adoquines de Hormigón*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Villanueva, J. C. (2003). *La Resistencia a la Compresión de los Adoquines de Concreto en Nicaragua*. Nicaragua: Universidad Nacional de Ingeniería.