



12-14 de Noviembre del 2012
Facultad de Ingeniería Mochis, Universidad Autónoma de Sinaloa

CURADO EXTERNO EN CLIMA CÁLIDO SUB-HÚMEDO DEL CONCRETO ELABORADO CON AGREGADO CALIZO TRITURADO DE ALTA ABSORCIÓN

E. Moreno¹, R.G. Solís-Carcaño¹, J.L. Varela-Rivera¹, C.O. Vázquez-Rojas¹

¹ Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, Avenida Industrias no contaminantes por Periférico Norte sin número, Mérida, Yucatán, México.

RESUMEN

La resistencia a compresión axial del concreto es afectada por la compactación y el curado. Condiciones ambientales como temperatura, humedad relativa y velocidad del viento son variables que afectan al concreto tanto en su estado fresco como endurecido. El clima en Yucatán es cálido subhúmedo con lluvias en verano y humedad relativa alta la mayor parte del año, condiciones que podrían promover un curado natural. Esta investigación tiene como objetivo determinar si el curado natural ocurre en todas las estaciones del año bajo estas condiciones. Mensualmente se elaboraron 32 cilindros estándar de concreto durante un año, utilizando dos tratamientos de curado: húmedo y natural. Se realizaron ensayos de compresión axial a 7, 28 y 90 días.

Se concluyó que el curado natural ocurrió durante todo el año. Las pérdidas de resistencia por aplicar un tratamiento de curado al ambiente bajo sombra fueron mínimas con respecto a la resistencia esperada.

Palabras clave: Clima cálido, Concreto, Curado, Humedad, Resistencia a la compresión

ABSTRACT

Concrete's compressive strength is affected by consolidation and curing. Ambient conditions as temperature, relative humidity and wind velocity are variables that affect fresh and hardened concrete. Yucatan's climate is hot sub-humid with summer rains and high relative humidity for most of the year, conditions that promote natural curing. This investigation is aimed to determine if natural curing happens in all year under these conditions.

Each month, during a year, 32 standard concrete cylinders were cast employing two curing treatments: humid and natural. Compressive strength tests were performed at 7, 28, and 90 days. It was concluded that natural curing happens the whole year. The compressive strength loss due to the ambient curing under shadow was meaningless with respect to the expected strength.

Keywords: Compressive strength, Concrete, Curing, Hot climate, Humidity

INTRODUCCIÓN

Desde tiempo atrás es conocido que el curado de los elementos de concreto es muy importante para el desarrollo de las propiedades aglutinantes del cemento. Después de colar una estructura de concreto, ésta queda expuesta a las condiciones de humedad, temperatura, precipitación pluvial y viento del medio ambiente. Debido a estos factores, se requieren aplicar métodos de curado adecuados que garanticen la humedad de concreto, promoviendo así, la hidratación del cemento. Sin embargo, existen condiciones climáticas en ciertas regiones que son favorables para la hidratación del cemento, es decir el desarrollo de un curado natural al medio ambiente.

El clima de la ciudad de Mérida es un clima cálido-subhúmedo (según la clasificación del INEGI);¹ tradicionalmente se ha considerado que las condiciones de humedad, temperatura y viento podrían ser favorables en ciertas temporadas del año para que se desarrolle un curado natural.

Estudios realizados recientemente en la Península de Yucatán, han mostrado poca variación entre la resistencia obtenida en especímenes de concreto con un curado húmedo adicional y aquella obtenida usando un curado natural a la intemperie bajo sombra.²

Este estudio tiene como objetivo seguir con la línea de investigación del curado natural en clima cálido sub-húmedo y determinar en qué momentos del año este curado natural no sería suficiente como tratamiento de curado.

METODOLOGÍA

El agregado grueso y fino para esta investigación fue adquirido en la ciudad de Mérida, Yucatán. Los agregados que se encuentran en la región son de alta absorción, por lo que la caracterización de sus propiedades físicas es importante para la fabricación de concreto.

Para el diseño de mezcla de concreto se empleó el procedimiento del ACI de volúmenes absolutos utilizando una relación agua/cemento a/c de 0.50, para una resistencia promedio esperada a 28 días de 334 kg/cm² y utilizando agregado grueso de 3/4" y un revenimiento entre 8 y 10 cm. El tipo de cemento empleado fue de fabricación local, que es un cemento portland compuesto (CPC-30 R, de clasificación nacional). En este estudio no se realizaron pruebas al cemento portland empleado para la fabricación del concreto debido a que el fabricante garantiza que cumple con la norma NMX-C-414-ONNCE-2004.

Para cada lote de concreto se realizaron las siguientes pruebas:

- Fluidez de la mezcla mediante el ensaye de revenimiento (ASTM C-143).
- Peso volumétrico del concreto (ASTM C-138).
- Contenido de aire del concreto (ASTM C-231).

La elaboración de los especímenes de concreto se realizó con moldes de acero de 15 cm de diámetro y 30 de cm de altura (ASTM C-470) y moldeados de acuerdo a la norma ASTM C-31. Se elaboraron 16 especímenes por lote de estudio, teniendo dos lotes por mes. La repetición fue generalmente al segundo día de la primera fabricación de especímenes. Después de elaborados los especímenes de concreto, fueron aplicados dos tratamientos de curado: húmedo y natural.

- Curado húmedo (A). El espécimen se mantuvo un día en el molde, después se retiró del mismo, y fue colocado en inmersión en agua, en el laboratorio, hasta los 28 días de colado; luego se le dejó a la intemperie bajo sombra hasta su prueba destructiva.

- Curado natural (B). El espécimen se mantuvo un día en el molde, después se retiró del mismo, y fue colocado al aire libre bajo sombra hasta su prueba destructiva.

El curado al ambiente bajo sombra aplicado en este estudio se puede generalizar a cierto tipo de elementos en los cuales, por los mismo procedimientos constructivos, no están directamente afectados por el intemperismo como es el caso de cerramientos, vigas o columnas interiores, los cuales están protegidos de la lluvia y el sol de manera directa.

La resistencia del concreto endurecido de los especímenes fue medida mediante la prueba de compresión axial de acuerdo a la norma ASTM C-39. Para cada lote de especímenes de concreto, de acuerdo al tipo de tratamiento de curado, se ensayaron a compresión axial a edades de 7, 28 y 90 días. Durante el período de curado de los especímenes de concreto, los valores de temperatura, humedad relativa y precipitación pluvial fueron recolectados de la estación meteorológica de la CNA ubicada en el aeropuerto de la ciudad de Mérida.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 1 presenta las propiedades físicas de los materiales pétreos y el cemento utilizados. Tanto para el agregado fino como para el agregado grueso se aprecia una absorción de más de 5 % en peso. Esta alta absorción es característica de los materiales de la región.

Tabla 1. Resumen de las propiedades físicas obtenidas de los materiales

<i>Material</i>	<i>P.V.S.S. kg/m³</i>	<i>P.V.S.C. kg/m³</i>	<i>Densidad</i>	<i>Absorción %</i>	<i>Módulo de Finura</i>
Cemento	1115	-	3.15	-	-
Arena	1361	-	2.30	5.5	3.52
Grava	1224	1336	2.24	5.7	-

La tabla 2 presenta los resultados de las pruebas realizadas al concreto fresco. El revenimiento obtenido para cada lote se mantuvo dentro del rango establecido en el diseño de la mezcla (8-10 cm), teniendo un revenimiento promedio de 10 cm. En cuanto al contenido de aire, el valor que se obtuvo es en el rango típico que se obtiene en mezclas de concreto con agregados de la región (2-3 %), obteniendo un contenido de aire promedio de 3 %, para el estudio. El peso volumétrico del concreto en el estudio se mantuvo dentro rango de concretos de peso normal, teniendo un peso volumétrico promedio de 2146 kg/m³.

Los resultados de los ensayos a compresión axial a 7 días de curado se presentan en la Tabla 3. La prueba de compresión axial se realizó en la máquina universal (marca Satec), del laboratorio de estructuras y materiales de la FI-UADY. También se muestran la media y desviación estándar por lote. El desarrollo de resistencia a la edad de 7 días de los especímenes de concreto oscilaron entre un intervalo del 74 al 90% con respecto a la resistencia a compresión axial esperada (334 kg/cm²). Para el tratamiento A este desarrollo osciló entre 74-88 % y para el tratamiento B este mismo oscila entre 77- 90 %.

Los resultados de los ensayos a compresión axial a 28 días de curado se presentan en la Tabla 4. La prueba fue realizada en la máquina universal (marca Forney), del laboratorio de estructuras y materiales de la FI-UADY. También se presentan la media y desviación estándar por lote. El desarrollo de las resistencias a 28 días para ambos tratamientos fue alrededor del 95 y 105% con respecto a la resistencia a compresión axial esperada (334 kg/cm²). Para el caso del tratamiento A la mayor parte de los especímenes alcanzó el 100% de su resistencia a compresión axial esperada;

para el tratamiento B los especímenes alcanzaron un porcentaje muy cercano al 100% e incluso algunos lo superaron.

Tabla 2. Resultados del ensaye al concreto fresco.

<i>Año</i>	<i>Mes</i>	<i>Lote</i>	<i>Día del mes</i>	<i>Revenimiento (cm)</i>	<i>Peso volumétrico (kg/m³)</i>	<i>Contenido de Aire (%)</i>	
2007	Junio	1	14	10	2157	2.60	
		Repetición	19	11	2136	2.60	
	Julio	2	24	9	2150	2.90	
		Repetición	26	9	2150	2.70	
	Agosto	3	22	9	2152	2.70	
		Repetición	24	9	2140	2.70	
	Septiembre	4	18	8	2140	2.90	
		Repetición	20	12	2140	3.00	
	Octubre	5	16	9	2146	2.90	
		Repetición	18	10	2131	3.00	
	Noviembre	6	13	11	2129	2.90	
		Repetición	15	10	2148	3.00	
Diciembre	7	11	12	2150	2.90		
	Repetición	12	10	2144	2.90		
2008	Enero	8	8	11	2142	3.00	
		Repetición	10	10	2142	3.00	
	Febrero	9	12	10	2149	2.60	
		Repetición	14	8	2135	3.00	
	Marzo	10	5	10	2159	2.90	
		Repetición	6	15	2143	2.80	
	Abril	11	8	11	2148	2.90	
		Repetición	10	11	2146	3.00	
	Mayo	12	6	10	2155	3.00	
		Repetición	6	12	2166	2.90	
			Media		10	2146	3.00

Tabla 3. Resistencia a compresión axial a 7 días (kg/cm²).

<i>Año</i>	<i>Mes</i>	<i>Primer Lote</i>		<i>Lote de Repetición</i>		<i>Media mensual</i>	
		<i>Tratamiento de curado</i>		<i>Tratamiento de curado</i>		<i>A</i>	<i>B</i>
		<i>A</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>B</i>		
2007	Jun	266	263	230	250	248	257
	Jul	270	277	268	265	269	271
	Ago	274	280	265	289	270	285
	Sep	281	292	295	288	288	290
	Oct	279	272	291	296	285	284
	Nov	227	295	272	305	250	300
	Dic	275	279	272	267	274	273
2008	Ene	267	283	269	290	268	287
	Feb	292	291	295	292	294	292
	Mar	274	283	267	269	271	276
	Abr	278	280	293	277	286	279
	May	290	305	298	306	294	306
	Media Anual	273	283	276	283	275	283
	Desviación	16	11	19	17	15	13

Tabla 4. Resistencia a compresión axial a 28 días (kg/cm²).

Año	Mes	Primer Lote		Lote de Repetición		Media mensual	
		Tratamientos de curado		Tratamientos de curado		A	B
		A	B	A	B	A	B
2007	Jun	337	318	341	335	339	327
	Jul	320	335	309	319	315	327
	Agos	329	339	319	341	324	340
	Sept	329	326	340	337	335	332
	Oct	339	341	339	337	339	339
	Nov	326	342	339	348	333	345
	Dic	339	330	344	331	342	331
2008	Ene	333	331	356	343	345	337
	Feb	353	349	349	344	351	347
	Mar	345	324	326	305	336	315
	Abr	341	323	344	318	343	321
	May	355	334	367	335	361	335
	Media Anual	337	333	339	333	338	333
	Desviación	11	9	16	13	12	10

La Tabla 5 presenta los resultados de la resistencia a compresión axial a la edad de 90 días de curado. Esta prueba fue realizada en la máquina universal (marca Forney), del laboratorio de estructuras y materiales de la FI-UADY. También se presentan la media y desviación estándar por lote.

Tabla 5. Resistencia a compresión axial a 90 días (kg/cm²).

Año	Mes	Primer Lote		Lote de Repetición		Media mensual	
		Tratamientos de curado		Tratamientos de curado		A	B
		A	B	A	B	A	B
2007	Jun	404	343	399	357	402	350
	Jul	396	343	388	341	392	342
	Agos	382	350	395	352	389	351
	Sept	395	348	386	346	391	347
	Oct	408	363	404	332	406	348
	Nov	402	346	421	373	412	360
	Dic	400	354	428	355	414	355
2008	Ene	390	361	428	354	409	358
	Feb	409	358	421	356	415	357
	Mar	413	346	413	346	413	346
	Abr	385	335	410	327	398	331
	May	418	352	423	347	421	350
	Media Anual	400	350	410	349	405	349
	Desviación	11	8	15	12	11	8

La ganancia de resistencia después de 90 días de curado al ambiente con respecto a la resistencia a compresión axial esperada (334 kg/cm²), es entre 2 y 8 %, lo que contrasta estos resultados con los de los especímenes permanentemente húmedos durante 28 días y después colocados al ambiente hasta su prueba destructiva, los cuales experimentaron una ganancia entre el 26-16%. La variación de resistencia entre ambos tratamientos osciló con una pérdida entre 10-17% del tratamiento B con respecto al A.

El comportamiento de las resistencias fue comparado con los resultados de Gonnerman y Shuman, debido a que sus resultados siguen siendo utilizados como la prueba más contundente de la ganancia de resistencia a la compresión del concreto como resultado de la aplicación del proceso de curado húmedo en el material.²

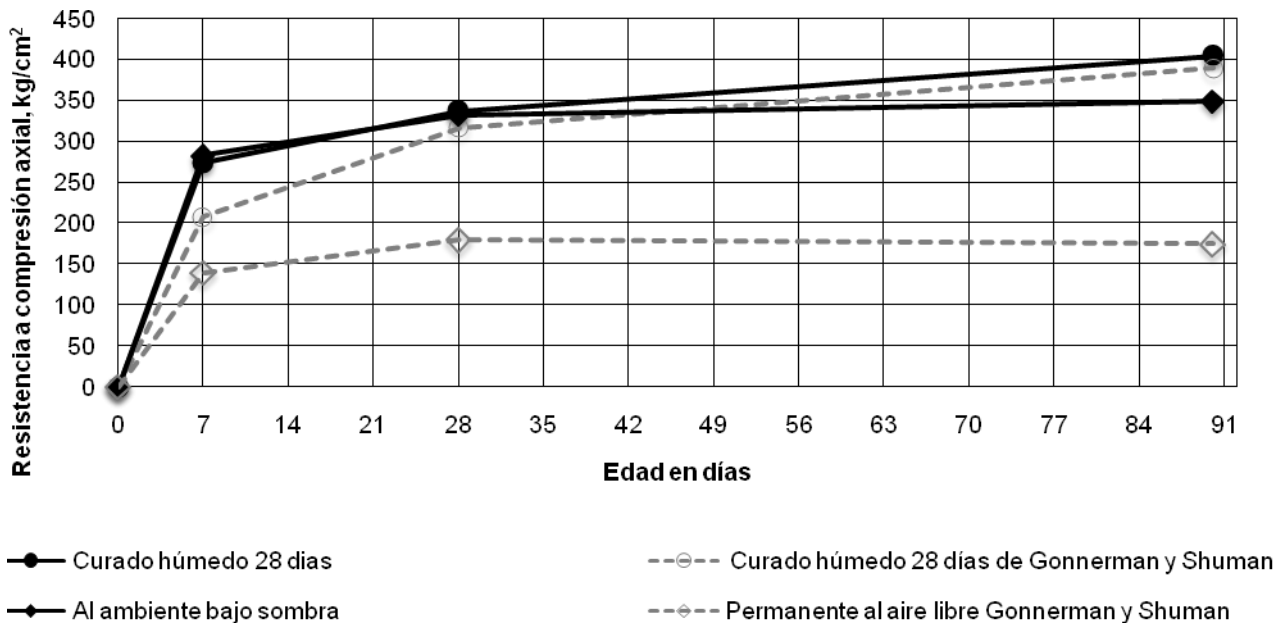


Figura 1. Promedio de resistencias a compresión, comparadas con los resultados de Gonnerman y Shuman.

Los resultados de resistencia a compresión axial obtenidos en esta investigación muestran una variación menor al 6 % con respecto de aplicar un curado continuo (por inmersión), por lo que contrasta los resultado obtenidos por Gonnerman y Shuman, los cuales obtuvieron una variación del 50% (Figura 1). Esto confirma la existencia observada en estudios anteriores de un curado natural en la región bajo estudio, lo cual, a través del año de investigación, se mantuvo constante. Por lo que se puede esperar que en cualquier época del año el curado natural bajo ambiente se presente.

Los resultados obtenidos de este estudio fueron comparados con los de la investigación más reciente en el área de investigación del curado de concreto de la FIUADY.³ En otoño 2006 e invierno de 2007, Serrano (2007), realizó una investigación para observar la influencia del curado por inmersión comparada con otros tratamientos de curado:

- Permanente húmedo durante 28 días (A)
- Permanente en el aire (ambiente de laboratorio B)

El estudio de Serrano obtuvo una variación entre ambos tratamientos a la edad de 7 días del 3% menor el tratamiento B con respecto al A. A la edad de 28 días obtuvo una variación del 12 %, es decir una ganancia de resistencia del tratamiento B con respecto al A. A los 90 días obtuvo una pérdida de resistencia del 3% del tratamiento B con respecto al A. Estas variaciones fueron comparadas con las resistencias medias anuales obtenidas en esta investigación. Las variaciones obtenidas en esta investigación fueron menores para los primeros 28 días; sin embargo, a los 90 días, esta variación aumento a un 10 %. Lo que contrasta con los resultados de Serrano (2007) donde los primeros 28 días el tratamiento B resulta mejor que el tratamiento A, sin embargo, a 90 días, resulta mejor el tratamiento A (Figura 2). Cabe aclarar que el tratamiento B aplicado en ese estudio es un curado permanente en el aire en el laboratorio, lo que contrasta con lo aplicado en esta investigación que es un curado al ambiente bajo sombra. Lo que sugiere que el tratamiento de permanente al aire en el laboratorio resulta mejor para un desarrollo de resistencia.

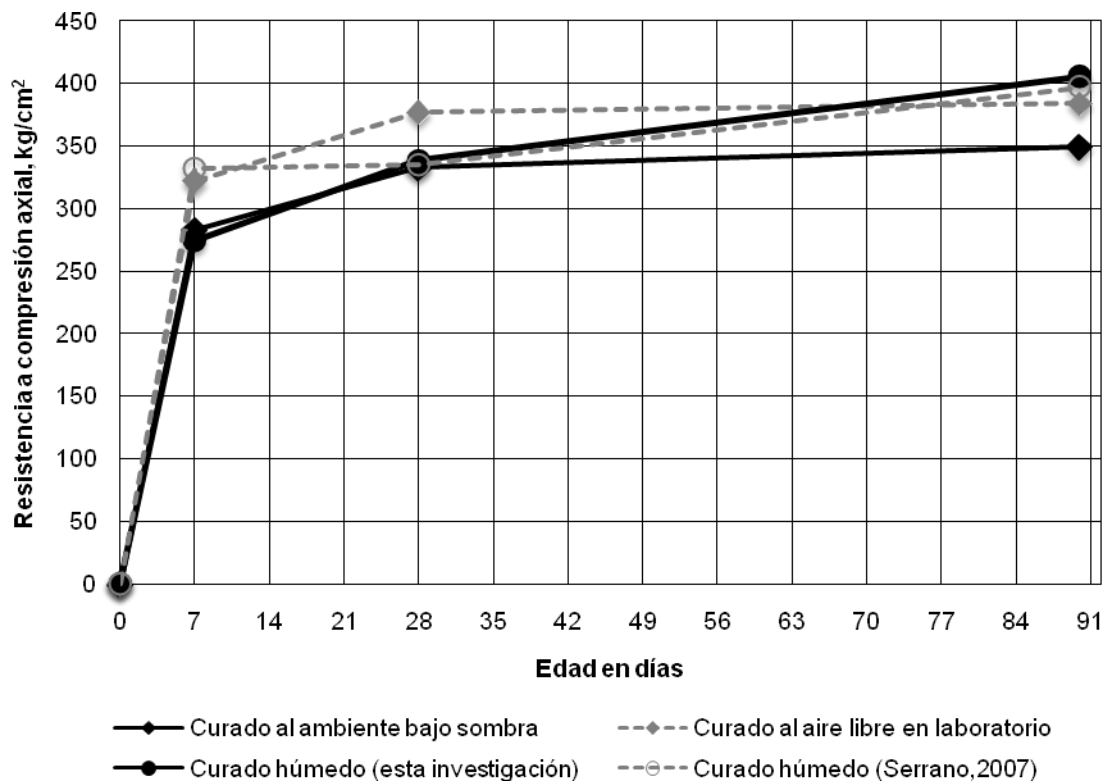


Figura 2. Influencia de curado al ambiente bajo sombra y al aire libre en laboratorio.

Por otra parte, en este trabajo sí se observó la ganancia en resistencia debido al curado húmedo, ya que las probetas estudiadas a 90 días habían sido retiradas del curado húmedo después de 28 días y colocadas al aire libre bajo sombra, mientras que en el trabajo de Serrano, las probetas se habían mantenido húmedas por 90 días, afectando la prueba de resistencia por la condición de humedad interna del concreto.⁴

Los resultados de este estudio también se compararon con la investigación realizada en la región de M' Sila en Argelia (2008), por M. Beddar, S. Safer y H. Chabil.⁵ El objetivo de este estudio fue mostrar el desarrollo de la resistencia a compresión axial, en diferentes ambientes y tipos de curado. Los resultados obtenidos en el clima seco de M'Sila, aplicando diferentes métodos de curado, muestran que el curado húmedo por inmersión fue el mejor, teniendo una ganancia del

28% con respecto al que estuvo al aire libre en laboratorio. Estos resultados contrastan con los obtenidos en la presente investigación, debido a que la ganancia del curado húmedo fue menor al 10 % con respecto a los especímenes permanentes al ambiente bajo sombra.

CONCLUSIONES

A mediana edad (90 días):

- ❖ Durante el año de estudio se obtuvo una ganancia promedio del 16 % de resistencia a compresión axial, como efecto del tratamiento de curado húmedo (respecto al tratamiento de curado bajo sombra).
- ❖ El rango de las diferencias de las resistencias obtenidas de los dos tratamientos de curado durante el año fue de 10% a 17%.
- ❖ El promedio anual de la resistencia axial del concreto con tratamiento de curado B (sin adición de agua) alcanzó el 86% de la resistencia potencial.

A edades tempranas (7 y 28 días):

- ❖ No se hizo evidente la ganancia de resistencia del tratamiento de curado A (respecto al B), durante el año de estudio.

El curado natural (ambiente bajo sombra) en la zona de la ciudad de Mérida ocurrió durante todo el año, lo cual proporcionó al concreto una resistencia a compresión axial muy cercana al 100% con respecto a la resistencia esperada de diseño (f'_c); por lo que no aplicar un tratamiento de curado externo en construcciones y condiciones similares no debe afectar la resistencia de los elementos de concreto.

REFERENCIAS

1. INEGI (1998), “Sistemas Nacionales Estadísticos y de Información Geográfica”, Disponible <http://www.inegi.gob.mx/inegi/dfault.aspx?s=geo&e=31>. Recuperado el 5 de marzo de 2008.
2. R. Solís-Carcaño y E. I. Moreno, “Influencia del curado húmedo en la resistencia a compresión del concreto en clima cálido sub-húmedo”, Revista Académica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, vol.9, num.3, 2005, pp. 5-17.
3. Serrano Zebadua C.A. (2007). “Influencia en del tiempo de curado por inmersión en el desempeño del concreto en clima cálido sub-húmedo”. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Yucatán.
4. E. I. Moreno ,R. Solís-Carcaño y C. Serrano-Zebadua, “Natural concrete curing Under hot-humid climate”, Fifth ACI/CANMET International Conference on High Performance Concrete Structures and Materials, E. Pazini, T. Holland, V. Malhotra & P. Helene, eds. American Concrete Institute SP-253, Farmington Hills, MI, pp. 291-303, 2008.
5. M. Beddar, S. Safer y H. Chabil, “Performance of concrete curing in hot climate”, Concrete Durability: Achievement and Enhancement, R.K. Dhir, T.A. Harrison, L. Zheng, S. Kandasami, eds., HIS BRE Press, 2008, pp.801-814.