

Evaluación de factores que afectan la aparición de etringita secundaria como simulación del envejecimiento de mezclas de concreto y su papel dentro de procesos de expansión y agrietamiento.

Laura Eugenia Romero Robles

ITESM, Monterrey, Nuevo León, México, romero@itestm.mx

RESUMEN

La formación de etringita secundaria es un problema que afecta la durabilidad y resistencia del concreto, debido a la expansión que provoca en el interior de la matriz. Dentro de la evolución de la reacción, la etringita primaria se consume por completo para dar inicio a una nueva reacción denominada monosulfato. Sin embargo esta reacción es reversible, y cuando ocurre a través del tiempo, la cristalización de este mineral no tiene el espacio suficiente formándose etringita secundaria, que es incapaz de acomodarse dentro de la matriz de concreto dando como resultado una expansión no controlada y el deterioro y aparición de grietas en el concreto. Esta investigación tiene como objetivo evaluar la aparición de etringita secundaria y los factores que intervienen en su aparición (envejecimiento, temperatura, exposición a sulfatos).

Las condiciones de temperatura elevada y ambientes de sulfato, favorecen el crecimiento de etringita secundaria y tiene un impacto negativo en la resistencia a la compresión generando grietas y fisuras afectando considerablemente su durabilidad.

Palabras claves: Etringita secundaria, expansión del concreto.

ABSTRACT

Secondary ettringite formation is a problem affecting the durability and strength of concrete due to the expansion caused within the matrix. In the course of the reaction, the primary ettringite completely consumed to start a new reaction called monosulfate. However, this reaction is reversible, and when it occurs over time, crystallization of this mineral is not enough space forming the secondary ettringite, which is unable to fit within the concrete matrix resulting in uncontrolled growth and decay and cracks in concrete. This research aims to evaluate the occurrence of secondary ettringite and the factors involved in onset (aging, temperature, exposure to sulfates).

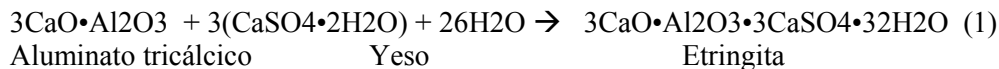
High temperature conditions and environments sulfate, favor the growth of secondary ettringite and has a negative impact on the compressive strength by generating cracks and fissures considerably affecting durability.

Keywords: Secondary ettringite, concrete cracking.

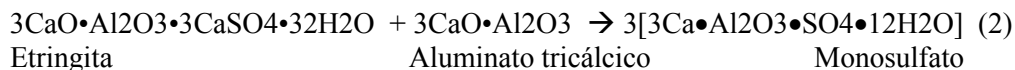
1. INTRODUCCIÓN

El concreto es un material muy utilizado a nivel mundial para fines de construcción. Es reconocido por su dureza, su resistencia a esfuerzos mecánicos y está compuesto por agregados, cemento, agua y aditivos. La calidad del concreto depende de la calidad de cada uno de sus componentes y de la cantidad en que cada uno de ellos interviene.

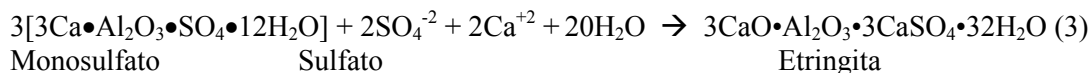
Una variedad de reacciones químicas en el concreto pueden causar determinados fenómenos en ciertas condiciones. Una de las reacciones más notables es la que involucra la formación de etringita en la matriz de concreto. La etringita ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot3\text{CaSO}_4\cdot32\text{H}_2\text{O}$) es un mineral producto de la reacción de hidratación del aluminato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) en presencia de yeso ($\text{CaSO}_4\cdot2\text{H}_2\text{O}$) ambos componentes del cemento Pórtland. Esta reacción tiene la función de darle plasticidad a la pasta de cemento para poder manipularla, a su vez es importante para controlar el tiempo de fraguado y el desarrollo de la solidez.



El producto comienza a formarse sobre las partículas de las fases sin reaccionar, recubriéndolas para disminuir el avance de la reacción y la liberación de energía en el proceso. Cuando la concentración de $\text{CaSO}_4\cdot2\text{H}_2\text{O}$ se consume por completo, comienza una nueva reacción que da lugar a una fase denominada monosulfato.



Ciertas condiciones como altas temperaturas y un medio alcalino favorecen la presencia de monosulfato, para esta etapa algunos iones SO_4^{-2} , Ca^+ etc. han sido distribuidos por toda la pasta de cemento o absorbidos por otras fases. Sin embargo esta reacción es reversible (3), pero sucede después de que se puedan restablecer las condiciones de una temperatura ambiente, la presencia de humedad y de la difusión de iones SO_4^{-2} provenientes de fuentes internas y que se absorbieron en fases como silicatos cálcicos hidratados (C-S-H) (Kayali,2008).



La cristalización de este mineral no tiene el espacio suficiente para acomodarse dentro de la matriz de concreto, su expansión no es controlada y por lo tanto deteriora y se deposita en las grietas que comienza a formar el concreto. La etringita es en principio, es un producto normal de la hidratación de cementos que ocurre a las primeras horas del contacto del agua con el cemento y que en un concreto compuesto de agregados inertes, desaparece a los 28 días de hidratación. El término etringita secundaria se refiere entonces, cuando después de este periodo, el compuesto persiste o vuelve a hacerse presente, teniendo la misma composición química.

2. EXPERIMENTAL

2.1 Elaboración de mezclas de concreto

Para la elaboración de los concretos, primero fue necesario caracterizar los cementos a utilizar. Se trabajó con dos tipos de cementos denominados “A” y “B” basados en su contenido de C3A, fase principal de la formación de etringita. En la tabla 1 se proporciona la composición de ambos cementos haciendo énfasis en los porcentajes de C3A de cada uno.

Tabla 1.- Tabla comparativa de la composición de los cementos utilizados para la elaboración de los concretos de prueba, mediante XRF

COMPUESTO	CEMENTO “B” (bajo C3A)	CEMENTO “A” (alto C3A)
Al ₂ O ₃	4.4 %	5.3 %
SO ₃	4.5 %	4.7 %
Na ₂ O	0.1 %	0.5 %
K ₂ O	0.4 %	0.9 %
C3A	6.0 %	11.0 %

Una vez caracterizados los cementos, se procedió a diseñar los tipos de mezcla que fueron analizados. Como se mencionó antes, dado que la aparición de etringita secundaria en concretos normales puede ocurrir en un lapso de tiempo que puede ir desde 6 meses hasta 2 años, se requirió emplear un método de curado que acelerara el proceso de hidratación (Lane, 2008) y permitiera la evaluación de la etringita secundaria en un lapso corto de tiempo si es que esta estuviera destinada a formarse.

Tabla 2.- Representación de las diversas mezclas preparadas a diferentes condiciones

No. de muestra	Cemento empleado	Agregado	Curado acelerado	Aditivo
1	A y B	Arena/grava	sí	
2	A y B	Agregado ligero fino y grueso	no	
3	A y B	Agregado ligero fino y grueso	sí	
4	A y B	Agregado ligero fino y grueso	sí	Na ₂ SO ₄ 1%

El protocolo de preparación fue seguido de acuerdo al diagrama de la figura 1 y empleando una relación agua/agregado de 0.4 en volumen

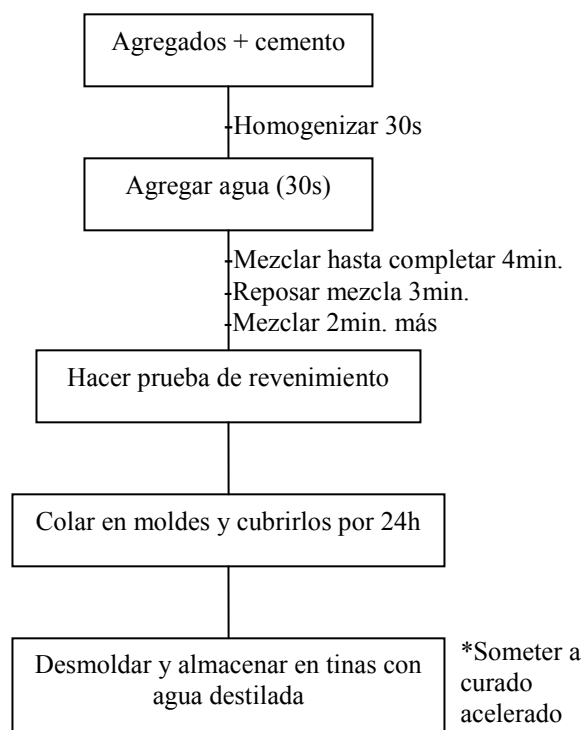


Figura 1.- Diagrama que muestra el proceso de preparación de muestras

Aquellas muestras que fueron sometidas a curado acelerado, se les aplicó el ciclo tal como se muestra en la figura 1, para ser analizadas al término del test o almacenadas para futura evaluación.

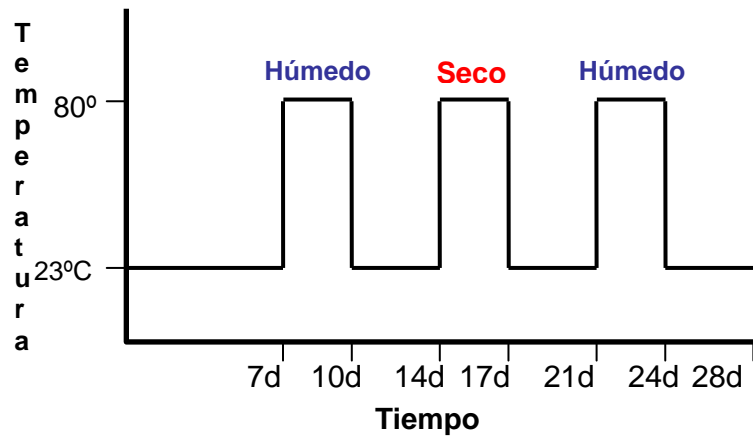


Figura 2.- Diagrama que muestra el proceso de curado acelerado conocido como "Duggan Test"

Para cada etapa de análisis (1, 2 y 3 meses) se emplearon las técnicas de DTA, XRD y SEM para monitorear la formación de etringita secundaria y se evaluó su efecto en las propiedades mecánicas de las muestras en base a la resistencia a la compresión y tracción.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Resultados por Análisis Térmico diferencial (DTA)

De acuerdo con los resultados arrojados por los termogramas, y con la temperatura de descomposición de la etringita secundaria la cual es alrededor de los 110°C^5 , la cantidad de etringita fue, en general, incrementándose a lo largo de los meses en todas las muestras preparadas con agregado ligero como se aprecia en las figuras 3 y 4. Aunque comportamiento similar se apreció con el concreto A1, en el caso del concreto B1 hubo un efecto adverso lo cual, puede tener explicación en que este último concreto si está siguiendo una cinética de hidratación "normal"

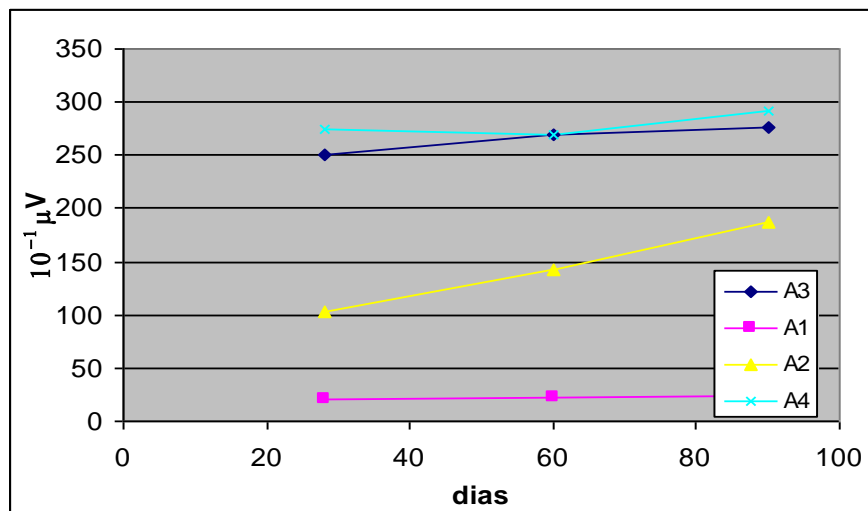


Figura 3.- Desarrollo de etringita en muestras de concreto A

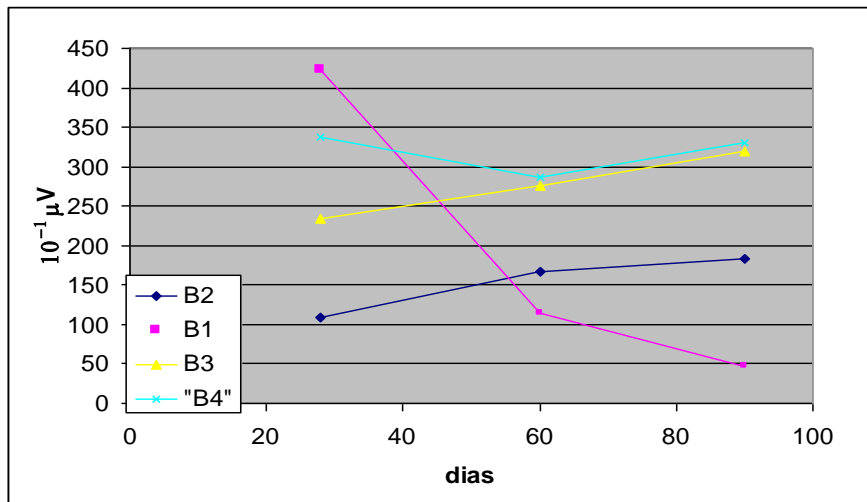


Figura 4.- Desarrollo de etringita en muestras de concreto B

3.2 Resultados por Difracción de Rayos X (XRD)

Para corroborar la información arrojada por el DTA en base al pico que es etringita, se recurrió al análisis por difracción de rayos X para ser identificado en base a su composición. En las figuras 5 y 6 se muestran difractogramas comparativos entre distintas muestras analizadas a una misma edad para comparar la existencia de etringita en relación con la muestra de referencia (A1 o B1) hecha de agregado normal.

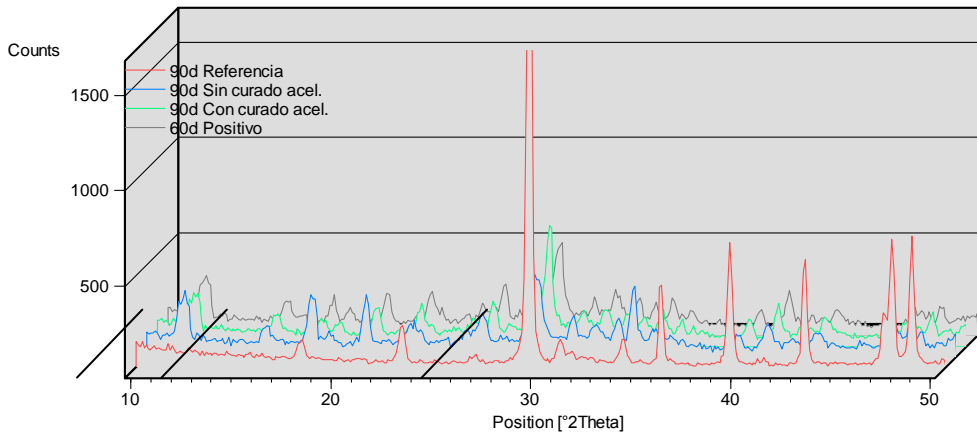


Figura 5.- Difractogramas de muestras de concreto “B” donde los picos característicos de etringita aparecen en las posiciones 2° Theta 15, 19 y 32

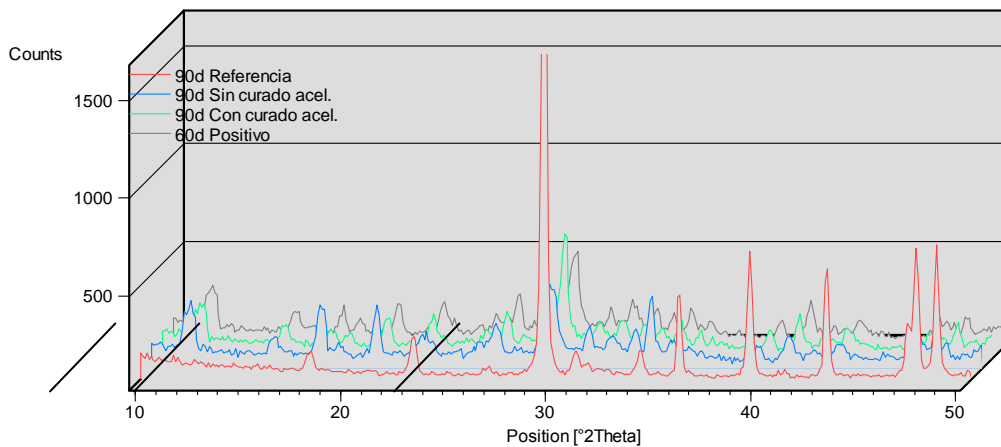
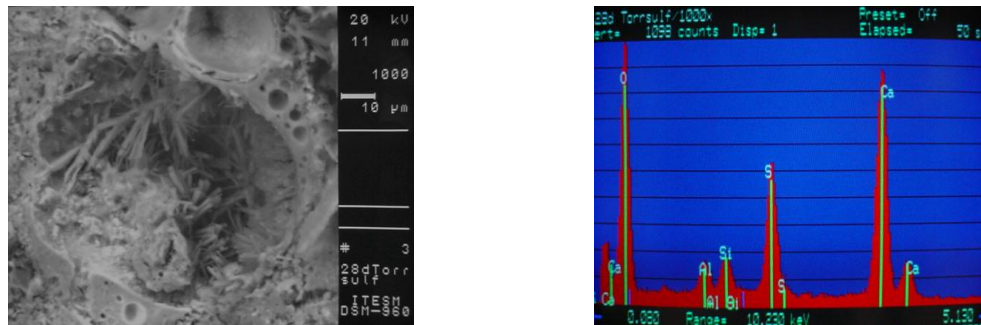


Figura 6.- Difractogramas de muestras de concreto "A" donde los picos característicos de etringita aparecen en las posiciones 2° Theta 15, 19 y 32

3.3 Resultados por Microscopía electrónica de Barrido (SEM)

La presencia de etringita es evidente en las diversas edades de análisis, con el uso del microscopio de barrido electrónico encontrando las agujas características de este compuesto de acuerdo con la morfología reportada en la literatura (Owsiak, 2004). y apoyándose en análisis por dispersión de rayos X para saber la composición elemental de dichos cristales. En la figura 7 se ejemplifica esta micrografía y su correspondiente análisis.



Figuras 7.- Micrografía de una muestra de concreto "B" que muestra cristales agrupados de etringita con su correspondiente análisis por EDX

3.4 Evaluación de las propiedades mecánicas

Por último, para evaluar el efecto de esta etringita en las matrices de los concretos preparados, se realizaron pruebas mecánicas sobre las muestras, tales como la resistencia a la compresión y a la tracción. Como se muestra en las gráficas de las figura 8 y 9, el efecto adverso de este compuesto no se ha hecho notar de manera evidente aún pues en ambas pruebas, las resistencias tendieron a incrementarse.

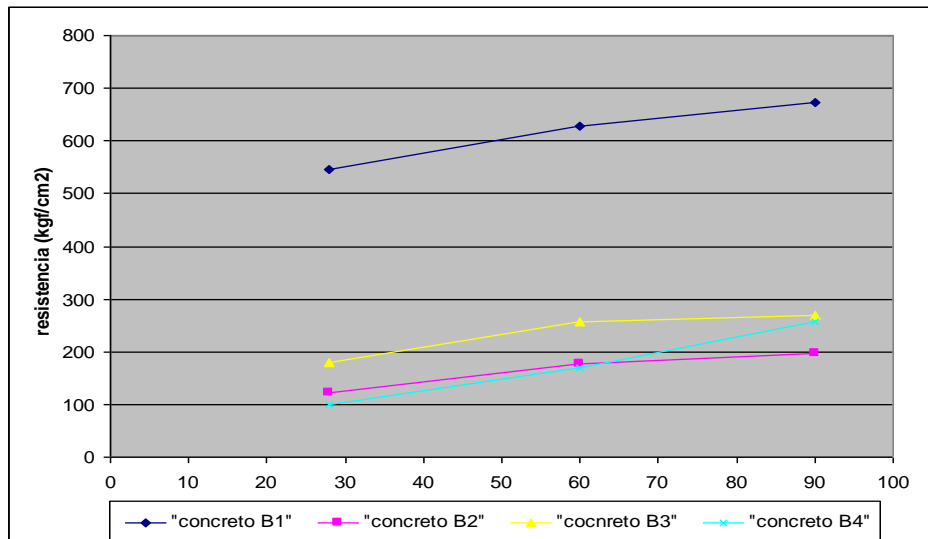


Figura 8.- Gráfica que muestra el incremento en las resistencias a la compresión en las muestras de concreto "B"

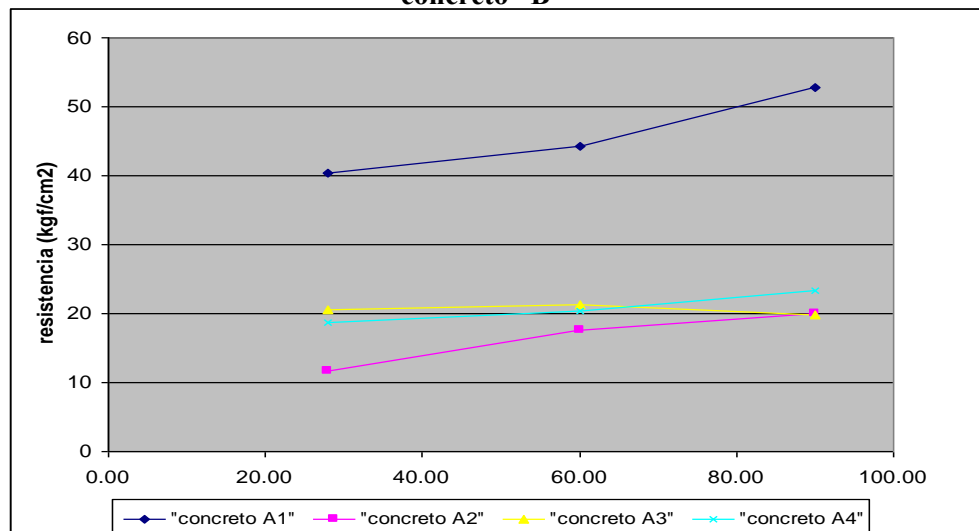


Figura 9.- Gráfica que muestra el incremento en las resistencias a la tracción para todas las muestras de concreto "A".

3 Conclusiones

Con la experimentación realizada, se evidenció que la aparición de etringita secundaria en las muestras probadas con el agregado ligero, sucedió tal como se sospechaba pues este, es un gran aporte de sulfatos a la matriz. Por otro lado, a pesar de haberse incrementado la cantidad de etringita secundaria en comparación con las fechas de análisis predecesoras, no se pudo establecer su efecto adverso en las propiedades mecánicas pues al contrario, éstas se siguieron incrementando.

La posible explicación que satisface este hecho es que el agregado por ser altamente poroso, está actuando como zona de nucleación y crecimiento del compuesto, por lo que al estarse rellorando solo las zonas porosas, no se está influenciando hasta este momento, la expansión de la matriz. Aunque el método de curado acelerado probó ser efectivo en el desarrollo de los productos de hidratación, no pudo provocar la expansión por productos deletéreos en las muestras de concreto, ni siquiera en las muestras de concreto normal; lo cual es acorde con lo

revisado en la literatura (Lo,2007) pues, este método había sido probado solo en muestras de más de 3 meses de edad y no desde los 28 días de haberse preparado la mezcla.

REFERENCIAS

- Lo, Tommy, Tang W.C. Tang, Cui, H.Z. (2007). "Building and Environment" Vol. 42, pp 3025-3029
- Chi, J. Huang. R, Yang. C, Chang. J. (2003). "Cement and Concrete Composites" Vo. 25 pp 197-205
- Kayali. O. (2008). "Construction and Building Materials" Vol. 22, pp 2393-2399
- Lane, D. (2008)"Evaluation of the potential for internal sulfate attack Throug adaptation of ASTM C 342 and the Duggan Test" The Concrete Society.
- Odler, I.; Maula, A. (1984). Cement and Concrete Research, , 14, 133-141
- Owsiak, Z. (2004). Cement and Concrete Research. 34, 7-11
- Shao, Y.; Lynsdale, C.; Lawrence, C.; Sharp, J. (1997). Cement and Concrete Research. 27 (11), 1761-1771
- Skalny, J.; Marchand, J.; Odler, I. (2002). "Sulfate attack on concrete". Spon Press. NY, USA., pp 23
- Hunter, O. (2004). "Characterization of pore structure and crack propagation in concrete using X-Raycomputed tomography", Tesis de maestría, pp 42 - 43

Autorización y Renuncia

Laura Eugenia Romero Robles, autora del presente trabajo, autorizo a LACCEI para publicar el escrito en las memorias de la conferencia. LACCEI o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que esta expresado en el escrito