

Comparación de los valores de resistencia a compresión del hormigón a la edad de 7 y 28 días.
Comparing the values of compressive strength of concrete at the age of 7 and 28 days.



Ing. Liset León Consuegra

Ingeniero Civil
Categoría docente Asistente
Departamento de Construcciones, Facultad de Ciencias Técnicas de la
Universidad de Matanzas. Cuba.
Teléfono (53) (45) 256782 E-mail: liset.leon@umcc.cu

Ing. Maibel Hernández Puentes

Ingeniero Civil
Grupo Empresarial de la Construcción de Obras del Turismo
(GECOT).Cuba
Teléfono (53) (45) 610077

Recibido: 05-11-15
Aceptado: 07-12-15

Resumen:

El hormigón es uno de los materiales de construcción más importantes de la actualidad y en consideración a las cantidades empleadas, se puede afirmar que es uno de los más utilizados tanto en Cuba como a nivel mundial lo que ha conllevado a la producción de grandes volúmenes anualmente. Dentro de sus propiedades mecánicas se destaca su elevada resistencia a compresión la cual aumenta con el paso del tiempo. Sin embargo existen factores que pueden modificar los valores de resistencia a compresión a diferentes edades entre la que se encuentra la dosificación de materiales. La investigación se centró en la realización de una comparación de los valores de resistencia a compresión a la edad de 7 y 28 días de dos muestras elaboradas con diferentes proporciones de materiales por lo que se hizo necesario la utilización de métodos de investigación asociados a la experimentación y matemática, obteniéndose como resultados que a los 7 días se alcanzó mayor resultado de resistencia a compresión M2 lo cual estuvo influenciado por la mayor cantidad de cemento lo que permitió el aumento de resistencia con respecto a M1. Sin embargo a los 28 días no se aprecian resultados significativos entre las dos muestras aunque en M1 el pequeño aumento estuvo dado por la función desempeñada por zeolita en la mezcla a pesar de un menor contenido de cemento.

Palabras clave: Materiales de la construcción, Hormigón, Resistencia a la compresión, Cemento, Zeolita.

Abstract:

Concrete is one of the most important building materials today and considering the quantities used, we can say that it is one of the most used both in Cuba and globally which has led to the production of large volumes annually. Within its mechanical properties their high compressive strength, which increases with
Revista de Arquitectura e Ingeniería. 2016, Vol.10 No.1 ISSN 1990-8830 / RNPS 2125

Ing. Liset León Consuegra, Ing. Maibel Hernández Puentes. Comparación de los valores de resistencia a compresión del hormigón a la edad de 7 y 28 días.

the passage of time, is highlighted. However, there are factors that can change the values of compressive strength at different ages, among them the dosing of materials. The research focused on conducting a comparison of the values of compressive strength at the age of 7 and 28 days of two samples manufactured with different materials, thereby the use of research methods associated to the experimentation and mathematics was necessary, obtaining as results that in 7 days the compressive strength M2 increased, which was influenced by the greater amount of cement which enabled increased resistance in comparison to M1. However, after 28 days no significant results were found between the two samples, although the small increase in M1 occurred due to the role of zeolite in the mix, despite of a lower cement content.

Keywords: Construction materials, Concrete, Compressive Strength, Cement, Zeolite.

Introducción:

El hormigón es uno de los materiales de construcción más importantes de la actualidad y en consideración a las cantidades empleadas, se puede afirmar que es uno de los más utilizados tanto en Cuba como a nivel mundial. Se ha calculado que todos los años se producen alrededor dos mil millones de metros cúbicos de hormigón en el mundo lo que lo ha llevado a convertirse en un material indispensable. Las materias primas que lo componen (áridos, aglomerante, agua y aditivo o adiciones) en su conjunto son las encargadas de aportarle la resistencia a diferentes esfuerzos mecánicos al material en estado endurecido, destacándose dentro de sus propiedades mecánicas su elevada resistencia a compresión en cortos y largos plazos, la cual puede ser mejorada según la dosificación empleada.

Desarrollo:

Materiales y métodos

Para la elaboración de las probetas de hormigón se utilizó Arena procedente de Arimao en la provincia de Cienfuegos, gravilla de la Cantera Antonio Maceo de Matanzas, cemento P-350 del Mariel, zeolita de yacimiento Tasajera de la provincia de Villa Clara y aditivo químico superplastificante Dynamon SRC 20 cuales proporciones para las diferentes muestras (M1 y M2) se muestran en la Tabla 1 y 2.

Tabla 1: Dosificación de hormigón para la muestra (M1)

Materiales	Peso Teórico (kg)	Peso Real (kg)
Arena natural de Arimao	6020	5905
Gravilla Antonio Maceo	6720	6759
Cemento Mariel P-350	2646	2650
Aditivo químico Dynamon SRC 20	21	22
Zeolita	294	290
Agua	1085	1092

Tomado de: Hernández, 2014

Ing. Liset León Consuegra, Ing. Maibel Hernández Puentes. Comparación de los valores de resistencia a compresión del hormigón a la edad de 7 y 28 días.

Tabla 2: Dosificación de hormigón para la muestra (M2)

Materiales	Peso Teórico (kg)	Peso Real (kg)
Arena natural de Arimao	4690	4417
Gravilla Antonio Maceo	5684	5747
Cemento Mariel P-350	2940	2921
Aditivo químico Dynamon SRC 20	14	12
Zeolita	0	0
Agua	1190	1185

Tomado de: Hernández, 2014

Diseño del experimento

Se elaboraron dos series de probetas cilíndricas (150x 300mm) de cada muestra para cada edad (7 y 28 días) donde cada serie está compuesta por tres probetas cumpliendo lo establecido con la NC 192:2007 teniendo un total de 12 probetas. El curado se realizó utilizando el método de curado por inundación utilizando un tanque de agua potable, teniendo una duración de 7 días debido al tipo de cemento utilizado pues según Howland (2012) cuando se utiliza cemento Portland requieren que los hormigones sean mantenidos húmedos continuamente como mínimos los 7 primeros días.

Ensayo de Resistencia a compresión.

Este ensayo se basó en la NC 244:2005. Hormigón endurecido. Determinación de la resistencia a compresión en probetas cilíndricas.

Procedimiento de ensayo

Las probetas se colocaron cuidadosamente centrada en el plato inferior, ayudándose de las marcas de referencia. Se movieron los platos de la prensa de forma que el plato superior apoyara en la cara superior de la probeta, sin que ayudara al elemento de carga. Antes de empezar la carga se giró con la mano suavemente el plato superior, para conseguir un asiento uniforme. Seguidamente se aplicó la carga de forma continua y sin choques bruscos, de manera que el aumento de tensión media sobre la probeta fuera de $5 + 2 \text{ Kgf/cm}^2/\text{s}$. ($0.5 + 0.2 \text{ MPa/s}$). Posteriormente se determinó la resistencia a compresión de cada una de las probetas según la ecuación 1 cuyos resultados se muestran en la Tabla 4.

$$R_{bi} = \frac{10 F}{A}$$

Tabla 4 Valores de resistencia a compresión a la edad de 7 días

Muestra	Valores de resistencia a compresión (MPa)			Valor Promedio
M1	23,2	24,3	23,6	23,7
M2	25,5	26,6	26,3	26,1

Ing. Liset León Consuegra, Ing. Maibel Hernández Puentes. Comparación de los valores de resistencia a compresión del hormigón a la edad de 7 y 28 días.

Tabla 5 Valores de resistencia a compresión a la edad de 28 días

Muestra	Valores de resistencia a compresión (MPa)			Valor Promedio
M1	35,1	36,3	35,4	35,6
M2	34,0	34,1	33,9	34,0

Tabla 6 Valores de promedios de resistencia a compresión

Muestra	Resistencia a compresión (MPa)	
	7	28
M1	23,7	35,6
M2	26,1	34,0

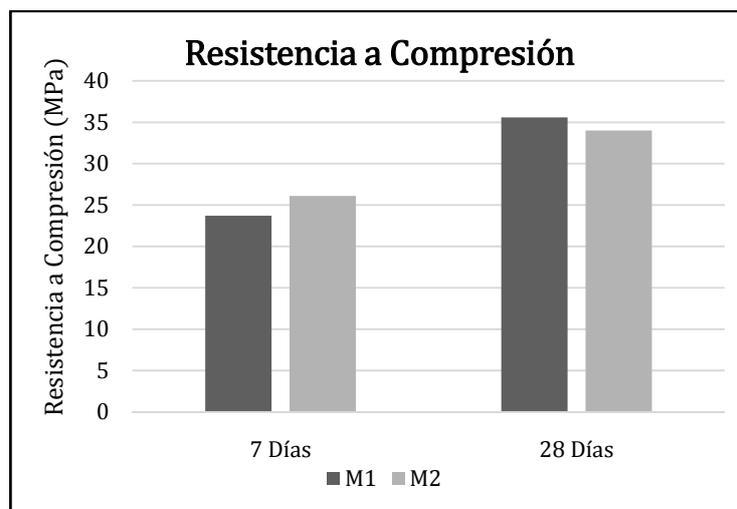


Figura 1. Valores medios de la resistencia a compresión de las dos muestras.

Aspectos a considerar para el análisis y discusión de resultados.

Para el análisis y discusión de resultados las autoras consultaron la bibliografía relacionada con la resistencia a la compresión prestando especial atención a los siguientes aspectos de los cuales depende la resistencia a compresión planteados por Neville (1997) y otros autores entre los que se encuentran:

Ing. Liset León Consuegra, Ing. Maibel Hernández Puentes. Comparación de los valores de resistencia a compresión del hormigón a la edad de 7 y 28 días.

- ✓ la relación a/c: el aumento de finos, arcillas, en la mezcla, acrecienta la superficie específica, incrementando a su vez la demanda de agua para su amasado ya que aumenta la superficie del árido a mojar. Este incremento implica que para obtener igual docilidad, serán necesarias mayores cantidades de agua aumentando la relación agua/cemento y disminuyendo por tanto su resistencia apareciendo fisuras que reduce la durabilidad de las estructuras.
- ✓ nivel de compactación (a mayor compactación mayor resistencia).
- ✓ cantidad de cemento (a mayor cantidad de cemento mayor resistencia).
- ✓ granulometría de los áridos: el árido grueso es el que proporciona la resistencia al hormigón.

Otros documento donde se trata el tema es la Revista técnica Cemento hormigón, 2008 donde existe coincidencia con lo planteado anteriormente pero también incluye otros factores de lo cual depende la resistencia a compresión como son la naturaleza los áridos, las condiciones de curado y aplicación. También es importante considerar a (Amaral, 1999) la cual afirma que esta resistencia a compresión depende de cómo la combinación de varios factores afecta la porosidad de la pasta y de la zona de transición. Tales factores incluyen propiedades y proporciones de materiales que componen al hormigón.

Según las experiencias de resultados avalados científicamente por diversos autores como es el caso de Rodríguez (2013), a consideración de las autoras es importante adicionar a los aspectos antes mencionados relacionados con la resistencia a compresión, la utilización de adiciones minerales como son las puzolanas y la utilización de aditivos químicos.

A consideración de las autoras se tomará para el análisis y discusión de los resultados obtenidos a la edad de 7 y 28 días de los aspectos relacionados con la resistencia a compresión: la cantidad de cemento y áridos, relación a/c y utilización de adiciones minerales y aditivos químicos. Se consideraron estos aspectos pues estos fueron los únicos que variaron ya que ambas muestras elaborada (M1 y M2) se sometieron al mismo nivel de compactación, las propiedades de los componentes eran similares, condiciones de curado sensiblemente semejantes y teniendo en cuenta que el material elaborado es un hormigón por lo que se utilizó árido grueso procedente de la misma cantera y de igual granulometría.

Análisis y discusión de resultados

Como se puede observar en la figura 1 a la edad de 7 días se obtuvo el menor valor de resistencia a compresión la muestra M1 siendo la M2 la del mayor valor.

En el caso de M2 a criterio de las autoras el componente más decisivo para la obtención de este mayor valor de resistencia fue el contenido de cemento no la cantidad de árido. Esta decisión relacionada con el cemento se justifica teniendo en cuenta a Neville (1997) el cual plantea que dentro de los factores que depende la resistencia a compresión se encuentra la cantidad de cemento es decir a mayor cantidad de cemento mayor resistencia. También según las autoras este mayor valor de resistencia alcanzado se puede justificar debido a las materias primas del cemento el cual está compuesto por: clinker, una cantidad adecuada de regulador de fraguado (yeso) y, eventualmente, hasta un cinco por ciento de adiciones (Jiménez P., García A. y Morán F. 2000) dentro de las cuales juega un papel fundamental el clinker.

En el caso del clinker como componente fundamental, contiene como componentes principales los silicatos tricálcico (C_3S) y bicálcico (C_2S), el aluminato tricálcico (C_3A) y el ferritoaluminato tetracálcico (C_4AF). Todos los silicatos suman del 60 al 80 % del total, y son los responsables de las resistencias mecánicas del cemento. En general, estos silicatos no se encuentran puros en el clinker, sino conteniendo pequeñas cantidades de alúmina, magnesia y otros óxidos. Debido a esto, a los silicatos y

Ing. Liset León Consuegra, Ing. Maibel Hernández Puentes. Comparación de los valores de resistencia a compresión del hormigón a la edad de 7 y 28 días.

demás componentes se les suele denominar por su nombre mineralógico: alita, velita, felita y celita (Torres, 2007).

Analizando la teoría de fraguado del cemento se plantea que en una primera aproximación cada uno de los cuatro componentes principales del clinker se hidratan de forma independiente. De esta suposición puede comprenderse las propiedades del material y la relación entre las fases. Entre las fases que más rápidamente reaccionan se encuentran la cal libre y el aluminato tricálcico (C_3A). De esta manera, inicialmente se forma hidróxido de calcio $Ca(OH)_2$, como consecuencia de la hidratación de la pequeña proporción de cal libre presente en el cemento y de la hidratación temprana de los silicatos de calcio (C_3S y C_2S).

Al adicionarle agua al cemento ocurre el proceso de hidratación y se forman productos con características de gel, acompañado de la liberación de grandes cantidades de $Ca(OH)_2$, estos productos son conocidos con el nombre genérico de silicatos cálcicos hidratados y presentan una estructura amorfa no estequiométrica representada como $(xCaO \cdot ySiO_2 \cdot zH_2O)$ (Taylor, 1990).

En el caso del yeso como regulador de fraguado permite además el secado del material y en el caso de las adiciones se pueden encontrar materiales de tipo puzolánicos.

Cuando se analiza el valor de M1 esto se explica debido a la utilización de la zeolita como adición, pues su uso en el hormigón según lo planteado por Taylor (1990) tiene como principal desventaja que el empleo de estos materiales provoca un lento desarrollo de la resistencia mecánica a edades tempranas lo que a consideración de las autoras fue el elemento que provocó estos resultados a los 7 días.

El hecho de adicionar puzolanas, no sólo aumentan los silicatos cálcicos hidratados con el consabido incremento de la resistencia mecánica (Rosell, 2010) sino que precisamente cambia el sistema de poros, ya sea haciendo el papel de microfiller o por que los nuevos silicatos cálcicos formados durante la reacción puzolánica refina (disminuye el volumen de estos poros) o elimina su conectividad, incluida aquí la zona de interfase árido-pasta, en la que los espacios vacíos provocan además, deficiencia en la adherencia de la pasta con el árido, considerándose uno de los puntos de mayor fragilidad.

Si se analiza el contenido de árido en este caso fue mayor pero si en la muestra elaborada existió deficiencia con la adherencia pasta - árido, la resistencia se verá afectada por lo que el material al no estar totalmente cubierto de pasta no será capaz de aportar la resistencia que se espera y los áridos no serán capaces de brindar entre el 80 y 85 % de la resistencia que se espera, justificado esto con González (1992) el cual afirma que la adherencia entre el árido grueso y la pasta del mortero es importante para la resistencia a compresión.

En el caso de los 28 días el mayor valor estuvo en M1 donde se observó el incremento de resistencia con respecto a M2.

En el caso de M1 se justifica considerando a Howland (2012) el cual plantea que realmente hay dos formas fundamentales de utilización de las adiciones minerales:

1. Con el objetivo de lograr mezclas reológicamente coherentes en el estado fresco.
2. Con el doble objetivo de aportar resistencia y durabilidad en el estado endurecido.

En este caso la utilización de la zeolita permitió un incremento de resistencia lo que con el paso del tiempo conlleva al logro de un material durable, teniendo en cuenta que ambas muestras presentaban coherencia en estado fresco.

Ing. Liset León Consuegra, Ing. Maibel Hernández Puentes. Comparación de los valores de resistencia a compresión del hormigón a la edad de 7 y 28 días.

Muy relacionados con la combinación y proporción de zeolita y cemento es importante considerar el contenido de cemento pues a pesar de que M1 contiene menor contenido de cemento con respecto a M2 el Ca(OH)_2 como consecuencia de la hidratación de la pequeña proporción de cal libre presente en el cemento y de la hidratación temprana de los silicatos de calcio no contribuye a la resistencia mecánica y puede ser extraído de la masa del hormigón en ciclos de humedecimientos y secado, dando como resultado que la porosidad del hormigón aumente, incrementando su permeabilidad y su susceptibilidad al ataque de agentes químicos externos (Ramírez, 2008) por lo que si el hormigón presenta poros en su masa se convierte en un material permeable, entonces su resistencia se afectará y esta a su vez la durabilidad del material.

Sin embargo para contrarrestar esta afectación de las propiedades, mediante la adición de materiales puzolánicos como es la zeolita utilizada los compuestos de sílice y alúmina amorfos o débilmente cristalizados presentes en estos se solubilizan en el medio altamente alcalino existente en la solución de poros del cemento y reaccionan lentamente con el Ca(OH)_2 , generando productos de reacción similares a los producidos durante la hidratación del cemento. Estos productos son el resultado de la reacción puzolánica que ocurre con la adición y los compuestos ya existentes los cuales rellenaran parcialmente los espacios vacíos existentes en la mezcla, refinando la estructura de poros e incrementando la impermeabilidad (Ramírez, 2008), además permitirán la constitución de la matriz que permitirá la unión del esqueleto de material de relleno (áridos) haciendo el material más compacto y homogéneo y por lo tanto un material más resistente. Aquí para este caso si se cumplió que a mayor contenido de árido mayor fue la resistencia. En este resultado también es importante considerar el contenido de aditivo pues este fue mayor con respecto a M2 y según Hernández (2013) estos garantizan un incremento de la resistencia debido a que el material es adsorbido por los granos de cemento neutralizando la carga eléctrica molecular dispersándolos y logrando que se hidraten mejor, lo que mejora la laborabilidad de la mezcla. Este tipo de aditivo superplastificante permite elevadas prestaciones cuando se ha endurecido y especialmente adecuado para todas aquellas aplicaciones en las que se necesita una moderada velocidad de hidratación de cemento en breves plazos.

En el caso de M2 se explica este resultado debido a la mayor relación a/c la cual determinó la porosidad del cemento endurecido en cualquier momento de su hidratación. La razón está en la presencia de huecos en el hormigón que reduce grandemente su resistencia pues el material dejó de ser compacto y homogéneo para convertirse en un material poroso. Al existir mayor cantidad de agua, será entonces la mayor cantidad de agua que se evapora por lo que superior será la porosidad disminuyendo la resistencia tanto a compresión como flexión (Colectivo de autores, 1985). También al ser el árido muy absorbente, en el mismo se producirá un reblandecimiento con pérdida de resistencia en el árido, siendo este el encargado de aportar la resistencia. Por lo tanto aquí se demuestra lo planteado por González (1992) el cual sostiene que: "Desde el punto de vista práctico, la relación agua/cemento es el factor que más influencia tiene en la resistencia del hormigón totalmente compactado.

Si se analiza la edad de 7 y 28 días se puede demostrar que a los 28 días los valores fueron en ambas muestras superiores pues según Massazza (2004) se demuestra que los aumentos de resistencia se aprecian a partir de los 7 días, observándose incrementos de 3 a 10 % a los 28 días y hasta el 30% al año. Desde luego todo ello en función de la actividad de la puzolana, principalmente de la dosificación efectuada. En el caso de la M1 el incremento representó un 33,43 % y para la M2 un 23,24 %.

Conclusiones:

1. Dentro de los factores que más influencia tienen en los valores de la resistencia a la compresión a diferentes edades se encuentra la dosificación de las materias primas incluyendo la relación a/c pues

Ing. Liset León Consuegra, Ing. Maibel Hernández Puentes. Comparación de los valores de resistencia a compresión del hormigón a la edad de 7 y 28 días.

la misma es la encargada de proporcionarle al material la resistencia necesaria para sus diferentes usos.

2. A la edad de 7 días alcanzó mayor resultado de resistencia a compresión M2 lo cual estuvo influenciado por la mayor cantidad de cemento lo que permitió el aumento de resistencia con respecto a M1.
3. A los 28 días no se aprecian resultados significativos entre las dos muestras aunque en M1 el pequeño aumento estuvo dado por la función desempeñada por zeolita en la mezcla a pesar de un menor contenido de cemento.

Bibliografía:

Acevedo, J., *et al.* (1987) Materiales de Construcción. La Habana, Editorial Pueblo y Educación. 283 p.

Aditivos para el hormigón (2008). Revista técnica Cemento hormigón, [En línea]. Madrid (España), No 922: Ed. cemento S. L. [Citado el: 20 de abril del 2012]. Web www.cemento-hormigon.com.

Amaral de Lima, Lusiana. (1999). Hormigones con escoria de horno eléctrico como áridos: propiedades, durabilidad y comportamiento ambiental. Barcelona. 226h. Tesis en opción al grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Departamento de Ingeniería de la Construcción. Universidad Politécnica de Cataluña. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos.

González Martínez, Purificación. (1992). Influencia de los finos en las características mecánicas de los hormigones fabricados en Navarra. Tesis Doctoral. Departamento: Edificación. Programa de doctorado en Arquitectura.

Hernández Puentes, Maibel. (2013). Análisis de diferentes métodos de curado y resistencias mecánicas como causas que provocan la fisuración en las losas de hormigón. Matanzas 54h. Trabajo de diploma en Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de Matanzas.

Howland Albear Juan J. (2012) Desempeño por durabilidad de las estructuras de hormigón. (Texto para el Curso de Postgrado homónimo).

Jiménez Montoya Pedro. , García A. y Morán F. (2000) Hormigón Armado. 14 Edición. Editorial Gustavo Gili, SA, Barcelona.

Massazza, F., Costa V. (2004) Chemistry of pozzolanic additions and mixed cements. Proceedings, Sixth International Symposium on chemistry of cement. Moscow.

NC 192:2007 .Hormigón hidráulico. Cálculo de resistencia característica real de la resistencia la compresión. Oficina Nacional de Normalización Ciudad de La Habana, Cuba.

NC 244: 2005.Hormigón endurecido. Determinación de la resistencia a la compresión en probetas cilíndricas. Oficina Nacional de Normalización Ciudad de La Habana, Cuba.

Neville A. Aggregates bond and modules of elasticity of concrete. "ACI Materials journal," U.S.A, 1997.

Ing. Liset León Consuegra, Ing. Maibel Hernández Puentes. Comparación de los valores de resistencia a compresión del hormigón a la edad de 7 y 28 días.

Ramírez, s. M., m.t. Blanco Varela (2008) Caracterización Estructural y Microestructural de Geles C-S-H. X Congreso Nacional de Materiales, 1.

Rodríguez Martínez, Oris. (2013). Actividad puzolánica en pastas con adiciones de zeolitas, aditivo superplastificante y su combinación. Matanzas 59h. Trabajo de diploma en Ingeniería Civil. Facultad de Ingenierías. Universidad de Matanzas.

Rosell Lam, Mercedes B. (2010) Zeolita natural cubana del tipo Clinoptilolita-heulandita como material cementicio suplementario en hormigones. Villa Clara. Tesis en opción de grado a Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.

Taylor, F. W. H. (1990) Cement Chemistry, London, ACADEMIC PRESS.

Torres Fuentes, Magali. (2007). Estudio de la protección de Fibras Vegetales en Matriz de Cemento Portland .Villa Clara. Villa Clara. 112h. Tesis en opción al grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas). Facultad de Construcciones. Universidad Central" Marta Abreu" de las Villas.