



Ciencia en su PC

ISSN: 1027-2887

manuela@megacen.ciges.inf.cu

Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago
de Cuba

Cuba

Beira-Fontaine, Eduardo; Cabrera-Castro, Pedro Manuel
Comportamiento del hormigón compactado con rodillos ante
cambios de humedad y demoras en el curado a escala de laboratorio
Ciencia en su PC, vol. 1, núm. 1, 2022, Enero-Marzo, pp. 1-13
Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba
Santiago de Cuba, Cuba

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181372324001>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Comportamiento del hormigón compactado con rodillos ante cambios de humedad y demoras en el curado a escala de laboratorio

Behavior of the rolled compacted concrete under changes in water content and delays in the cured process in laboratory scale

Autores:

Eduardo Beira-Fontaine, efontain@uo.edu.cu¹

Pedro Manuel Cabrera-Castro, pcabrera@uo.edu.cu¹

¹Universidad de Oriente, Facultad de Construcciones. Santiago de Cuba, Cuba.

RESUMEN

El trabajo presenta los resultados obtenidos en la resistencia de una mezcla de hormigón compactado con rodillos, cuando se varía el contenido de humedad y la demora para iniciar el curado. Se realizó la dosificación de los materiales pétreos, agua y cemento, cumpliendo las exigencias granulométricas de la American Concrete Institution, con adición de 12 % de cemento en peso. Se fabricaron probetas a las que se le disminuyó el contenido de humedad en 1, 2 y 3 % en peso y otro grupo de probetas elaboradas fueron dejadas a la intemperie durante 4, 8, 12 y 24 horas, antes del proceso de curado (7 y 28 días). Posteriormente fueron ensayadas a la compresión sin confinamiento según la norma ASTM C39/C 39 M-99. Los resultados indican que ante las situaciones estudiadas se producen sensibles pérdidas de resistencia a compresión, aspecto a atender en las ejecuciones de obras.

Palabras clave: Hormigón compactado con rodillo; durabilidad; resistencia a compresión

ABSTRACT

The work presents the results obtained in the resistance of a mixture of rolled compacted concrete, when the moisture content is modified and the delay to initiate the curing are varied. The aggregate, water and cement dosage was carried out, according with the gran size requirements of the American Society Institute, with addition of 12% cement by weight. Test specimens were prepared to reduce the moisture content by 1, 2 and 3% by weight. Another group of test specimens were left exposed in natural environmental for 4, 8, 12 and 24 hours before the curing process (7 and 28 days). They were subsequently tested to the unconfined compression strength test according to ASTM C39 / C39 M-99. The results indicate that in the situations studied, there is a significant loss of compressive strength, an aspect to be take in consideration during the execution of works.

Keywords: Concrete compacted with roller; durability; compressive strength.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha incrementado el empleo del hormigón compactado con rodillo (HCR), debido a su adecuado comportamiento técnico y sus ventajas económicas, aspectos por los cuales se está convirtiendo en una tecnología favorable para la construcción y reparación de carreteras a nivel mundial. En Cuba, las experiencias con este material están limitadas a su estudio a escala de laboratorio, pero se vienen dando los primeros pasos para su implementación en la provincia Santiago de Cuba. Los elevados precios del asfalto, que encarecen las mezclas asfálticas en caliente, han sido un detonante para comenzar a pensar en alternativas que pudieran, en un futuro, brindar alternativas de pavimentación. Como es conocido el HCR es una mezcla convencional de hormigón, pero con poco contenido de agua y de cemento compactado con la energía de un compactador.

Debido a que las condiciones climáticas en Cuba y especialmente en la provincia Santiago de Cuba, donde la temperatura ambiental promedio puede superar los 30 °C y la humedad relativa entre 60 y 70 %, se hace necesario estudiar los efectos de estas condiciones en el comportamiento de la mezcla, pues como se conoce, este tipo de material tiene poco contenido de agua y puede sufrir pérdidas de resistencia importantes cuando hay pérdidas de humedad. De igual manera, es importante evaluar el efecto de la demora en el curado, en la resistencia, para conocer bajo condiciones de clima, el daño que puede producir esta variable en el producto final cuando no se realiza inmediatamente después de compactada la mezcla. Del resultado obtenido se derivarán exigencias de control de la ejecución de obras, útiles para conseguir las especificaciones de proyecto.

El curado es un factor determinante para la resistencia y durabilidad del HCR pues permite al concreto desarrollar por completo su resistencia de diseño, previene de incrustaciones, eliminación de polvo y el levantado de la superficie endurecida. Debido a las propiedades de este tipo de mezcla, la eliminación de agua en la mezcla tiene su inicio desde su momento de colocación, lo cual puede llegar a producir agrietamiento por contracción y microfisuras, provocando deterioro de la superficie (Motta, 2018, p. 84).

Después de ejecutado el HCR, se deben evitar las desecaciones superficiales para garantizar un adecuado fraguado. En general, el HCR es muy sensible a

la variación del contenido de humedad, lo que afecta la resistencia a compresión y el módulo elástico. Adicionalmente se genera segregación y se originan presiones de poros, que afectan el contacto pasta-agregado, disminuyendo por esta causa las resistencias antes indicadas. El control de la humedad de los agregados y de la mezcla es de gran importancia, ya que su falta aumenta el riesgo de segregación y dificulta la compactación y el acabado superficial, mientras que su exceso produce inestabilidad de la mezcla durante la compactación y disminución de la resistencia mecánica del material (Rocha, 1994, p. 18)

La *National Ready Mixed Concrete Association* (NRMCA, 2009) indica que sin el adecuado contenido de humedad los materiales cementantes en el hormigón no pueden reaccionar para formar un producto de calidad. El secado puede eliminar el agua necesaria para esta reacción química conocida como hidratación, y por lo cual el hormigón no alcanza sus propiedades potenciales. Según Fernández (2009, p. 1), las altas temperaturas y baja humedad relativa, inducen condiciones que favorecen el secado prematuro. En estas condiciones de exposición inicial, la importancia del curado es crítica y se deben extremar los esfuerzos para asegurar procedimientos eficientes de curado. En tal sentido refiere, además, que el curado puede definirse como el conjunto de acciones cuyo objetivo es proveer las condiciones adecuadas para la hidratación del cemento en hormigones y morteros.

Esta hidratación comienza inmediatamente después que el hormigón es colocado y no es más que el mantenimiento de un contenido de humedad y temperatura en el propio hormigón a edades tempranas, de manera que éste pueda desarrollar las propiedades para las cuales fue diseñada la mezcla y alcance así su resistencia y durabilidad deseada. La mayor parte de la hidratación y del desarrollo de la resistencia del hormigón tiene lugar durante el primer mes de ciclo de vida del hormigón y luego continúa, pero más lentamente durante un largo período (Alemán y Montoya, 2014, p. 6).

Esto indica claramente que un curado eficiente es vital para la calidad del hormigón. Según NRMCA (2009), los ensayos de laboratorio muestran que el hormigón puede perder tanto como un 50 % de su resistencia potencial, comparado con uno similar que es curado en condiciones húmedas.

Igualmente, cuando es adecuadamente curado tiene mejor dureza superficial y resistirá más al desgaste superficial y a la abrasión.

En lo que respecta a la importancia del curado, el informe 308R-2 de la American Concrete Institute (ACI, 1995) y la Portland Cement Association (PCA, 1995) coincide en señalar que el curado tiene una influencia significativa sobre las propiedades del hormigón endurecido, tanto en el interior del hormigón como en su superficie, tales como la resistencia, permeabilidad, resistencia a la abrasión, estabilidad de volumen y resistencia al hielo-deshielo y sustancias anticongelantes. El desarrollo de resistencia superficial puede reducirse significativamente cuando el curado es defectuoso (Alemán y Montoya, 2014, p. 28).

Según Fernández (2009, p. 7), en condiciones de curado estándar, donde se impide el secado de la muestra, la resistencia del hormigón crece en forma continua y su evolución depende básicamente del tipo de cemento. Existe una tendencia de que, en la mayoría de las condiciones de curado, el hormigón alcanza su valor más significativo de resistencia a compresión a los 28 días.

El tiempo de curado del hormigón se refiere al lapso en el cual se ofrecen condiciones favorables de humedad y temperatura para el desarrollo de las reacciones químicas del cemento con el agua, lo cual se garantiza con la aplicación de agua, colocarle una cubierta contra la acción del medioambiente, entre otras (Solís y Moreno, 2005, p. 2).

Según Bizzotto *et al.* (2005, p. 1), una de las principales causas de degradación de la calidad del hormigón es el curado inadecuado. Por otra parte, cuando las condiciones de curado han sido bien atendidas, el hormigón resulta suficientemente impermeable al momento de la exposición, como para resistir los ataques de un medio agresivo. En consecuencia, la revisión y análisis de los procesos de curado se vincula con una de las problemáticas actuales de la ingeniería, que es el aseguramiento de la vida en servicio o durabilidad de las construcciones de hormigón.

Según Solís y Moreno (2005, p. 2), se ha comprobado que las reacciones de hidratación del cemento sólo se dan en un ambiente interno de saturación. Los investigadores de la tecnología del hormigón han recomendado, desde hace aproximadamente un siglo, realizar acciones de curado en los elementos de este material principalmente suministrando humedad, como una parte esencial

de los procedimientos constructivos tendientes a obtener un material con el mejor desempeño posible y tratando también de alcanzar el mayor beneficio posible del alto costo del cemento.

La literatura sobre procedimientos constructivos y tecnología del hormigón realzan las virtudes del curado como una forma de obtener la mayor resistencia a la compresión en el hormigón, parámetro universalmente aceptado para evaluar la calidad del material (Solís y Moreno, 2005, p. 3)

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Los materiales utilizados fueron: áridos de tamaño máximo de 3/4" y 3/8", polvo de piedra, provenientes todos de la cantera Los Guaos. La mezcla estudiada contiene además arena de la planta de Juraguá y cemento Portland P-350 de la fábrica José Merceron Allen, todos ellos del municipio de Santiago de Cuba. Debido a la dificultad de conseguir satisfacer las exigencias granulométricas utilizadas en el trabajo y en la búsqueda de la disminución del contenido de cemento, se adicionó un 10 % de zeolita de la cantera de San Andrés del municipio de Holguín.

Equipamientos

Los equipamientos de laboratorio utilizados son los convencionales para este tipo de mezcla. Ante la carencia de compactador neumático por vibración utilizado para la compactación de las probetas, se utilizó el martillo de compactación del Proctor estándar. En la interface mezcla - martillo se colocó un disco metálico de 5 mm de espesor y diámetro 2 mm menor que el diámetro interior del molde. Las probetas utilizadas fueron elaboradas con el molde Proctor utilizado en la compactación de suelos. Para que los resultados de la resistencia a compresión no fueran afectados por las dimensiones de las probetas, se aplicó la corrección sugerida por la norma ASTM C39/C 39 M-99 (ASTM International, 2017) a partir de conocer la relación L/D (largo/diámetro). Las mezclas fueron curadas en cámara de curado convencional manteniendo la humedad relativa interior de 100 %. La rotura a compresión fue realizada con una prensa de 200 kN de capacidad, con velocidad de aplicación de la carga de 0,26 MPa/seg.

Métodos

A cada uno de los áridos utilizados se le realizó el ensayo de granulometría según la NC 178:2002 (Oficina Nacional de Normalización, (ONN), 2002) para determinar su distribución granulométrica de las partículas. Luego se evaluaron diferentes combinaciones con proporciones de estos materiales sin cemento, atendiendo a las especificaciones del reglamento de la ACI 325.10R-95 (1995), que establece los límites granulométricos de los agregados para pavimentos de HCR. Con las proporciones de áridos definidos, se le realizó a la mezcla el ensayo Proctor, según la NC 054-148 (Oficina Nacional de Normalización, (ONN), 1978), con variaciones de humedad entre el 2 y 12 % en peso, con el objetivo de definir el contenido óptimo de humedad de la mezcla. Definida la dosificación de los áridos y la humedad óptima de 10 %, se fabricaron probetas con la misma energía de compactación, pero añadiendo distintas proporciones de cemento que oscilaron entre 10 y 14 % en peso del total de la mezcla.

De los resultados de resistencia a compresión obtenidos para los porcentos de cemento antes indicados, se decidió utilizar en los experimentos el 12 % de cemento, pues para este porcentaje se consiguió la resistencia a compresión más favorable. Las probetas fabricadas fueron colocadas en cámara de curado en todos los casos. El tiempo de curado fue de 7 y 28 días. Con el objetivo de estudiar la influencia de la pérdida de humedad de la mezcla luego de fabricada, y el efecto de demoras en la ejecución del curado una vez compactada la mezcla, se elaboraron adicionalmente 2 grupos de probetas.

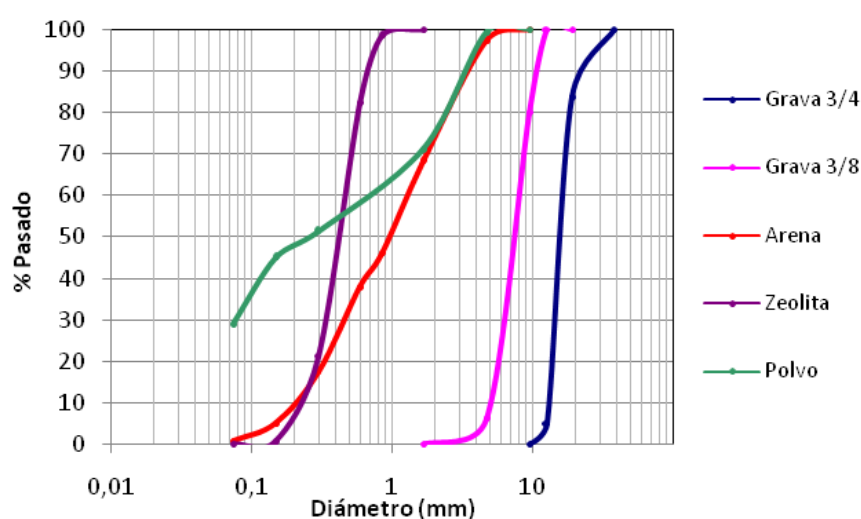
En el primer grupo, se trabajaron las mezclas con humedades por debajo de la óptima, en 1, 2 y 3 % respectivamente. En el segundo grupo, se prepararon probetas con la humedad óptima que fueron colocadas a la intemperie con días soleados, temperatura ambiente oscilando entre 28 a 33°C y humedad relativa del aire de 72 y 80 %, variándoles en estas circunstancias el tiempo de comienzo del curado en 4, 8, 12 y 24 horas. Una vez concluido este tiempo de exposición, se colocaron en una cámara de curado por los tiempos ya declarados. Ambos grupos de probetas fueron sometidas al ensayo de resistencia a compresión simple siguiendo las indicaciones de la norma ASTM C39/C39M - 99.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados granulométricos de los materiales empleados

Los resultados promedio de los ensayos de granulometría realizados a las diferentes muestras de cada uno de los áridos empleados en la mezcla del HCR, se presentan en la figura 1. Obsérvese que la composición granulométrica del polvo de piedra manifiesta discontinuidad, razón por la cual fue necesaria la adición de zeolita para satisfacer las exigencias granulométricas en los tamaños más finos.

Figura 1. Resultados de los ensayos granulométricos promedios de los áridos usados en la mezcla



directamente en el tambor de mezclado de forma manual, pues las cantidades a adicionar, así lo permiten.

Tabla 1. Combinación granulométrica de los áridos en la mezcla escogida

Tamiz No	Abertura (mm)	Grava 3/4	Grava 3/8	Arena	Zeolita	Polvo	Áridos combinados	Especificaciones ACI
		Por ciento en la mezcla					(%)	
		25	20	15	10	30		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
¾"	19,1	22,6	20	15	10	30	97,6	85 -100
½"	12,7	4,8	20	15	10	30	79,8	76 - 95
3/8"	9,52	0,53	15,9	15	10	30	71,4	60 - 83
4	4,76	0	1,10	14,5	10	29,7	55,3	42 - 63
12	1,68		0	9,85	9,84	21,3	41	29 - 47
20	0,85			6,54	8,22	-	14,76	-
30	0,59			5,35	2,12	-	7,5	-
50	0,297			2,5	0,09	15,4	18	16 - 27
100	0,149			0,77	0,02	13,5	14,3	-
200	0,074			0,3	0	8,7	9	9 -19

Fuente: autores

Los porcentajes en peso de todos los componentes de la mezcla escogida se presentan en la tabla 2.

Contenido de humedad óptimo de la mezcla

En la tabla 3, se muestra como resultado del ensayo de compactación, los valores de humedad óptima y densidades (húmeda y seca) para los porcentos de cemento estudiados. Obsérvese que la humedad óptima en todos los casos

Tabla 2. Dosificación empleada en la investigación

Material	% en peso
Grava TM $\frac{3}{4}$ "	25
Grava TM $\frac{3}{8}$ "	20
Arena	15
Zeolita	10
Polvo de piedra	30
Agua	10
Cemento	12

Fuente: autores

Oscila entre 9 % y 10 %. Este valor de humedad es algo elevado de acuerdo a los resultados obtenidos en otras literaturas consultadas, la cual varía generalmente entre un 4 % a 7 %.

Se considera que la causa de este valor de la humedad óptima está asociado a las características de los áridos utilizados, de textura rugosa (tritutados) que necesitan elevada proporción de finos para mejorar su docilidad y, por tanto, mayor cantidad de agua de mezclado. Influencias adicionales son aportadas por la absorción de estos áridos que está en el orden de 2 %, según datos publicados por el Ministerio de la Construcción de Cuba (Micons, 2009).

Tabla 3. Valores de humedad óptima y densidades máximas (húmeda y seca) para los contenidos de cemento estudiados

% de cemento	Humedad óptima	Densidad húmeda máxima	Densidad seca máxima
	(%)	(kN/m ³)	(kN/m ³)
10	9	22,45	20,6
12	9,6	23,65	21,5
14	10	23,98	22,0

Fuente: autores

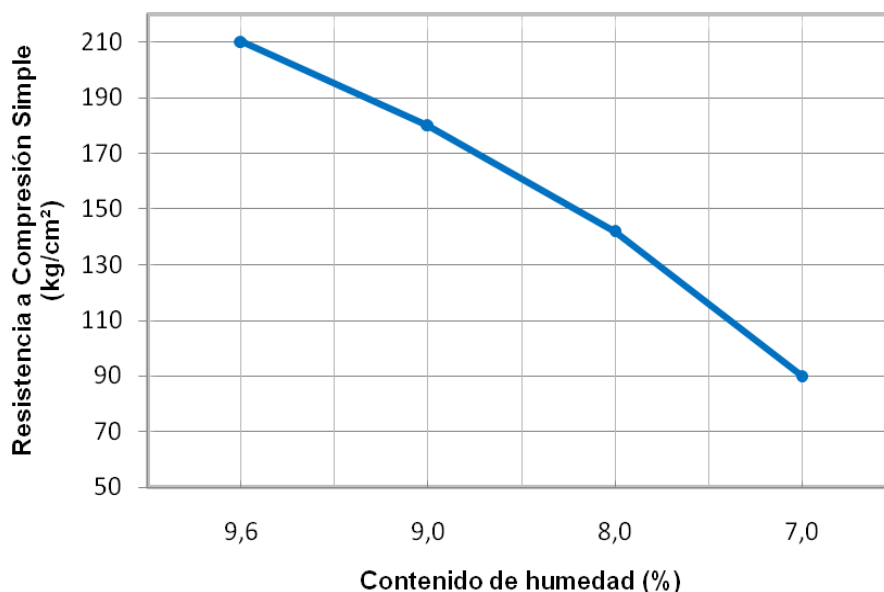
Resultados de resistencia a compresión sin confinar

Los resultados del ensayo a compresión simple para los diferentes porcento de cemento que inicialmente se estudiaron, presentaron un incremento creciente de la resistencia a compresión con el tiempo de curado, independientemente del contenido de cemento utilizado. En términos generales, las resistencias a compresión alcanzadas a los 28 días superan los 175 kg/cm^2 . El porcento de cemento más favorable fue 12 %, con aportes de la resistencia a compresión de 210 kg/cm^2 .

Resultados de resistencia a compresión en las probetas con valores reducidos de humedad por debajo de la humedad óptima

Los resultados obtenidos en la resistencia a compresión de las probetas elaboradas con contenidos de humedad por debajo de la humedad óptima de la mezcla del HCR, se muestran en la figura 2. Se observa claramente la pérdida que se produce en la resistencia a compresión con la disminución de la humedad después de fabricada la mezcla. Con solo perder un 1 % de humedad, la pérdida de resistencia será de 30 kg/cm^2 (14,3 %), con 2 % menos de humedad, será de 68 kg/cm^2 (32,4 %) y con 3 %, llega ser de 120 kg/cm^2 (57,14 %), es decir, en este último caso la mezcla de HCR, pierde más del 50 % de su resistencia a compresión. Este resultado indica que en el proceso de ejecución el ingeniero debe tener cuidados especiales con el chequeo de este parámetro, pues los errores en este sentido producirán efectos desfavorables a largo plazo, comprometiendo la durabilidad de la obra.

Figura 2. Comportamiento de la resistencia a compresión simple de la mezcla analizada con la variación de la humedad por debajo de la óptima

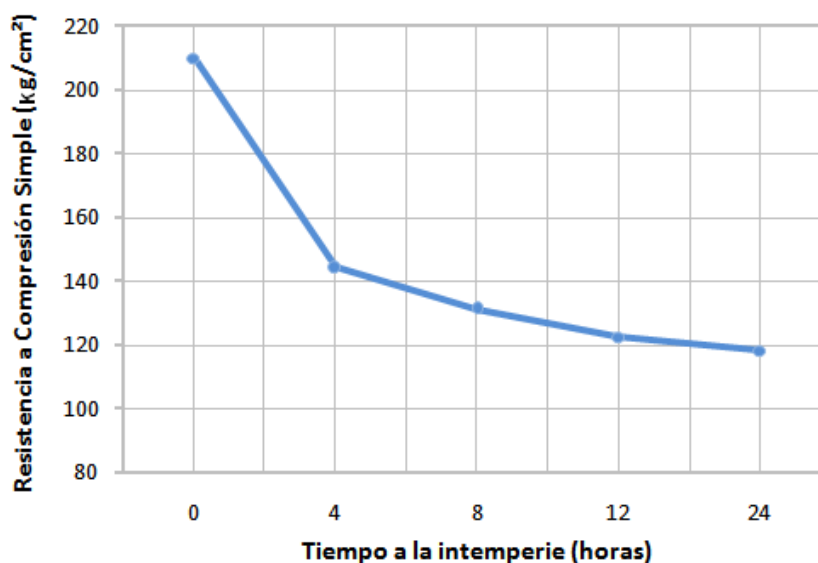


Fuente: autores

Resultados de resistencia a compresión en las probetas con demoras en el comienzo del curado

Los resultados obtenidos en este caso se presentan en la figura 3. Se demuestra que demoras en el comienzo del curado, produce sensibles pérdidas de resistencia a la compresión a los 28 días. Con cuatro horas de demora en el comienzo del mismo, la pérdida es de 31,3 % con relación a la alcanzada cuando el curado es inmediato. Con ocho horas es de 37,4 %, con 12 horas es del 41,6 % y con 24 es de 43,6 %.

Figura 3. Comportamiento de la resistencia a compresión simple de la mezcla analizada debido a demora en el comienzo del curado



Fuente: autor

Este aspecto debe ser considerado por el ingeniero de obra, pues al igual que en el caso anterior, este error en la demora de la ejecución del curado puede comprometer los resultados de resistencia a compresión esperados y como consecuencia, la durabilidad de la obra.

Fuente: autores

CONCLUSIONES

1. Las pérdidas de humedad durante la ejecución del CCR producen disminución de la resistencia a compresión de un 14,3 % para 1 % de pérdida, de 32,4 % para 2 % de pérdida y de un 57,14 % para 3 % de pérdida.
2. La demora en el comienzo del curado de la mezcla estudiada produce disminución importante de la resistencia a compresión simple a los 28 días de curado en valores de 31,3 % para 4 horas, 37,4 % para 8 horas, 41,6 % para 12 horas y de 43,6 % para 24 horas.
3. Es de esperar que la combinación de ambas variables en la ejecución en obras comprometa sensiblemente la calidad del producto terminado y, por tanto, la durabilidad de la obra.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Alemán, F.O. y Montoya, M.J. (2014). *Influencia de los métodos de curado en el desarrollo a la Resistencia a Compresión del Concreto* (Monografía para optar al título de ingeniero civil). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, UNAN. Managua, Nicaragua. <http://repositorio.unan.edu.ni/697/>
- ASTM International (2017): ASTM C39/C39M-99. *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*, USA. https://www.astm.org/c0039_c0039m-99.html
- American Concrete Institute (ACI) 325.10R. (1995). *Report on Roller – Compacted Concrete Pavements*. Farmington Hills, Mich: American Concrete Institute.
- Bizzotto, M. B., Astori, R. E. y Sanguinetti, B. M. (2005). *Influencia del curado en el desarrollo de la resistencia compresiva de hormigones de alto desempeño*. Instituto de Estabilidad, Facultad de Ingeniería. Argentina. <http://scholar.google.com.ar/>
- Cuba. Ministerio de la Construcción (Micons). (2009). *Catálogo de Áridos para Hormigón de la Región Oriental de Cuba*.
- Fernández, L.L. (2009). *Importancia del curado en la calidad del hormigón de recubrimiento. Parte I: Análisis teórico de los efectos del secado prematuro*. Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA). <http://docplayer.es/25025787.p.10/>
- Motta Letona, S.J. (2018). *Manual para el diseño, producción y colocación de pavimentos de Concreto Compactado con Rodillo en Guatemala* (Tesis de grado). Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ingeniería. <http://recursosbiblio.url.edu.gt.p.149/>
- National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA). (2009). *Publication No. 53. El Hormigón en la práctica. ¿Qué, Por qué y cómo? CIP-1. El curado del hormigón en el lugar*. <http://www.rinker.matirials.com/Prods Services/downloads/CIP/11p.pdf/>
- Oficina Nacional de Normalización (ONN) (1978). *Norma Cubana NC 054-148. Suelos. Ensayo de compactación Proctor*. La Habana, Cuba.
- Oficina Nacional de Normalización (ONN). (2002). *Norma Cubana NC 178 Áridos. Análisis granulométrico*. La Habana, Cuba.
- Solís, C.R. y Moreno, I.E. (2005). Influencia del curado húmedo en la resistencia a compresión del hormigón en clima cálido subhúmedo. *Revista Académica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán*, 9(3), 5-17.

Recibido: 24 de septiembre de 2021

Aprobado: 15 de noviembre de 2021