



Revista de Arquitectura e Ingeniería

E-ISSN: 1990-8830

vivian-lorenzo@empai.co.cu

Empresa de Proyectos de Arquitectura e  
Ingeniería de Matanzas

Cuba

Bedoya Montoya, Carlos Mauricio

Incidencias del contenido de agua en la trabajabilidad, resistencia a la compresión y  
durabilidad del concreto.

Revista de Arquitectura e Ingeniería, vol. 11, núm. 1, enero-abril, 2017, pp. 1-9

Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Matanzas  
Matanzas, Cuba

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193955500001>

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

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

**Incidencias del contenido de agua en la trabajabilidad, resistencia a la compresión y durabilidad del concreto.**

*Incidence of the water content in the workability, compressive strength and durability of the concrete.*



**Carlos Mauricio Bedoya Montoya**

Arquitecto Constructor; Magíster en Hábitat; Doctor en Proyectos  
Profesor Asociado  
Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín  
Escuela de Construcción. Colombia  
Tel. 57+4+4309421 E-mail: [cmbedoya@unal.edu.co](mailto:cmbedoya@unal.edu.co)

Recibido: 29-11-16

Aceptado: 03-01-17

**Resumen:**

Este artículo expone la incidencia que tiene el contenido o presencia del agua en determinadas características del concreto tales como trabajabilidad; resistencia a la compresión; absorción, porosidad y densidad Bulk. Para tal efecto se tomó como referencia una mezcla confeccionada con relación A/C de 0,50 empleando cemento Portland tipo I o de Uso General, y se elaboró otra mezcla donde se usaron los mismos materiales, alterando únicamente el contenido de agua. Se realizaron pruebas de trabajabilidad con cono de Abrams, fallado de probetas cilíndricas a edades de 3, 7, 14, 28 y 56 días, ensayos de porosidad y densidad Bulk. Los resultados obtenidos permiten concluir que un mayor contenido de agua afecta el desempeño físico-mecánico y la durabilidad de las mezclas de concreto simple. Este artículo puede utilizarse como una herramienta didáctica en las facultades con programas de arquitectura, ingeniería y construcción.

**Palabras clave:** Relación agua-cemento; Trabajabilidad; Durabilidad; Didáctica del concreto.

**Abstract:**

This paper discusses the impact of water content or presence on certain concrete characteristics such as workability; Resistance to compression; Absorption, porosity and bulk density. For this purpose, a mixture prepared with A / C ratio of 0.50 using Portland cement type I or General Purpose was used as reference, and another mixture was elaborated where the same materials were used, altering only the water content. Abrams cone workability tests, failure of cylindrical specimens at ages of 3, 7, 14, 28 and 56 days, Bulk density and porosity tests were performed. The results obtained allow us to conclude that a higher water content affects the physical-mechanical performance and the durability of the simple concrete mixtures. This article can be used as a didactic tool in faculties with architectural, engineering and construction programs.

**Keywords:** Water-cement ratio; Workability; Durability; Didactics of concrete.

## Introducción:

Es bastante difundido en las academias que ofrecen programas de arquitectura, construcción o ingeniería civil el tema de la importancia de la relación A/C en el comportamiento de las mezclas de concreto [1]. Dicha información suele referirse a las características físico-mecánicas, principalmente a la resistencia al esfuerzo de la compresión, en cuyo caso es una constante que a relaciones A/C entre 0,45 y 0,55 esta variable se mantiene en el rango óptimo para la confección de mezclas de uso general sin necesidad de aditivos o componentes con características especiales, dicho rango suele estar entre 21,00 MPa y 25,00 MPa. Sin embargo, es frecuente que en el medio profesional y aún en las academias se deje de lado el estudio del comportamiento del concreto ante agentes externos como humedad relativa y presencia de CO<sub>2</sub>, entre otros, lo que a la postre es tan importante como lograr la resistencia de diseño, ya que características como la porosidad, la densidad Bulk y la absorción de un concreto en estado endurecido se relacionan directamente con la durabilidad del material y, a medida que éstas se vuelven críticas, decrece también el desempeño físico-mecánico [2].

En ambiente urbanos con contenidos de CO<sub>2</sub> crecientes [3] se hace necesario estudiar las mezclas no solo en cuanto a su resistencia, sino también en cuanto a su estabilidad en el tiempo, y por ello es importante realizar ensayos que permitan proyectar el comportamiento de un concreto que puede verse afectado por fenómenos como la carbonatación, que penetra en la microestructura y altera el pH de la pasta cementante, acelerando la degradación del material hasta el punto de eliminar el efecto de pasividad sobre el acero de refuerzo de las estructuras. En tal sentido la investigación científica puede tener un efecto importante a través de la didáctica, por lo que este artículo se ocupa de exponer cómo el aspecto teórico, contrastado con el hecho fáctico en el laboratorio, permite difundir con mayor certidumbre aspectos de la ciencia y la ingeniería de los materiales mediante el abordaje de un material tan confeccionado a nivel mundial como el concreto u hormigón [4].

Inicialmente se hace un análisis de la trabajabilidad del concreto en estado fresco, para luego dar paso a ensayos del material en estado endurecido como la resistencia al esfuerzo de la compresión, la absorción, porosidad y densidad Bulk, con el fin de determinar los valores de desempeño y la posible correlación entre ellos.

## Materiales y métodos:

Se trabajó con una mezcla de referencia confeccionada con agregados naturales provenientes de cantera, con amplia trayectoria en cuanto a su uso en la industria de la construcción en Medellín y su área metropolitana. Se empleó cemento portland tipo I y agua proveniente del acueducto municipal. La mezcla de referencia tuvo una relación A/C de 0,50 y, la mezcla para efectos de comparación tuvo un aumento del contenido de agua; en adelante la mezcla de referencia se denominará M-R y la mezcla de comparación M-C.

### 1. Los agregados

Los agregados empleados en la investigación son provenientes de cantera [5]. Tanto el agregado grueso como el agregado fino son producto del machaqueo o trituración de impacto, por lo cual sus formas son en su mayoría angulosas. También es importante anotar que estas materias primas se encuentran en la conurbación misma de Medellín y su área metropolitana, por lo que su costo es bajo, aunque su desempeño históricamente es óptimo a nivel de concretos estructurales, lo que ha permitido un modelo de gestión de materiales para la construcción de bajos costos y por ende un costo del metro cúbico de concreto más bajo en comparación con otras ciudades como Bogotá y Cali.



Fotografía 1. Agregado grueso de cantera.



Fotografía 2. Agregado fino de cantera.



Fotografía 3. Agregados grueso y fino para las mezclas M-R y M-C.

A continuación se dan a conocer las características de estos agregados.

Característica	Agreg. Grueso	Agreg. fino
Tamaño máximo (mm)	19,05	–
Densidad aparente seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,87	2,74
Módulo de finura	7,20	3,30
Porcentaje de absorción (%)	1,28	3,00

Tabla 1. Características de los agregados.

## 2. El cemento

El cemento empleado fue Portland Tipo I o de Uso General, confeccionado por industrias cementeras ubicadas en la región metropolitana de la ciudad de Medellín.

Las siguientes son las características del cemento.

Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Resistencia a la compresión 3 días (MPa)	Resistencia a la compresión 7 días (MPa)	Resistencia a la compresión 28 días (MPa)
3,10	2 800	9,00	16,00	26,00

Tabla 2. Características del cemento.

## 3. Confección de las mezclas

Se elaboraron dos mezclas, una de referencia con relación A/C de 0,50 y otra con alteración del contenido de agua. Se realizó el ensayo de asentamiento del concreto en estado fresco, obteniendo los siguientes datos para ambas mezclas [6].

Tipo de mezcla	Asentamiento (cm)
M-R	6,84
M-C	12,30

Tabla 3. Asentamiento (Slump) de las mezclas.



Fotografía 4. Mezcla M-R; ensayo de asentamiento.



Fotografía 5. Mezcla M-C; ensayo de asentamiento.

El consumo de cemento fue igual para ambas mezclas, cambiando solamente el consumo de agua. Se empleó agua potabilizada proveniente del acueducto municipal, que cumple con las características de pH y turbiedad exigidas para la confección de mezclas de concreto a base de cementos hidráulicos [7].

Mezcla	Consumo de cemento (kg/m <sup>3</sup> )	Consumo de agua (kg/m <sup>3</sup> )
M-R	394,40	181,89
M-C	394,40	217,20

Tabla 4. Consumos de cemento y agua por mezcla.

## Resultados y discusión:

### 1. Resistencia al esfuerzo de la compresión

Los especímenes cilíndricos fueron desencofrados y llevados a un tanque de curado con agua saturada con cal, a una temperatura de  $23 \pm 3$  °C [8]. Se confeccionaron 30 probetas por cada mezcla, para un total de 60. Las probetas fueron ensayadas en una prensa hidráulica a edades de 3, 7, 14, 28 y 56 días para determinar su resistencia a compresión.

Carlos Mauricio Bedoya Montoya. Incidencias del contenido de agua en la trabajabilidad, resistencia a la compresión y durabilidad del concreto.



Fotografía 6. Vaciado de probetas cilíndricas M-R y M-C.



Fotografía 7. Probetas cilíndricas de mezclas M-R y M-C



Fotografías 8 y 9. Aspecto físico de las probetas desencofradas para llevar a tanque de curado.



Fotografía 10. Probetas cilíndricas en tanques de curado.

La tabla 5 muestra los datos obtenidos de las probetas cilíndricas al someterlas al esfuerzo de compresión a distintas edades. Y luego se muestra la misma información en el gráfico 1 a manera de resumen.

Mezcla	Resistencia al esfuerzo de la compresión en MPa				
	3 días	7 días	14 días	28 días	56 días
M-R	11,35	15,60	19,26	23,51	26,84
M-C	8,23	10,23	11,88	16,18	19,28

Tabla 5. Resistencia a compresión de las mezclas.

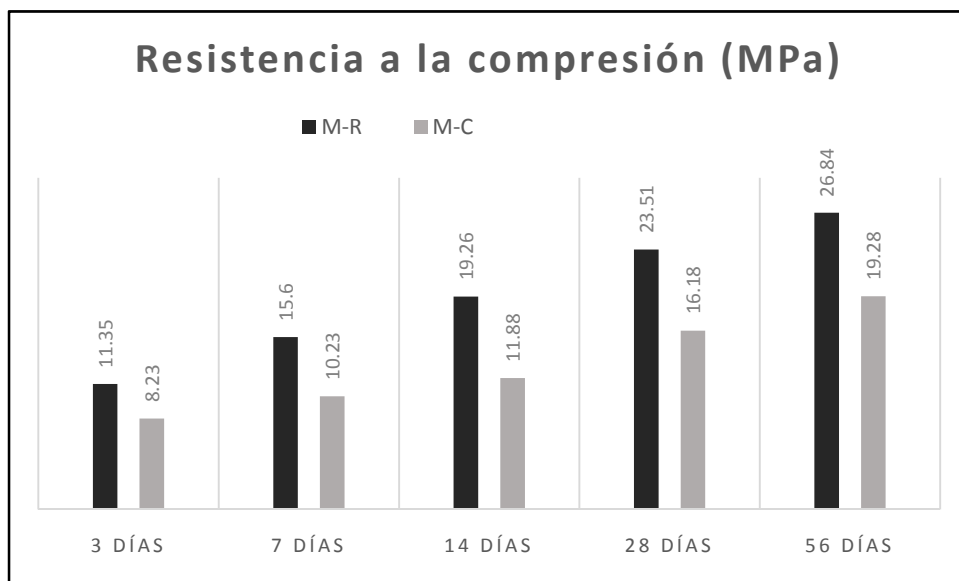


Gráfico 1. Resistencia a compresión mezclas M-R y M-C.

Tal como se puede observar según los resultados del ensayo a compresión, las mezclas M-R presentan un mejor comportamiento ante esta variable, lo que coincide con numerosos autores y con la realidad constatada en campo, en cuanto a que a una mayor cantidad de agua de mezclado se presenta una disminución en la resistencia al esfuerzo de la compresión [9].

A continuación se muestran imágenes sobre la falla de algunas probetas cilíndricas en prensa universal.



Fotografía 11. Probeta cilíndrica M-R en prensa universal antes de recibir carga.



Fotografía 12. Probeta cilíndrica M-R luego de aplicación de carga.

## 2. Porosidad, absorción y densidad Bulk

Además de la resistencia a compresión es importante, a veces más que la misma resistencia físico-mecánica, confeccionar mezclas de concreto que sean durables y mantengan sus condiciones de óptimo desempeño ante agentes externos como el CO<sub>2</sub> y la humedad relativa del lugar. Para tal efecto las mezclas se sometieron a ensayos de durabilidad según ASTM C642-06 [10], obteniendo los siguientes resultados.

Mezcla	Absorción después de la inmersión y de hervir (%)	Densidad Bulk seca (g/cm <sup>3</sup> )	Volumen de poros permeables (Vacíos) (%)
M-R (1)	7,8	2,24	17,4
M-R (2)	7,8	2,24	17,5
<b>Promedio</b>	<b>7,8</b>	<b>2,24</b>	<b>17,5</b>
M-C (1)	12,5	2,01	25,1
M-C (2)	12,7	2,00	25,3
<b>Promedio</b>	<b>12,6</b>	<b>2,00</b>	<b>25,2</b>

Tabla 6. Resultados ensayos de durabilidad ASTM C642-06.

Según el ensayo de la ASTM C642-06 es evidente que la mezcla confeccionada con una mayor cantidad de agua presentó un menor desempeño ante los aspectos de absorción, densidad Bulk y poros permeables. En estos resultados a su vez se evidencia la correlación entre las variables descritas, ya que a una menor densidad del concreto endurecido, decrecen las cualidades intrínsecas del material, presentando una mayor absorción de agua y un mayor número de poros permeables, lo que puesto en una pieza o estructura de concreto ubicada a la intemperie en condiciones climáticas reales representa un decrecimiento de su durabilidad, dado que en un ambiente carbonatado o sulfatado, el fluido penetraría más la superficie hasta afectar el pH de la pasta de cemento, eliminando el efecto de pasividad sobre las piezas del acero de refuerzo [11].

## Conclusiones:

Es evidente que el manejo del agua ha sido y seguirá siendo un factor trascendental en la confección de mezclas de concreto, pues es una variable que incide tanto en sus características en estado fresco –lo que afecta positiva o negativamente su transporte y colocación– como en estado endurecido –lo que afecta su estabilidad en el tiempo–. Por lo tanto debe permanecer en la academia la rigurosidad en el tratamiento de este aspecto que, a

veces, suele asumirse como de menor importancia dada la sencillez de su naturaleza y la facilidad aparente de su manejo por parte de la mano de obra.

Es muy común que en las obras, especialmente en las de pequeña magnitud o del sector informal, se intente lograr una aceptable trabajabilidad de las mezclas adicionando agua, pensando exclusivamente en el momento de su transporte y colocación en el sitio, pero afectando negativamente a futuro características tan importantes como la resistencia a la compresión y la durabilidad, máxime cuando el contenido de agentes atmosféricos como el CO<sub>2</sub> aumentan anualmente en el mundo y, en especial, en centros urbanos congestionados.

El cambio en cuanto al peso de las probetas es otra evidencia de la incidencia del agua de mezclado en las características intrínsecas del material, pues tal como se puede observar en la tabla 6, los valores de densidad Bulk son mayores para las muestras M-R, y generalmente, este mayor peso y mayor densidad están directamente asociados a una mayor resistencia al esfuerzo de compresión.

Si bien en esta investigación no se realizó el ensayo de velocidad de pulso ultrasónico (VPU), cabe resaltar que es una variable en aras de identificar la durabilidad de la mezcla en estado endurecido, dado que permite correlacionar los valores hallados con la posibilidad de espacios libres al interior de las probetas [12]. A mayor cantidad de agua de mezclado se encuentra asociada una menor VPU, dado que esta agua inicial se evapora y deja libres los espacios formando poros permeables [13].

Aunque existan suficientes publicaciones acerca de la incidencia del contenido del agua en las características del concreto, es importante realizar este tipo de actividades con los estudiantes, ya que permite contrastar la teoría con la realidad, propiciando procesos de enseñanza-aprendizaje más eficaces, mediante los cuales se puede generar la adquisición del criterio técnico y científico fundamentales para la toma de decisiones del futuro profesional.

#### **Recomendaciones:**

Dado que en construcciones de poca magnitud o en otras de carácter informal no suelen utilizarse aditivos plastificantes para mejorar la trabajabilidad de la mezcla en estado fresco, se recomienda capacitar a las comunidades en cuanto a emplear técnicas de vibrado y compactación manuales, en vez de adicionar agua al momento de la confección de la mezcla, pues tal como se evidenció en este trabajo, ese exceso de líquido si bien lubrica la pasta de cemento y propicia con ello una fluidez inicial mayor, afecta posterior al endurecimiento características físico-mecánicas y de durabilidad.

Por más avanzados que estén los aspectos de ciencia e ingeniería de materiales en el mundo, es recomendable abordar el proceso formativo de los estudiantes de pregrado desde las concepciones básicas y principios fundamentales de los materiales compuestos para la construcción, ya que no debe asumirse que sólo por el mero hecho de leer artículos y bibliografías, el futuro profesional asimila la información, pues en el campo de la materialidad es pertinente asumir de manera didáctica la manipulación, la confección, el control y el seguimiento de los procesos.

La reflexión sobre el error pedagógicamente trabajado entre docentes y estudiantes puede ser una herramienta didáctica de alto impacto en la formación profesional técnica y universitaria, ya que tener elementos de comparación entre las buenas e incorrectas prácticas, permite la reflexión en el aula de clase con un sentido crítico y reflexivo.

#### **Referencias:**

[1] Guevara, G., Hidalgo, C., Pizarro, M., Rodríguez, I., Rojas, L., Segura, J. *Efecto de la variación agua/cemento en el concreto*. Revista Tecnología en marcha, vol. 25, núm. 2, pp. 80-86, 2012.

[2] León, L., Hernández, M. *Comparación de los valores de resistencia a compresión del hormigón a edades de 7 y 28 días.* Revista de Arquitectura e Ingeniería, EMPAI, vol. 10, núm. 1, pp. 1-9, 2016.

[3] Mosquera, J. D. *Análisis de emisiones de CO<sub>2</sub> para diferentes combustibles en la población de taxis en Pereira y Dosquebradas.* Revista Scientia et Technica, no. 45, pp. 141-146, 2010.

[4] K. Sakai, and T. Naguchi. *The sustainable use of concrete.* Ed. CRC Press, USA, 2012.

[5] ICONTEC, *Concretos, especificaciones de los agregados para concretos,* Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2000.

[6] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, NTC 1377, Ingeniería civil y arquitectura. *Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos en el laboratorio,* ICONTEC, Bogotá D.C., 2011.

[7] ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC 3459: Agua para la elaboración de concretos. Bogotá D.C., Icontec, 2001.

[8] American Society for Testing Materials, ASTM C192 / C192M-07, Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2007.

[9] Sánchez de Guzmán, Diego. *Tecnología del concreto y del mortero.* Ed. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. 349 p., 2001.

[10] American Society for Testing Materials, ASTM C642-06, Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2006.

[11] Moreno, Eric I.; Domínguez, Lara, Gerardo G.; Cob, Sarabia, Enrique J.; Duarte, Gómez, Francisco, "Efecto de la relación agua/cemento en la velocidad de carbonatación del concreto utilizando una cámara de aceleración". Ingeniería, núm. mayo-agosto, pp. 117-130, 2004.

[12] Pardo, F. y Pérez, E. *Evaluación del efecto de las barras de refuerzo del concreto sobre las medidas de velocidad de pulso ultrasónico.* (Trabajo de grado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, 2010.

[13] Quintero, L., Herrera, J., Corzo, L., García, J. *Relación entre la resistencia a la compresión y la porosidad del concreto evaluada a partir de parámetros ultrasónicos.* Revista ION, vol. 24, núm. 1, pp. 69-76, 2011.