



Resistencia de concreto con agregado de alta absorción y baja relación a/c

R. G. Solís¹, E. I. Moreno¹, E. Arjona¹

¹Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Ingeniería, Av. Industrias No Contaminantes S/N, Anillo Periférico Norte, Mérida, Yucatán, México.

Información del artículo

DOI:

<http://dx.doi.org/10.21041/ra.v2i1.23>

Artículo recibido el 30 de Septiembre de 2011, revisado bajo las políticas de publicación de la Revista ALCONPAT y aceptado el 14 de Diciembre de 2011. Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores se publicará en el tercer número del año 2012 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del segundo número del año 2012

RESUMEN

La resistencia del concreto depende de la calidad de la pasta de cemento y de las características de los agregados pétreos. La primera es controlada por la relación agua - cemento, mientras que las propiedades de los agregados generalmente no pueden ser manipuladas ya que se suele utilizar aquellos que están disponibles cerca de la construcción. En muchas regiones rocas con propiedades no deseables son utilizadas como agregado. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue responder a la pregunta sobre cuál sería la máxima resistencia de diseño que se podría utilizar para concretos fabricados con un tipo específico de agregados obtenidos a partir de la trituración de roca caliza de alta absorción. Se probaron concretos con seis relaciones agua - cemento y dos tamaños de agregado grueso. Se concluyó que con los agregados estudiados es posible fabricar concretos de hasta 500 k/cm² de f'c.

Palabras clave: absorción; agregados calizos; concreto; relación agua/cemento; resistencia.

ABSTRACT

Concrete strength depends on the cement paste quality and on the characteristics of the aggregates. The former is controlled by the water to cement ratio, while the properties of the aggregate, in general, cannot be manipulated as it is customary to employ the ones available near the construction site. In many regions rocks with no desirable properties are employed as aggregates. Therefore, the aim of this study was to answer the question about what would that be the maximum compressive strength attainable in concrete made with a specific type of aggregate obtained from crushed limestone of high absorption. Concrete mixtures involved six water to cement ratios and two sizes of coarse aggregate. It was concluded that with this type of aggregate it is possible to made concrete with compressive strength up to 500 k/cm² of f'c.

Key words: absorption; compressive strength; concrete; limestone aggregate; water/cement ratio; resistance.

Autor de contacto: Romel G. Solís (tulich@tunku.uady.mx)

© 2012 Alconpat Internacional

Información Legal

Revista ALCONPAT, Año 2, No. 1, Enero - Abril 2012, es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A.C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida Yucatán, C.P. 97310, 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, eISSN 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, Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida Yucatán, C.P. 97310, fecha de publicación: 30 de Enero de 2012.

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. INTRODUCCION

El concreto es una piedra artificial que está sujeta a esfuerzos internos que equilibran las cargas y otras acciones accidentales que reciben las construcciones durante su vida de servicio. Este material también está sometido a acciones que el medio ambiente le provoca, las cuales puede ocasionarle deterioros de carácter físico y/o químico, cuya consecuencia es una disminución en la vida útil, respecto a la que teóricamente podría permitirle su resistencia mecánica.

Siendo el concreto un material compuesto, su desempeño depende principalmente de la calidad de la pasta de cemento y de las características físico-químicas de las partículas de roca que componen el material.

La calidad de la pasta depende del volumen de productos hidratados que se generan a partir de las reacciones químicas de los compuestos que componen el cemento con el agua; este volumen a su vez depende de la relación entre el agua y el cemento (A/C) que se utilice en la mezcla y del tiempo que el material se conserve en condición húmeda. Con relaciones A/C bajas y un procedimiento adecuado de curado se minimiza la red de poros capilares y se obtiene una pasta de cemento de buena calidad (Neville y Brook, 1998).

Por su parte, las partículas de roca que son agregadas a la pasta de cemento –y conforman el mayor volumen del material– suelen tener características muy variables dependiendo del origen geológico de la roca madre; sean cualesquiera las propiedades físicas y químicas de ésta, la característica más importante que se esperaría de ella es que sea químicamente inerte respecto al cemento.

El concreto desde su origen como material de construcción masivo –hace aproximadamente un siglo– ha sido fabricado utilizando las rocas que se tienen disponibles en las diferentes regiones del mundo; a menos que la importancia de la obra justifique traerlo de otra región (González, 2010). Esto lo ha hecho relativamente económico, por lo que se ha convertido en el material de construcción más utilizado en el mundo (Hernández, 2008), por encima de otros más antiguos, o bien más resistentes, rígidos y dúctiles.

Los agregados más utilizados en el mundo provienen de depósitos naturales formados en cauces de ríos o llanuras inundables, y son relativamente baratos ya que generalmente no requieren de proceso industrial alguno; las partículas que conforman estos agregados naturales son predominantemente de cuarzo (Popovics, 1992). Sin embargo, existen también regiones que carecen de ríos, en donde se extraen las rocas madres que dan lugar a los agregados directamente de la corteza terrestre, utilizando explosivos y/o máquinas excavadoras; estas rocas posteriormente son fragmentadas por medio de trituración mecanizada. Este tipo de agregados se denominan triturados y requieren además de un proceso de cribado y clasificación de las partículas.

La Península de Yucatán en México es una extensa planicie –carente de ríos y lagunas– constituida por sedimentos calcáreos marinos, con características morfológicas bastantes uniformes. En esta región los agregados para el concreto se obtienen a partir de la extracción y trituración de la roca caliza, la cual es altamente porosa (Solís y Moreno, 2006). De acuerdo con estudios químicos reportados (Pacheco y Alonzo, 2003), estas rocas están constituidas principalmente de carbonato de calcio (77%) y de carbonato de magnesio (13%).

Pruebas mecánicas realizadas a estas rocas calizas han dado los siguientes valores medios: resistencia a la compresión 283 kg/cm^2 , densidad relativa 2,17, absorción 7,11% y módulo de elasticidad $1\ 203\ 772 \text{ kg/cm}^2$ (Alonzo y Espinoza, 2003). En contraparte, rocas calizas de poca absorción suelen presentar resistencias a la compresión superiores a $1\ 000 \text{ kg/cm}^2$ (Ortíz et al., 1995).

Las características más notables de los agregados obtenidos a partir de este tipo de rocas son su alta absorción, su baja densidad y su gran porcentaje de partículas finas, todas ellas características que los hacen agregados relativamente deficientes. De acuerdo a trabajos publicados se puede estimar valores medios de estas propiedades de: 6,45%, 2,35 y 4,01%, respectivamente (Cerón et al., 1996; Solís et al., 2008).

El objetivo del estudio fue hacer una exploración sobre la máxima resistencia que se podría obtener en concretos fabricados usando un tipo específico de agregados calizos triturados de alta absorción, utilizando bajas relaciones A/C; lo anterior sin adicionar materiales puzolánicos, los cuales no son una opción económica en la región del estudio.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Se diseñaron ocho mezclas diferentes –utilizando el método del ACI 211 (ACI 211, 2001)– combinando seis relaciones A/C y dos tamaños máximos de agregado grueso (TMA), de manera no simétrica; las relaciones A/C (en masa) incluidas en el estudio fueron: 0,20, 0,25, 0,30, 0,35, 0,40, 0,45, y los TMA fueron: 9,5 mm y 19,1 mm.

Se utilizó cemento Portland compuesto de 30 MPa de resistencia (CPC-30) de fabricación mexicana, equivalente al Portland tipo I con adición de caliza (NMX-C-414-ONNCCE, 1999). Los agregados utilizados fueron del tipo calizo triturado; las propiedades físicas de la muestra utilizada se presentan en la Tabla 1. Para darles la fluidez necesaria a las mezclas se utilizó un reductor de agua de alto rango súper plastificante Tipo A (ASTM C-494) (ACI 211, 2001) libre de cloruros.

Tabla 1. Propiedades físicas de la muestra de agregados pétreos utilizados.

Agregado	Peso volumétrico seco suelto (kg/m ³)	Peso volumétrico seco compacto (kg/m ³)	Densidad relativa	Absorción (%)	Módulo de finura
Arena	1 398	-	2,42	5,1	2,83
Grava 9,5 mm	1 269	1 357	2,38	6,0	-
Grava 19,1 mm	1 197	1 239	2,28	8,0	-

Se utilizaron probetas cilíndricas de 100 mm de diámetro por 200 mm de altura moldeadas en laboratorio. El procedimiento de compactación del concreto fue por medio de vibración externa (ASTM C1176, 2008). Una vez endurecidas y desmoldeadas las probetas se curaron por inmersión hasta el día en que se realizaron las pruebas (ASTM C192/C192M, 2008), con excepción de aquellas que fueron probadas a 90 días de edad, en las cuales el curado húmedo finalizó a los 28 días; esto último para que tengan un curado estándar y considerando que es muy difícil que en las construcciones el curado pueda extenderse más allá de cuatro semanas.

Para cada lote de concreto fabricado se midió la resistencia a la compresión axial (ASTM C192/192M, 2008) a los 28 días –denominada en adelante como la resistencia–, y para aquellos con A/C de 0,25 y 0,30 se midió la resistencia también a 90 días. Por cada lote de concreto se realizaron cinco repeticiones a la medición de la resistencia; el procedimiento experimental fue duplicado. El análisis de los datos consistió en estadística descriptiva (media y desviación estándar).

3. RESULTADOS

En la Tabla 2 se presentan los valores promedio de la resistencia a 28 días, así como las cantidades de cemento utilizadas para cada lote de concreto fabricado. Se puede observar que el concreto que alcanzó la mayor resistencia a la compresión tuvo una relación A/C de 0,25, con 960 kg/m³ de cemento. La relación entre los agregados fino y grueso (en masa) de este lote fue 0,50, y se utilizó agregado grueso con TMA de 9,5 mm. Para esta mezcla se adicionó 18 ml de aditivo súper plastificante por m³ de cemento, y el revenimiento medido en ella fue de 8 cm. La resistencia de este lote de concreto a la edad de 28 días fue 556 kg/cm² con desviación estándar (σ) de 21,40 kg/cm². El promedio de la resistencia –a esta misma edad– de los tres lotes de concretos fabricados con la dosificación descrita fue de 542 kg/cm² con σ de 13,50 kg/cm².

Tabla 2. Resistencias a la compresión a 28 días, y principales parámetros de las mezclas.

A/C	TMA (mm)	Cantidad de cemento (kg/m ³)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
0,20	9,5	1 300	550
0,20	9,5	1 300	514
0,25	19,1	960	434
0,25	19,1	960	480
0,25	19,1	960	448
0,25	9,5	1 040	529
0,25	9,5	960	556
0,25	9,5	866	542
0,30	19,1	800	412
0,30	19,1	800	415
0,30	19,1	1 040	467
0,30	9,5	866	488
0,30	9,5	800	453
0,35	19,1	628	391
0,35	19,1	628	431
0,40	19,1	537	334
0,40	19,1	537	377
0,45	19,1	466	307

A la edad de 90 días, la resistencia del concreto del lote arriba descrito fue de 603 kg/cm² con σ de 10,76 kg/cm²; ésta fue la mayor resistencia que se midió en el estudio. El promedio de la resistencia a esta misma edad de los tres lotes fabricados con esa dosificación fue de 585 kg/cm² con σ de 18,77 kg/cm².

Con relación a la cantidad de cemento utilizada por m³ de concreto, se observó que a partir de aproximadamente 850 kg/m³ los incrementos de cemento no produjeron aumentos en la resistencia a la compresión del material, aun cuando se hiciera variar la A/C (Figura 1).

Para aquellas relaciones A/C en los que se utilizaron los dos TMA, se puede observar en la Tabla 1 que se obtuvieron mayores resistencias con el agregado grueso de menor tamaño. Por ejemplo cuando se combinó el agregado de 9,5 mm y la A/C de 0,30 la resistencia fue aproximadamente igual a la que se obtuvo con agregado de 19,5 y A/C de 0,25.

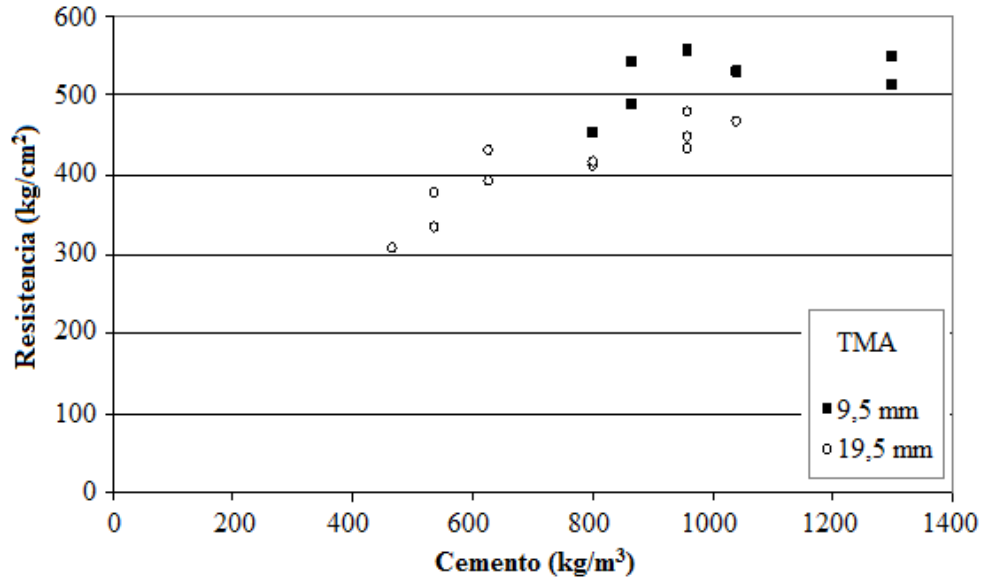


Figura 1. Resistencia a la compresión a 28 días obtenida para diferentes cantidades de cemento.

4. DISCUSIÓN

A pesar de que como se estableció en la introducción, este agregado calizo puede ser considerado deficiente por su alta absorción, se ha encontrado que la interacción química de las partículas de roca con la pasta de cemento puede conducir a un incremento en la fuerza de la adherencia entre éstas y los productos hidratados de cemento. A edades tempranas, la hidratación del cemento produce una gran cantidad de poros en la zona de interfase, lo que provoca una fuerza de adherencia débil; pero a mayor edad se ha observado que estos poros suelen llenarse con productos de hidratación posteriores, incrementándose la fuerza de adherencia (Tasong, 1999).

Por otra parte, resultados preliminares de estudios en proceso con este tipo de agregado (Terán, 2012) han mostrado que su alta porosidad le permite absorber una cantidad de agua durante el mezclado, misma que es liberada cuando el concreto pierde humedad como resultado de su exposición al medio ambiente. Esta liberación de agua permitiría la continuación del proceso de hidratación dando lugar a un curado de tipo interno (López et al., 2005).

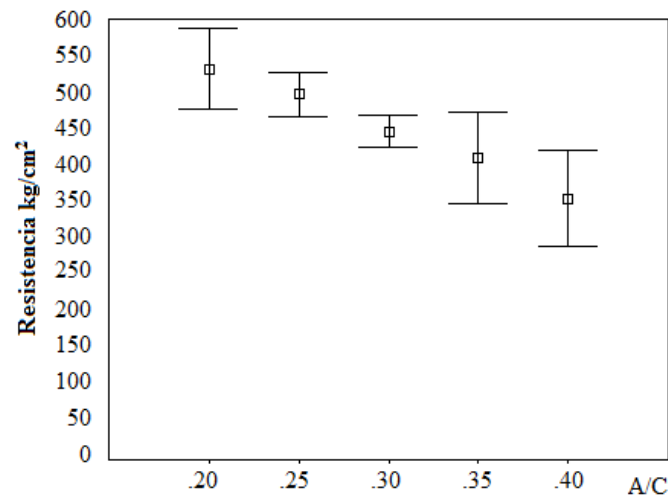
Las mayores resistencias obtenidas en el presente estudio fueron aproximadamente 20% superior a las anteriormente publicadas para concretos fabricados con los mismos materiales: 447 kg/cm² a la edad de 28 días y de 483 kg/cm² a los 90 días (Chuc, 2005).

El hecho de que no se hayan observado incrementos en la resistencia del concreto al aumentar la cantidad de cemento más allá de 850 kg/m³ (haciendo variar la A/C de 0,30 a 0,20) pudiera significar que la roca caliza –altamente porosa– haya llegado a su límite de resistencia, por lo que no se obtendrían incrementos en la resistencia del material compuesto (pasta de cemento y agregados) por el hecho de incrementar la cantidad de cemento; o bien, que no es posible hidratar una mayor cantidad de cemento durante 28 días, aun en condiciones de saturación de la probeta, por lo que no mejoraría la relación gel/espacio.

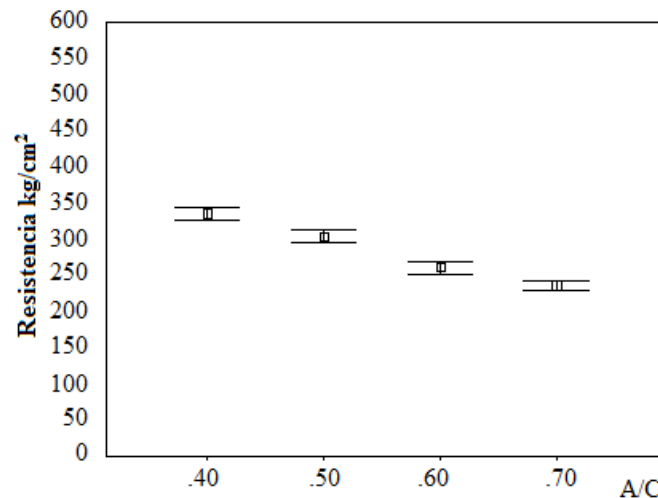
Se observó que el agregado de menor tamaño produjo la mayor resistencia; lo anterior concuerda con estudios en los cuales se ha reportado que el rango de TMA recomendado para obtener los mejores resultados en concretos de alta resistencia es de 9,5 mm a 15,9 mm (ACI 363R, 2010), estando el agregado grueso de 19,5 mm fuera de este rango.

Este trabajo exploró sobre la máxima resistencia que se podría obtener en concretos fabricados con este tipo específico de agregado. Sin embargo, en términos prácticos, es poco conveniente

utilizar contenidos de cemento tan altos como los que se presentan. Desde el punto de vista técnico, un alto contenido de cemento incrementa el fenómeno de la contracción, puede hacer crítica la cantidad de calor generado, y en algunos casos especiales, donde la resistencia a la abrasión sea un factor importante, puede disminuir la vida útil del elemento (Neville, 1999). Desde el punto de vista sustentable, se ha calculado que un 7% de las emisiones de dióxido de carbono se pueden atribuir a la industria del cemento, por lo que las tendencias actuales son limitar el contenido de cemento en el concreto, principalmente con la utilización de puzolanas (Malhotra, 1999). Y, desde el punto de vista económico, la ganancia en la resistencia obtenida en el presente estudio no justificó la utilización de altos contenidos de cemento por metro cúbico. Con respecto a la relación entre las variables A/C y resistencia promedio, Solís et al. publicaron para los mismos materiales las resistencias obtenidas a 28 días, para relaciones A/C entre 0,40 y 0,70 (Solís et al., 2008). La Figura 2 compara las resistencias promedios y sus bandas de confianza (95%) obtenidas tanto en el presente estudio, como en el que se publicó en 2008. Se observa que los resultados en ambos estudios son consistentes y se complementan permitiendo abarcar un amplio rango de A/C; las diferencias en la amplitud de las bandas de confianza entre ambos estudios se pueden explicar por la diferencia en los tamaños de las muestras.



a) Esta investigación.



b) Publicado por Solís *et al.* 2008).

Figura 2. Comparación de los promedios de las resistencias a 28 días medidas en este estudio con los reportados en estudio previo con los mismos materiales (95% de confianza).

5. CONCLUSIONES

Utilizando los agregados calizos bajo estudio, la máxima f^c que se podría utilizar para el diseño de estructuras de concreto, sin considerar adiciones puzolánicas, es aproximadamente de 500 kg/cm^2 (suponiendo una σ en el proceso de producción de 30 kg/cm^2); con la cual se podría obtener a largo plazo una resistencia promedio de aproximadamente 600 kg/cm^2 . No se observó que la resistencia del concreto aumentara por incrementar la cantidad unitaria de cemento por arriba de 850 kg/cm^2 . Se obtuvieron mayores resistencias utilizando agregados de $9,5 \text{ mm}$, cuyo tamaño es menor que el que usualmente se usa para la mayoría de las estructuras hechas con concreto normal.

6. REFERENCIAS

- ACI 211 (2001), *Proporcionamiento de mezclas de concreto normal, pesado y masivo*. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, U.S.A.
- ACI 363R-10 (2010), *Report on High-strength Concrete*. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, U.S.A.
- Alonzo L. y Espinosa L. (2003), *Estudio de las propiedades de la roca caliza de Yucatán*. Ingeniería Revista Académica, Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Yucatán, Vol. 7, Núm. 1 (27-36).
- ASTM (2008), *ASTM Volume 04.02 Concrete and Aggregates*. Edition 2006, American Society for Testing and Materials.
- Cerón M., Duarte F. y Castillo W. (1996), *Propiedades físicas de los agregados pétreos de la Ciudad de Mérida*. Boletín Académico de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, Núm. 31 (27-40).
- Chuc N. (2005), *Estudio de un aditivo reductor de agua aplicado al concreto en clima cálido subhúmedo con agregados calizos de la Península de Yucatán*. Tesis inédita de Maestría, Universidad Autónoma de Yucatán.
- González J. F. (2010), *Un puente muy especial*. Construcción y Tecnología, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Núm. 271 (diciembre).
- Hernández S. (2008), *Diseño sustentable de materiales de construcción; caso del concreto de matriz de cemento Portland*. Ciencia Ergo Sum, Universidad Autónoma del Estado de México, Vol. 15, Núm. 3 (306-310).
- López M., Kahn L. y Kurtis K. (2005), *Curado interno en hormigones de alto desempeño: Un nuevo paradigma*. Revista Ingeniería de Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile, Vol. 20, Núm. 2 (117-126).
- Malhotra M. (1999), *Making concrete greener with fly ash*. Concrete International. Vol. 21, Núm. 5 (61-66).
- Neville A. (1999), *Tecnología del Concreto*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. México, D.F.
- Neville A. y Brook J. (1998), *Concrete Technology*. Addison Wesley Longman Limited (England).
- ONNCCE (1999), *NMX-C-414-ONNCCE-1999 Industria de la construcción – Cementos hidráulicos – Especificaciones y métodos de prueba*.
- Ortiz P., Guerrero M. y Galán E. (1995), *Caracterización petrográfica y geoquímica de las calizas de la Sierra Estepa (Sevilla) y evaluación de la calidad técnica como materiales de construcción*. Estudios Geológicos, Vol. 51, Núm. 5.

Pacheco J. y Alonzo L. (2003), *Caracterización del material calizo de la Formación Carrillo Puerto en Yucatán*. Ingeniería Revista Académica, Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Yucatán, Vol. 7, Núm. 1 (7-19).

Popovics S. (1992), *Concrete Materials: properties, specifications, and testing*. Second Edition, Noyes Publications, New Jersey, U.S.A.

Solís R. y Moreno E. (2006), *Análisis de la porosidad del concreto con agregado calizo*. Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, Vol. 21, Núm. 3 (57-68).

Solís R., Moreno E. y Arcudia C. (2008), *Estudio de la resistencia del concreto por el efecto combinado de la relación agua-cemento, la relación grava-arena y el origen de los agregados*. Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Vol. 31, Núm. 3 (213-224).

Tasong W. (1999), *Aggregate-cement paste interface*. Cement and Concrete Research, Vol. 29, Núm. 7 (1019-1025).

Terán L. (2012), *Efecto de la absorción de los agregados en el curado del concreto bajo condiciones de clima cálido sub-húmedo*. Reporte preliminar. Universidad Autónoma de Yucatán. Facultad de Ingeniería.