



Ingeniería, investigación y tecnología

ISSN: 1405-7743

ISSN: 2594-0732

Facultad de Ingeniería, UNAM

Vera-Barrios, Bertha Silvana; Ledezma-Elizondo, María Teresa
Pasta cementicia mejorada con adición de Zeolita y Hierro en polvo para morteros de pega o junteo
Ingeniería, investigación y tecnología, vol. XIX, núm. 2, 2018, Abril-Junio, pp. 223-238
Facultad de Ingeniería, UNAM

DOI: <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2018.19n2.019>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40458281009>

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

UAEM 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



Pasta cementicia mejorada con adición de Zeolita y Hierro en polvo para morteros de pega o junteo

Improved cement paste adding Zeolite and Iron powder waste into joining mortars

Vera-Barrios Bertha Silvana

Universidad Nacional de Moquegua

Facultad de Ingeniería de Minas, Perú

Correo: silvanavera6812@gmail.com

Ledezma-Elizondo María Teresa

Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Arquitectura, FARQ, México

Correo: mtledezma@yahoo.com

Resumen

La minería es una actividad importante dentro del crecimiento económico de países como Argentina, Colombia, México Perú y Chile, no obstante, luego de concluir el proceso de extracción, la disposición final de los excedentes es inadecuada, quedando esparcidos y acumulados sobre el suelo urbanizable a manera de capas o estratos de residuos, sobre los cuales se asientan los centros poblados. Estas poblaciones son afectadas de forma irreversible, adquiriendo males cancerígenos por la destrucción de los ecosistemas existentes y alterándose recursos vitales como agua, aire y vegetación. Dentro de la tecnología con responsabilidad social, reciclar los residuos, es una forma de frenar estos fenómenos. En esta investigación se incorpora **hierro residual en polvo** combinado con **zeolita natural** a los insumos de mortero de junteo, con la finalidad de obtener una nueva pasta de mortero ecológica, minimizando el empleo del agua dentro de la dosificación. Las pruebas realizadas son la de resistencia mecánica y determinación de la adecuada consistencia plástica del compuesto. Los resultados de rotura evidenciaron valores superiores al mínimo según las Normas ASTM C-270 y ASTM C-780, optimizándose el empleo del agua. En resumen, es posible incorporar el hierro conjuntamente con la zeolita en sustitución de arena y cemento, respectivamente. Este mortero mejorado es una alternativa sustentable para reducir los residuos altamente tóxicos, incorporándolos como agregados artificiales dentro del proceso constructivo en edificaciones, evitando así que continúe la remoción de suelo geográfico natural y minimizar emisiones gaseosas que contaminan el ambiente, resultante del proceso industrial en la obtención de cementos.

Descriptores: Residuos, mezcla, hierro, zeolita, mortero, contaminación.

Abstract

Mining is an important activity in the economic growth of countries such as Argentina, Colombia, Mexico, Peru and Chile, however, after the extraction process is completed, the final disposal of the waste is inadequate, being scattered and accumulated on the building land, as layers or strata of waste on which settle the populated centers. These populations are then irreversibly affected, acquiring carcinogenic disease due to the destruction of existing ecosystems, altering vital resources such as water, air and vegetation. Within the technology with social responsibility, to recycle the waste, is a way to stop these phenomena. In this research, residual iron powder in combination with natural zeolite is incorporated to the junction mortar supplies, in order to obtain a new ecological mortar paste, minimizing the use of water within the dosage. The tests performed are mechanical resistance and determination of the appropriate plastic consistency of the compound. The results of rupture showed values above the minimum, according to the Norms ASTMC- 270 and ASTM C-780, optimizing the use of water. In summary, it is possible to incorporate the iron together with the zeolite in substitution of sand and cement respectively. This improved mortar is a sustainable alternative to reduce highly toxic waste, incorporating them as artificial aggregates within the construction process in buildings, thus avoiding the removal of natural geographical soil and minimize emissions Gaseous pollutants that pollute the environment resulting from the industrial process in obtaining cements.

Keywords: Waste, Mixture, iron, zeolite, mortar, pollution.

INTRODUCCIÓN

Todos aquellos pasivos ambientales y residuos mineros consistentes en infraestructura y en desuso como: refinías, fundiciones abandonadas, despojos de minas ya cerradas, así como los desechos de las minas en actual explotación, se han diseminado en territorios y otros ecosistemas vivos, cubriendolos con mini-escorias “rebaba” y hierro en polvo, los cuales, con el transcurso del tiempo se han apilado y sedimentado conformando superficies de territorios altamente contaminados. A la fecha, luego de cientos de años, se ha convertido en una alternativa de espacio geográfico para la expansión de la mancha urbana, a estos cúmulos de relaves se les llama “lamerros” y “terreros”. Con la presencia de las lluvias se forma suelo húmedo y es entonces cuando los metales pesados se combinan en otros elementos y forman cloruros y sulfatos que son los directos agentes corrosivos que deterioran las estructuras de concreto que conforman la estructura de las viviendas afectadas. Una forma de combatirlos es re-utilizarlos en contra de su mismo efecto contaminante, mediante su inclusión como nuevos materiales de construcción, que sean amigables con el medioambiente. De esta manera, en un futuro próximo se podrán producir agregados artificiales a partir de las escorias siderúrgicas procedentes de los mismos residuos de minas, próximos a las poblaciones afectadas, reutilizándose el residuo en beneficio tanto del medio ambiente como de la salud pública de los pobladores.

DESARROLLO

El diseño de la pasta cementicia mejorada (*Patente No 000181-2018/ INDECOPI-Perú*) (Vera, 2018), consiste en un mortero de pega o junteo parcialmente compuesto

por agregados artificiales, destinado a utilizarse en las obras de albañilería. El desarrollo experimental para su obtención, se divide en dos etapas, la primera, en diseñar un mortero mejorado con 4 posibles variantes (Figura 1) en función de combinar hierro con zeolita adicionándolos al mortero convencional y la segunda, en perfeccionar la mezcla con base en un estudio basado en procesos de catálisis heterogénea, con el fin de eliminar el poder contaminante del hierro, accionándolo sobre la “zeolita” como sustancia de soporte. La pasta en mención, incluye como insumo al hierro en polvo, específicamente el que proviene de los residuos minero-siderúrgicos, y la zeolita, que es un aditivo mineral del tipo clinoptilolita-heulandita, el cual sustituye el clinquer que forma parte de los cementos convencionales. Con ello, se reduce el consumo de energías no renovables como el “combustible con base en petróleo”, evitándose la emanación de gases contaminantes expulsados a la atmósfera. En este trabajo se desarrollarán los alcances encontrados en la primera etapa de la investigación.

La presencia de residuos tóxicos esparcidos tanto en el medio terrestre como en la atmósfera, han contaminado los hábitats construidos produciendo daño irreversible en los ecosistemas vivos que coexisten con el poblador de regiones mineras. En las construcciones existentes, tanto en fachadas exteriores como interiores, las paredes presentan deformaciones, manchas de eflorescencias y un acelerado deterioro tanto del concreto de revestimiento en paredes, como del mortero de pega.

OBJETIVO GENERAL

Estudiar y evaluar si la incorporación del hierro, producto residual de la post-minería, al ser incluido como

A=	{	Cemento	en los siguientes porcentajes:
Aglomerantes		Zeolita	en los siguientes porcentajes:
B=	{	Arena	en los siguientes porcentajes:
Agregados		Hierro	en los siguientes porcentajes:
C= Agua	{	Aqua	en los siguientes porcentajes:

4 posibles opciones de diseño de mortero mejorado				
	W	X	Y	Z
55%	60%	65%	80%	
45%	40%	35%	20%	
100% de total de los aglomerantes	100% de total de los aglomerantes	100% de total de los aglomerantes	100% de total de aglomerante	
95%	98.5%	94%	65% a 70%	
5%	1.5%	6%	30% a 35%	
100% de total de agregados	100% de total de agregados	100% de total de agregados	100% de total de agregados	
0.689	0.689	0.689	0.689	
B=3A	“B es igual a 3 veces A”			
C= 0.689 A	“C es igual a 0.689 veces A”			

Figura 1. Proporciones de diversos propuestos para los morteros mejorados

Fuente: Elaboración propia según normas ASTM-270

insumo alternativo en sustitución parcial de la arena, incrementa los niveles de resistencia mecánica a la compresión simple dentro de la pasta cementicia de los morteros mejorados de pega obtenidos de "cemento, arena, zeolita y agua", de acuerdo con las Normas ASTM C-270 y ASTM C-780. De verificar su eficiencia, estaríamos encontrado nuevas cualidades a las ventajas ya conocidas de los compuestos cementicios que utilizaban zeolita, cemento, arena y agua.

ANTECEDENTES O ESTADO DE LA TÉCNICA

- a) **Mezcla de hormigón obtenida de arena de relaves de hierro (Hezhao *et al.*, 2010).** Un concreto obtenido de una mezcla de arena de presas de jale mineros, caracterizado por la siguiente composición: cemento de 16 a 20% de la mezcla, grava de 22 a 27%, arena de colas de mineral de hierro de 45 a 48% de agua, rangos de 5.5 a 6.5% a 7.3 a 8.1%, y policarboxilato superplastificante de 0.2 a 0.3%. La desventaja de la propuesta radica en que los productos se obtienen del hierro en cantidades muy elevadas, de 48%, por lo que necesita añadir bastante cantidad de agua, es por ello que recurren a los policarboxilatos para reducir la proporción de agua. El hecho de que presenten una granulometría más fina, hace suponer que su contenido de material fino es mayor, consecuentemente su área superficial específica es mayor, y se tendrá un mayor requerimiento de agua para alcanzar consistencia, fluidez y viscosidad.
- b) **Evaluación térmica de morteros elaborados con zeolita como porcentaje de sustitución de aglomerante.** Los investigadores Andrada *et al.* (2012) de

la Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional de la República de Argentina publicaron el artículo en referencia. En este trabajo se reemplaza al cemento con zeolita por las ventajas económicas y sustentables al no demandar gasto energético y cuidar el medio ambiente, además, por las propiedades térmicas de la zeolita.

- c) **Utilización de las presas de relaves de hierro como agregados finos en concretos de alta resistencia.** Los investigadores Sujing *et al.* (2014) publicaron que directamente se sustituye 40% del total de los agregados finos por el hierro en polvo, obteniéndose resultados similares al comportamiento de la arena natural.

JUSTIFICACIÓN DE LA ELECCIÓN DEL COMPLEJO CEMENTARIO

Se pretende indagar cuáles son los procedimientos técnicos más adecuados para mejorar las propiedades mecánicas de resistencia y durabilidad de los actuales morteros de pega, debido a que exteriormente, presentan decoloración, eflorescencia y manchas de óxido, producto del uso de agregados contaminados. El mortero al dañarse ya no permite un acabado correcto, además expone a los usuarios al contacto con agentes contaminantes, plomo, zinc y hierro. La denominación técnica de mortero de junteo según la Norma Mexicana es "mortero para mampostería sin refuerzo", y pueden ser del tipo M, S o N (Gutiérrez, 2010) norma ASTM C-270 y ASTM C-780 (Tablas 1 y 2). En este estudio se propone un mortero-prototipo sencillo y ecológico, mismo que se encuentra en desarrollo, la mayor parte de los resultados del ensayo de resistencia mecánica su-

Tabla 1. Tipos de mortero de pega, según la NSR/98 "Norma colombiana de diseño y construcción sismoresistente"

Tipo de mortero	Proporciones de mortero por volumen			R'm(Mpa)	Resistencia en kg-f/cm ²
	Partes de cemento por volumen				
M	1			17.5	175 Kg/cm ²
S	1			12.5	125 Kg/cm ²
N	1			7.5	7.5 Kg/cm ²

Tabla 2. Clasificación de los morteros de pega para mampostería simple según resistencia a la compresión a 28 días y según dosificación

Tipo de Mortero	Resistencia a la Compresión						OBSERVACIONES
	Mpa	Kg-f/cm ²	P.S.I	Cemento Portland	Cemento Albañilería	Cal	
M	17.2	175	2500	1	1	0.25	
S	12.4	126	1800	0.5 A 1	1	0.25 a 0.50	En esta investigación no se incluye la "cal" como aglomerante
N	5.2	53	750	1	1	0.50 a 1.25	
O	2.4	25	350	1	1	1.25 a 2.50	
K	0.5	5	75	1		2.50 a 4.00	

El mortero para mampostería debe ser M, S, N

Fuente: Universidad Nacional de Colombia-Biblioteca Digital UCol.www.bdigital.unal.edu.co/6167/17/9589322824_Parte5.pdf

peran el valor mínimo que establece la Norma de 5.2MPa, pero no sobrepasan los 18.31 MPa, como los alcanzados por los morteros de las Muestras Patrón, estos valores se encuentran comprendidos entre los rangos del "Mortero tipo N" y "Mortero del tipo S".

Los insumos de los que está elaborados son cemento portland compuesto, zeolita clinoptilolita, arena y hierro en polvo. Luego de revisar los resultados que se encontraron en el actual estado de la técnica (Parra, 2011) se realizó la experimentación reemplazando parcialmente al cemento por zeolita en porcentajes diversos comprendidos entre 20 y 45% en distintos ensayos, esto le permitió obtener resultados aceptables en los valores de resistencia mecánica (Figura 2). La zeolita clinoptilolita es una puzolana natural, cumple con los parámetros de la norma ASTM C 618-01, esta última es la que clasifica a la zeolita como una puzolana tipo N dentro de los grupos N, F y C. En cuanto al hierro, este insumo por razones experimentales se adquirió como hierro reducido, presentó una densidad elevada de 6.78gr/cm², y un tamaño de partícula de 75 µm (malla 200). Como se mencionó, los morteros realizados en esta investigación presentaron resistencias coincidentes con la Norma, obteniéndose valores, que van desde los morteros tipo N (Rivera, 2015), hasta valores que sobrepasan el tipo S. Para las proporciones en porcentaje diversas, se consideraron 4 posibles opciones de diseño de mortero mejorado y una relación agua/cemento de 0.68 promedio. Para una mejor comprensión, se agruparon zeolita y cemento portland, bajo la denominación de aglomerantes y se agruparon bajo la denominación de agregados, la arena y el hierro (Figura 1). Al interior de cada subgrupo se realizaron varias sub-combinaciones de zeolita y cemento para el primero, y de hierro y arena para el segundo, de modo tal que la suma de cada par no alterara la suma total de la proporción de aglomerante inicial ni del grupo de agregados inicial (Figura 1). El rango de variaciones entre las sub-combinaciones de zeolita y cemento al interior de material aglomerante se encuentra entre el rango de 20 a 45%, según la norma ASTM C595, mientras que para el material agregado, las sub-combinaciones entre arena y hierro oscilan entre 1.5 y 30%, (Figura 1), estas variaciones pueden resistir mejor un posible ataque químico por corrosión y mejores propiedades de durabilidad y resistencia mecánica, la zeolita es un mineral que tiene alta resistencia a sulfatos, y el hierro en polvo (Umara *et al.*, 2016), sustituyente de la arena, eleva las cualidades de durabilidad en el tiempo. Al final del experimento, estos morteros deben presentar las siguientes características: Fraguado, Fluencia, Resistencia y Durabilidad. La zeolita también

se molió para cumplir lo que prescriben las Normas ASTM C-430 y ASTM C-618.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las muestras de control se componen de una parte de Cemento Portland Compuesto, 3 partes de arena y agua necesaria hasta alcanzar una fluidez del orden de 110% '+/-5, se hicieron 3 muestras en total. Todas las muestras se realizaron con base en el molde normalizado tipo cilíndrico D= 5cm x H= 10cm según las normas ASTM C470 / C470M -15, los colados se hicieron en 3 etapas hasta obtener un total de 16 especímenes cilíndricos entre los meses de abril-julio del año 2016, del total, 2 se reservaron para posteriores estudios de microscopía de barrido o análisis SEM.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este artículo se presentan los resultados de los siguientes estudios: prueba de resistencia mecánica a la compresión y prueba de revenimiento o asentamiento.

DOSIFICACIÓN Y REVENIMIENTO

A raíz de la existencia de una gran cantidad de métodos empíricos de diseño de mezclas para obtener concretos y morteros con características específicas, los cuales siempre requieren pruebas de laboratorio para su afinamiento, se han intentado evitar ambigüedades y toma como referencia la información experimental proporcionada por Alemán y Masta (2006) complementada por el método propuesto por CEMEX y por el ACI (2015), el mismo que se utilizó para la presente investigación.

OBJETIVO

Diseñar la dosificación para preparar un metro cúbico de mortero de resistencia $f'c = 182 \text{ Kg-f/cm}^2$, con asentamiento de 160 mm (CEMEX, 2015) en el cono de Abrams (concreto magro). Se empleará como insumos el cemento Portland CPC, agregado arena, cuya granulometría debe tener un tamaño máximo de 4 mm, un peso volúmetrico aparente (incluidos los espacios vacíos) de 1.920 kg/m y una densidad de 1.95 gr/cm³.

PROCEDIMIENTO

Se estima una resistencia característica deseada, que fue de 140 kg/cm² y se aplicó lo indicado en la Tabla 3 de Control de Calidad. Se calcula la resistencia media del

concreto $f'm$, que siempre será superior a su resistencia característica. Se eligen 240 kg de agua de la Tabla 4 asumiendo un asentamiento de entre 150mm y 180mm, para un agregado máximo de 10mm, además se obtiene el porcentaje de aire atrapado.

Se puede estimar de la Figura 2, tomada del libro Propiedades del Concreto de Neville, que se ve arriba a la izquierda, para una resistencia media de 182 kg/cm², medida a los 28 días.

Se sustituye el dato de 240 kg de agua en peso de la Tabla 4, en la formula descrita abajo, además se obtiene el porcentaje de aire atrapado del 0.03m³ de esta misma tabla.

De la curva agua/cemento se identificó que para 182 kg/cm³ corresponde una relación agua/cemento de 0.80.

$$\text{Peso de agua / peso de cemento} = 0.80$$

El contenido de cemento será:

$$\text{Peso de cemento} = \text{peso de agua} / 0.80 = 240 / 0.80 = 300 \text{ kg de cemento}$$

Se trabaja con las siguientes densidades:

$$\text{Peso de cemento suelto} = 1,505 \text{ kg/m}^3$$

Tabla 3. Tabla control de calidad

Tipo de control	Desviacion estandar (σ)
Muy bueno	0.07 fm
Bueno	0.14 fm
Regular	0.21 fm
Deficiente	0.28 fm

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Cantidad aproximada de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de los agregados

Revenimiento (mm)	10 mm	12.5 mm	20 mm	25 mm	40 mm	50 mm	70 mm	150 mm
30 a 50	205	200	185	180	160	155	145	125
80 a 100	225	215	200	195	175	170	160	140
150 a 180	240	230	210	205	185	180	170	140
Aire atrapado	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2

Fuente: Manual de Prácticas de Laboratorios de Concreto de la UACH

$$F_c = 140 \text{ kg/cm}^2$$

$$N = 0.14 \text{ fm}$$

$$F_c = f_m - 1.65N$$

$$F_c = f_m - 1.65 \times 0.14 \text{ fm}$$

$$F_c = f_m - 0.231 \text{ fm}$$

$$F_c = 0.769 \text{ fm}$$

$$F_m = f_c / 0.769$$

$$F_m = 140 / 0.769$$

$$F_m = 182 \text{ kg/cm}^2$$

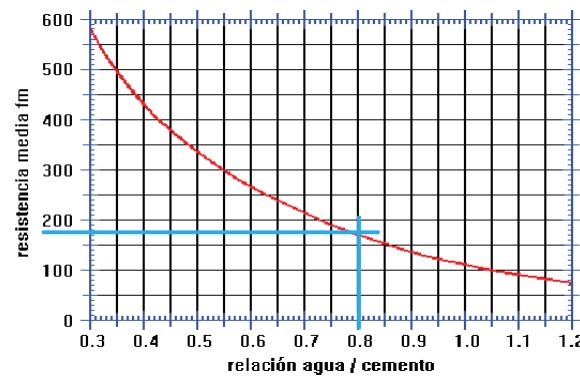


Figura 2. Curva de la Relación agua/ cemento

$$\text{Peso de arena compactada seca} = 1,920 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso del agua} = 1,000 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Volumen cemento} = 300 \text{ kg} / 1505 \text{ kg/m}^3 = 0.19 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen agua} = 240 \text{ kg} / 1000 \text{ kg/m}^3 = 0.24 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de aire atrapado} = 0.03 \text{ kg} / 1000 \text{ kg/m}^3 = 0.03 \text{ m}^3$$

Se calcula el volumen de la arena:

$$\text{Volumen de la arena seca} = 1.000 \text{ m}^3 - (0.190 \text{ m}^3 - 0.24 \text{ m}^3 - 0.03 \text{ m}^3)$$

$$\text{Volumen de la arena seca} = 0.54 \text{ m}^3$$

Se calcula el peso de agregado de la arena seca:

$$\text{Peso arena seca} = (0.54 \text{ m}^3) (1.92 \times 1000 \text{ Kg/m}^3) = 0.54 \times 1.92 \times 1000 = 1,036.8 \text{ kg}$$

Con los resultados obtenidos se procedió a definir el diseño de las proporciones de insumos para emplearse en cada uno de los especímenes, utilizándose la relación agua/cemento de 0.8 (Tabla 5), lo cual nos permitió realizar diversas combinaciones con distintos valores comprendidos entre 0.60 y 0.80, considerando también que el hierro y la zeolita demandan incluir más agua en el momento de ser incluidos en la mezcla para hacerla más trabajable.

Tabla 5. Proporciones de diseño de insumos para Morteros de junteo mejorados

	Proporciones en volumen para preparar un m ³	Dosificación en peso	Dosificación en peso	Dosificación en volumen
Arena	0.54	1036.8gr	3.45	2.84
Cemento	0.19	300.0gr	1.00	1.00
Agua	0.24	240.0gr	0.80	0.44
Aire	0.03	0	0	

Fuente: Elaboración propia

ETAPA EXPERIMENTAL

La etapa experimental se desarrolló en 3 fases (Tabla 8). En todas se consideró como dato de referencia el valor mínimo admitido de resistencia a compresión de 5.20 Mpa, según lo prescribe la Norma ASTM C-270. Es pertinente mencionar las siguientes consideraciones:

- a) El contenido de este artículo se enfoca en el estudio y la interpretación de los resultados encontrados en las pruebas de rompimiento de los especímenes obtenidos de las mezclas cementicias mejoradas, cuando han pasado 28 días después de haber sido preparados con nuevos materiales cementantes.
- b) También se tiene en cuenta que la zeolita, al ser un insumo que es lento en alcanzar dureza, según lo revelan estudios experimentales previos a este artículo (Andrade *et al.*, 2011). A efectos de descubrir nuevos comportamientos y tener más seguridad de sus propiedades, se hicieron las roturas de todas las fases luego de 28 días.
- c) Se programó una dosificación específica para todas las muestras patrón o estándar (Tablas 6 y 7).

Tabla 6. Dosificación para muestra de control también denominada "Morteros Estándar"

Denominación	Material	Dosif. en volumen	%peso por dosificación	Especificaciones Técnicas
Aglomerante	Cemento	1	25%	Cemento Portland Compuesto
Agregados	Arena	3	75%	Arena de 2.5mm de granulometría
Líquidos	Agua	0.60		Agua potable de preferencia

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Descripción de los especímenes

	Especímenes Cilíndricos triturados	Para pruebas SEM	*Los especímenes C-14, C-15 y C-16 destinados a muestras patrón
Especímenes cilíndricos	14 (C-1 al C-11 y del C-14 al C-16*)	02 (C-12 Y C-13)	
Total	16 Especímenes		

Fuente: Elaboración propia

PRIMERA SERIE DE RESULTADOS

En esta primera fase se prepararon 6 especímenes de D=5cm x H= 10cm, 3 con mortero estándar y 3 con morteros mejorados. Los especímenes mejorados fueron C-1, C-2 y C-3 y sus pesos respectivos fueron 418.73gr, 420gr y 417.5gr, mientras que el peso de los especímenes estándar fue de 421gr, respectivamente. Los 6 se fabricaron simultáneamente y se sometieron a compresión a los 28 días. En esta etapa se empleó mayor cantidad de zeolita y hierro en los especímenes mejorados que en las otras 2 etapas o series subsiguientes, también fue la que mejores resultados demostró en las fases de resistencia a la compresión. Se uniformizó la dosificación de insumos secos del mortero mejorado para los 3 especímenes, pero se hicieron diferentes proporciones de agua para cada uno (Tabla 9).

SEGUNDA SERIE DE RESULTADOS

En esta segunda fase se prepararon 4 especímenes cilíndricos de D= 5cm x H= 10cm. Los 4 son hechos con mor-

tero mejorado según las dosificaciones tipo W, X, Y y Z, (Figura 1) distribuidos así, D-1, D-2, D-3 y D-4. Los pesos fueron 398gr, 404gr, 454gr y 397gr, respectivamente. Los 4 se elaboraron simultáneamente y se sometieron a compresión a los 28 días. En esta segunda fase se emplearon menores cantidades de zeolita y hierro que en la etapa anterior, buscando 2 objetivos, primero, que los pesos de las muestras mejoradas no fueran superiores a los de las muestras estándar, ya que el empleo de una mayor cantidad de hierro afecta definitivamente en el peso de la muestra, y segundo, encontrar una proporción en peso para la zeolita y hierro, que no permita consumir mucho líquido, como se ve en las muestras de la etapa anterior, pues si bien llegaba a los niveles que la normatividad exigía, demandaba mayor cantidad de agua. Es por ello que se redujo la proporción de agua a todos los especímenes utilizando una relación a/c de 0.50. Los resultados no evidenciaron un aumento de la resistencia, a excepción de la muestra D-4 que dio por resultado un valor aceptable de resistencia a la compresión de 18.31MPa. (Tablas 8 y 10).

TERCERA SERIE DE RESULTADOS

En esta tercera fase se prepararon 8 muestras en especímenes cilíndricos. En todos se aplicaron distintas relaciones a/c y distintas dosificaciones en los insumos secos. Como la resistencia a la compresión disminuyó bastante, entonces se optó por elevar la consistencia haciendo más fluida la mezcla aplicando un reductor de agua en los 4 primeros. En el otro grupo de 4 muestras, D-5, D-6, D-7 y D-8 se utilizaron distintas dosificaciones tanto en insumos secos como distintas relaciones de agua/cemento, pero no se aplicó el aditivo ya señalado. Para estas mismas muestras se consideraron porcentajes similares a las del párrafo anterior, el porcentaje de cemento y zeolita fue de 65% y de 35%, respectivamente. Las muestras D-9 y D-10, están destinadas para el análisis SEM. La D-10 tiene la misma relación a/c que la D-8, esta última dio el resultado más bajo de resistencia a la compresión. Las muestras D-11, D-12 y D-13 son morteros estándar (Tabla 11).

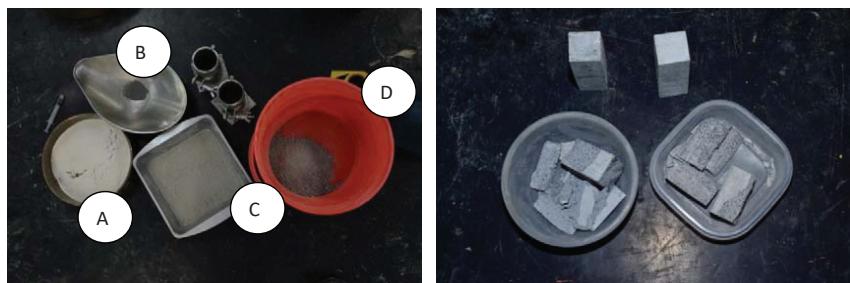


Figura 3. Insumos de la Innovación “zeolita, hierro, arena, cemento”, a la derecha, especímenes prismáticos mejorados de la primera etapa experimental, A. Zeolita, B. Hierro, C. Arena y D. Cemento

Tabla 8. Guía para la comprensión de la parte experimental.* Los aglomerantes representan 100% y los agregados suman también 100%, por lo tanto, la suma de valores de cemento y zeolita dan 100 y la suma de arena y hierro también dan 100. Pero siempre el peso de los agregados es 3 veces el del aglomerante. Para este estudio se estimó una resistencia límite mínima aceptable de 5.20 MPa según la Norma ASTM C-270 y ASTM C-780 aplicados en cilindros de D=5cm x H=10c

Estrategia utilizada para análisis	Grupo de muestras	Descripción	Relación agua/cemento			Situación	Observaciones	Resistencia obtenida en MPa
			cemento	Aglomerante	Agregados			
cemento zeolita arena hierro								
Se utilizó la misma dosificación de materiales áridos y diferentes proporciones de agua	Primera Serie de resultados: Cilíndricos	C-1* C-2*	0.52 0.64			Se Trituraron a los 28 días	Resultados dentro del límite requerido	12.80 MPa 15.20 MPa
Se utilizó diferente dosificación de materiales áridos y las misma proporción de agua	Segunda serie de resultados: Cilíndricos Sin Reductor de agua	C-3* D-2** D-3**	0.68 0.55 0.65	80 45 35	20 94 94	Se Trituraron a los 28 días	Resultados dentro del límite requerido	15.84 MPa
Terceira serie de resultados	Cilíndricos con Reductor de agua	D-4**	0.50	75	25	96	Resultados dentro del límite requerido	6.35 MPa
						4	Resultados dentro del límite requerido	8.20 MPa
						Para SEM	Resultados dentro del límite requerido	10.14 MPa
							Resultados dentro del límite requerido	18.31 MPa
							Resultados dentro del límite requerido	Microfotografía
							No se tritura	Microfotografía
Se utilizaron materiales convencionales cemento, arena y agua	Especímen Standard	D-5** D-6** D-7** D-8** D-9	0.75 0.70 0.80 1.26 0.77	60 55 65 65 75	40 45 35 35 25	98.5 94 94 94 96	1.5 6 6 6 4	Resultados dentro del límite requerido
	Especímen Standard	D-10	1.26	65	35	94	6	Resultados dentro del límite requerido
	Especímen Standard	D-11**	0.77	25	0	75	0	Resultados dentro del límite requerido
	Especímen Standard	D-12** D-13**	0.77	25	0	75	0	Resultados dentro del límite requerido
Nota: ** Las Muestras C-1, C-2, C-3, D-11, D-12 y D-13 Se encuentran en la Tabla 11 y Las Muestras D-5, D-6, D-7 y D-8 se encuentran en la Tabla 10								
*** Las Muestras D-1, D-2, D-3 y D-04 Se encuentran en la Tabla 11 y Las Muestras D-5, D-6, D-7 y D-8 se encuentran en la Tabla 12								
Fuente: Elaboración propia.								

PRIMERA SERIE DE RESULTADOS: FECHA 06/ 06/2016

Tabla 9. Primera muestra de espécimen mejorado Tipo prismático 1

Espécimen cilíndrico C-1: Dimensiones: D= 5cm x H=10cm						
Denominación	Material	Dosificación	Dosificación en gramos	% de hierro y zeolita en aglomerantes Z	Porcentaje en gramos	% respecto a la mezcla en seco
Aglomerantes	Cemento	1	104.68gr 20.00%	80.00%	83.75gr	19.98%
	Zeolita			20.00%	20.93gr	04.99%
Agregados	Arena	3	314.05gr	70.00%	219.83gr	52.51%
	Hierro			30.00%	94.210gr	22.50%
Líquidos	Agua	a/c=0.52	54.43gr	100%		
Peso	TOTAL				418.73gr	

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN: 128.75KG-F/CM²=12.80 MPa

Espécimen cilíndrico C-2 : Dimensiones: D= 5cm x H=10cm						
Denominación	Material	Dosificación	Dosificación en gramos	% de hierro y zeolita en aglomerantes Z	Porcentaje en gramos	% respecto a la mezcla en seco
Aglomerantes	Cemento	1	104.68gr	80.00%	83.75gr	19.98%
	Zeolita				20.93gr	04.99%
Agregados	Arena	3	314.05gr	70.00%	221.13gr	52.51%
	Hierro			30.00%	94.210gr	22.50%
Líquidos	Agua	a/c=0.64	66.99gr	100%		
Peso	TOTAL				420.00gr	

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN: 152.18KG-F/CM²=15.20 MPa

Espécimen cilíndrico C-3: Dimensiones: D= 5cm x H=10cm						
Denominación	Material	Dosificación	Dosificación en gramos	% de hierro y zeolita en aglomerantes Z	Porcentaje en gramos	% respecto a la mezcla en seco
Aglomerantes	Cemento	1	104.68gr	80.00%	83.75gr	19.98%
	Zeolita			20.00%	20.93gr	04.99%
Agregados	Arena	3	314.05gr	70.00%	218.63gr	52.51%
	Hierro			30.00%	94.210gr	22.50%
Líquidos	Agua	a/c=0.68	71.18 gr	100%		
Peso	TOTAL				417.50gr	

(continúa ...)

Tabla 9. Primera muestra de espécimen mejorado Tipo prismático 1 (... continuación)

RESISTENCIA A LA COMPRESION: 158.43KG-F/CM ² = 15.84MPA						
Espécimen cilíndricos con Mortero Estándar D-11 , D-12 y D-13						
Denominación	Material	Dosificación	Dosificación en gramos	% de cemento y arena en aglomerantes y agregados	Porcentaje en gramos	% respecto a la mezcla en seco
Aglomerante	Cemento	1	104.61gr	25.00%	104.61gr	25.00%
Agregados	Arena	3	314.12gr	75.00%	314.12gr	75.00%
Líquidos	Aqua	a/c=0.60	62.76gr	100%		
Peso	TOTAL				421.00 gr	

Resistencia a la Compresión: D-11 presentan 30.98 Mpa y
D-12 y D-13 presentan 20.00Mpa

Fuente: Elaboración propia

SEGUNDA SERIE DE RESULTADOS. FECHA:06 -06- 2016

Tabla 10. Especímenes cilíndricos sin reductor de agua

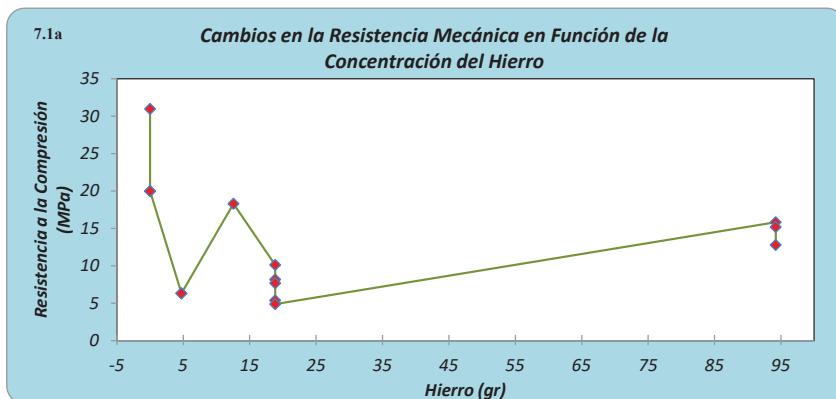
Espécimen cilíndrico D-01						
Denominación	Material	Dosifica.	Dosificación en gramos	% de hierro y zeolita en aglomerantes X	Porcentaje gramos	% respecto a la mezcla en seco
Aglomerantes	Cemento	1	104.61gr	60.00%	62.76gr	14.98%
	Zeolita			40.00%	41.84gr	9.98%
Agregados	Arena	3	314.12gr	98.50%	309.40gr	73.89%
	Hierro			01.50%	4.71gr	1.12%
Líquidos	Aqua	a/c=0.50	52.31gr	100.00%		
Resistencia a la Compresión: 63.55kg-f/cm ² = 6.35 Mpa						
Espécimen cilíndrico D-02						
Denominación	Material	Dosifica	Dosificación en gramos	% de hierro y zeolita en aglomerantes W	Porcentaje gramos	% respecto a la mezcla en seco
Aglomerantes	Cemento	1	104.61gr	55.00%	57.53gr	13.76%
	Zeolita			45.00%	47.08gr	11.21%
Agregados	Arena	3	314.12gr	94.00%	295.27gr	70.51%
	Hierro			06.00%	18.84gr	4.49%
Líquidos	Aqua	a/c=0.50	52.31gr	100.00%		
Resistencia a la Compresión: 82.16kg-f/cm ² = 8.20 Mpa						
Espécimen cilíndrico D-03						
Denominación	Material	Dosifica	Dosificación en gramos	% de hierro y zeolita en aglomerantes Y	Porcentaje gramos	% respecto a la mezcla en seco
Aglomerantes	Cemento	1	104.61gr	65.00%	67.99gr	16.23%
	Zeolita			35.00%	36.62gr	8.74%
Agregados	Arena	3	314.12gr	94.00%	295.27gr	70.51%
	Hierro			06.00%	18.84gr	4.49%
Líquidos	Aqua	a/c=0.50	52.00gr	100.00%		
Resistencia a la Compresión: 101.40 kg-f/cm ² = 10.14 Mpa						
Espécimen cilíndrico D-04						
Denominación	Material	Dosifica	Dosificación en gramos	% de hierro y zeolita en aglomerantes	Porcentaje gramos	% respecto a la mezcla en seco
Aglomerantes	Cemento	1	104.61gr	75.00%	78.45gr	18.73%
	Zeolita			25.00%	21.55gr	0.05%
Agregados	Arena	3	314.12gr	96.00%	301.55gr	72.01%
	Hierro			4.00%	12.56gr	0.03%
Líquidos	Aqua	a/c=0.50	52.31gr			
Compresión: 183.10 kg-f/cm ² = 18.31 Mpa						

TERCERA SERIE DE RESULTADOS. FECHA: 07-07- 2016

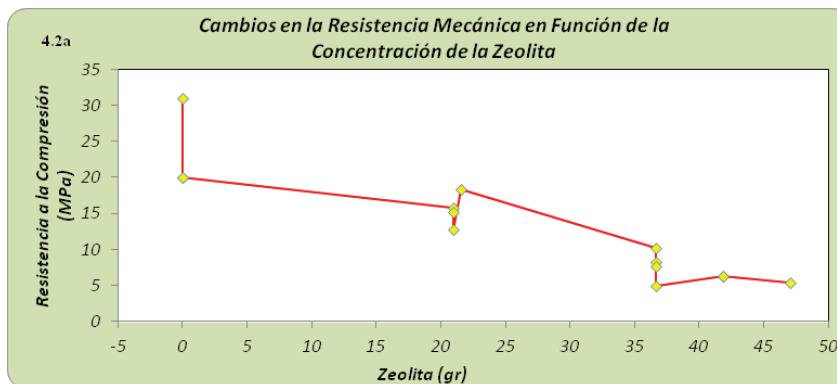
Tabla 11. Especímenes cilíndricos con reductor de agua

Espécimen cilíndrico: D-5-con reductor de agua de 4cm3								
Denominación	Material	Dosifica.	Dosificación en gramos	%de hierro y zeolita en aglomerantes X	Porcentaje gramos	%con respecto a la mezcla en seco		
Aglomerantes	Cemento	1	104.61gr	60.00%	62.76gr	14.98%		
	Zeolita			40.00%	41.84gr	9.98%		
Agregados	Arena	3	314.12gr	98.50%	309.40gr	73.89%		
	Hierro			1.50%	4.71gr	1.12%		
Líquidos	Agua	a/c=0.75	78.45gr	100.00%				
Resistencia a la Compresión: 63.3 kg-f/cm ² = 6.33 Mpa								
Espécimen cilíndrico: D-6 -con reductor de agua de 4cm3								
Denominación	Material	Dosifica.	Dosificación en gramos	%de hierro y zeolita en aglomerantes X	Porcentaje gramos	%con respecto a la mezcla en seco		
Aglomerantes	Cemento	1	104.61gr	55.00%	57.53gr	13.76%		
	Zeolita			45.00%	47.08gr	11.21%		
Agregados	Arena	3	314.12gr	94.00%	295.27gr	70.51%		
	Hierro			6.00%	18.84gr	4.49%		
Líquidos	Aqua	a/c=0.70	73.2gr	100.00%				
Resistencia a la Compresión: 54.01kg-f/cm ² = 5.40 Mpa								
Espécimen cilíndrico: D-7 -con reductor de agua de 4cm3								
Denominación	Material	Dosifica.	Dosificación en gramos	%de hierro y zeolita en aglomerantes X	Porcentaje gramos	%con respecto a la mezcla en seco		
Aglomerantes	Cemento	1	104.61gr	65.00%	67.99gr	16.23%		
	Zeolita			35.00%	36.62gr	8.74%		
Agregados	Arena	3	314.12gr	94.00%	295.27gr	70.51%		
	Hierro			6.00%	18.84gr	4.49%		
Líquidos	Aqua	a/c=0.80	83.68gr	100.00%				
Resistencia a la Compresión: 77.04kg-f/cm ² = 7.70 Mpa								
Espécimen cilíndrico D-08- con reductor de agua de 4cm3								
Denominación	Material	Dosifica.	Dosificación en gramos	%de hierro y zeolita en aglomerantes X	Porcentaje gramos	%con respecto a la mezcla en seco		
Aglomerantes	Cemento	1	104.61gr	65.00%	67.99gr	16.23%		
	Zeolita			35.00%	36.62gr	8.74%		
Agregados	Arena	3	314.12gr	94.00%	295.27gr	70.51%		
	Hierro			6.00%	18.84gr	4.49%		
a/c=1.26 131.79gr								
Resistencia a la Compresión: 49.00kg-f/cm ² = 4.90 Mpa								

Fuente: Elaboración propia. "En estas experimentaciones, se consideró uniformizar el mismo peso en seco para preparar todas las muestras que es de 418.71gr

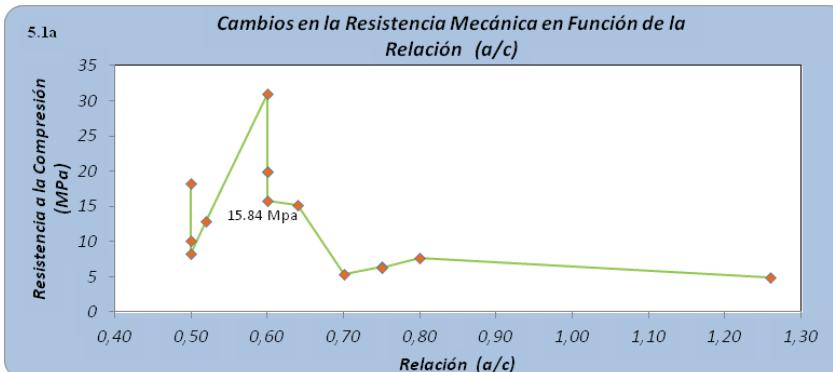


Denominación	Fe / espécimen (gr)	f'c en MPa
D-11-Patron	0	30.98
D-12-Patron	0	20
D-13-Patron	0	20
D-1	4.71	6.35
D-5	4.71	6.33
D-4	12.56	18.31
D-3	18.84	10.14
D-2	18.84	8.19
D-7	18.84	7.7
D-6	18.84	5.4
D-8	18.84	4.9
C-3	94.21	15.84
C-2	94.21	15.2
C-1	94.21	12.8

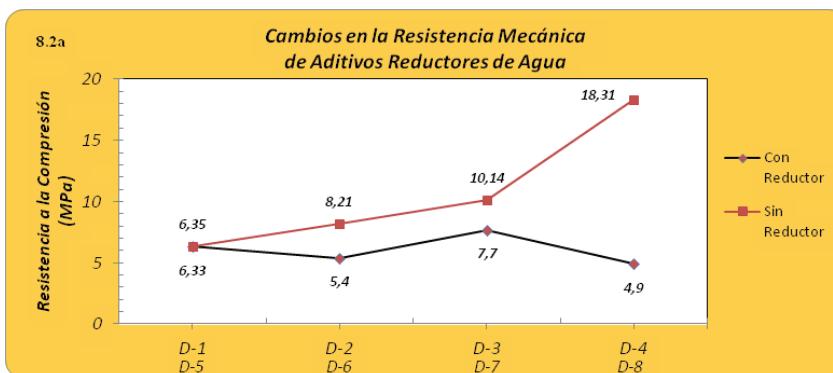


Denominación	Zeolita/espécimen	F'c en MPa
D-11-Patron	0.00	30.98
D-12-Patron	0.00	20.00
D-13-Patron	0.00	20.00
C-3	20.93	15.84
C-2	20.93	15.20
C-1	20.93	12.80
D-4	21.55	18.31
D-3	36.62	10.14
D-2	36.62	8.19
D-7	36.62	7.70
D-8	36.62	4.90
D-1	41.84	6.35
D-5	41.84	6.33
D-6	47.08	5.40

Figura 4. Representación gráfica de la incidencia del hierro y la zeolita en la propiedad de Resistencia mecánica a la compresión. En la figura 7.1a, se observa que, a mayor concentración de hierro, disminuye la resistencia. En la figura 4.2a, se observa igualmente que a mayor concentración de zeolita disminuye la Resistencia. En la tabla de la misma figura puede verse el detalle por espécimen



Denominación	Relación : a/c	f'c en MPa
D-4	0.5	18.31
D-3	0.5	10.14
D-2	0.5	8.19
C-1	0.52	12.8
D-11	0.6	30.98
D-12	0.6	20.00
D-13	0.6	20.00
C-3	0.6	15.84
C-2	0.64	15.2
D-6	0.7	5.4
D-1	0.75	6.35
D-5	0.75	6.33
D-7	0.8	7.7
D-8	1.26	4.9



	Código de Espécimen	f'c en MPa
Con Reductor	D-5	6.33
	D-6	5.4
	D-7	7.7
	D-8	4.9
	D-1	6.35
Sin Reductor	D-2	8.21
	D-3	10.14
	D-4	18.31

Figura 5. Representación grafica de la incidencia de la relación agua/cemento y de los aditivos en la propiedad de la resistencia mecánica a la compresión. En la Figura 5.1a mayormente se observa que a mayor valor de la relación a/c se produce una disminución en la resistencia. Ver el orden ascendente de la relación a/c en la tabla de la misma figura. En la Figura 8.2a, la incorporación de aditivos reductores produce una disminución en los resultados de la Resistencia. Ver detalle en la tabla

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

La máxima cantidad de hierro que se pudo incorporar a la mezcla, respetando los niveles mínimos de resistencia mecánica a la compresión recomendados por las Normas ASTM C-270 y ASTM C-780, es hasta 30% del total del peso de toda la mezcla en seco con una relación a/c 0.64. Para este valor, la máxima resistencia alcanzada fue de 15.20 MPa. (Tabla 9). La mínima cantidad de hierro que se puede incorporar a la mezcla sin alterar las propiedades de resistencia, ni consumir mucha agua es hasta un 2.5% del total del peso de toda la mezcla en seco, usar menos cantidad, demandaría aumentar más zeolita y eso implica utilizar más agua, el agua necesaria es de una relación 0.50 a/c, para estos valores la máxima resistencia alcanzada fue de 18.31MPa (Figura 5.1).

Se comprobó que la zeolita y el hierro demandan una mayor cantidad de agua al momento de realizar las mezclas en comparación con los especímenes estándar, con una relación a/c de 0.8. Todos los especímenes de mortero estándar sometidos a la prueba de resistencia, presentaron valores comprendidos entre 20MPa y 30.98MPa, las pruebas se hicieron de acuerdo con el diseño de mezclas con la respectiva prueba de revenimiento. La relación fue de 0.60 a/c.

La metodología empleada para la incorporación del hierro en polvo, fue utilizar en cada ensayo consecutivo proporciones distintas de este mineral, de modo tal que se van haciendo más altos los valores de las proporciones a medida que avanza la experimentación. Los resultados nos permiten identificar 2 fases, en la primera, cuando al adicionar el hierro en cada una de las 2 primeras pruebas, la proporción del mismo se va incrementando de 0.00gr a 4.71gr, dando por resultado que el valor de la resistencia a la compresión aumenta también hasta tomar valores de 18.31 MPa, mientras la relación a/c toma valores que decrecen de 0.75 hasta 0.6. Luego, cuando al adicionar el hierro en las siguientes pruebas donde las proporciones son superiores a 4.71 gr hasta llegar a 94.21gr, los valores de la resistencia mecánica a los esfuerzos de compresión aumentaron en forma proporcional, entre 6.35MPa hasta 15.84MPa. En este caso, la relación a/c toma valores que ascienden de 0.6 hasta 0.75. (Figuras 4.1a y 4.1b). En cuanto a la adición de la zeolita, también se identificaron 2 fases, cuando la cantidad de la misma incorporada en cada una de las pruebas asciende en proporciones de 0.00gr hasta 21.55gr, el valor de la resistencia mecánica a la compresión comenzó a subir desde 4.90MPa hasta 20MPa. Luego cuando el incremento progresivo de la misma a la mezcla asciende desde 20.93gr hasta 36.62gr, se produ-

ce una disminución de la resistencia mecánica a la compresión, desde 15.84MPa hasta 4.90MPa (Figuras 4.2b y 5.2b). Para las situaciones mencionadas arriba se utilizaron las mismas relaciones agua/cemento que para el caso del hierro.

En cuanto a los aditivos reductores de agua, se observó que resultan inconvenientes, pues producen disminución en los valores de la resistencia mecánica (Figura 5.2b)

CONCLUSIONES

La adición de hierro a las mezclas cementicias que contienen cemento, zeolita, arena y agua, permite obtener resultados positivos en las pruebas de resistencia mecánica a los esfuerzos de compresión, ya que superan los niveles mínimos admitidos de 5.20 MPa según lo recomienda las Norma ASTM C-270 y la Norma ASTM C-780.

En términos generales se puede decir que a medida que se incrementan las proporciones de hierro a las mezclas cementicias, se obtienen valores en los resultados de los ensayos a resistencia mecánica a la compresión igualmente ascendentes, aunque esto signifique en la mayoría de los casos, utilizar una relación agua/cemento más alto.

Los resultados de las pruebas de resistencia mecánica a la compresión de las mezclas cementicias que utilizan hierro, zeolita, cemento, arena y agua son aceptables, pero no son tan altos como los obtenidos de las mezclas cementicias de los morteros de pega estándar, debido a que la zeolita y el hierro representan un alto contenido de material fino, consecuentemente su área superficial específica es mayor, y eso demanda un mayor requerimiento de agua para alcanzar consistencia, fluidez y viscosidad.

La consistencia plástica adecuada se define por un asentamiento de 160mm, lo cual permitió diseñar una pasta cementicia trabajable para morteros de pega que alcancen resistencias superiores a 15MPa, este antecedente puede tomarse en cuenta en posteriores investigaciones que aborden temáticas similares sobre el estudio de los morteros de junteo obtenidos de residuos provenientes de la post-minería.

REFERENCIAS

- Alemán-Suárez J. y Masta-Mendoza M. *Guía de elaboración de un manual de prácticas de laboratorio, taller o campo*, Dirección General académica, Universidad Autónoma de Chapingo-Méjico, 2006.
- American Concrete Instituto "ACI". Normas con referencia a Hormigón armado. ACI 318S-14 "Requisitos de Reglamento

- de Construcción para Concreto Estructural y su Comentario” (2015) [en línea] [Fecha de consulta: 08 de enero del 2017]. Disponible en: https://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/publicom/ACI_318-05_Espanhol.pdf.
- American Concrete Instituto “ACI 211.1-91”. Standard practice for selecting proportions for normal, heavy weight, and mass concrete, 2001.
- American Society of Testing Materials ASTM C-270-14a. Standard specification for mortar for unit masonry, ASTM International, West Conshohocken, PA”, Establece las resistencias mínimas para pruebas realizadas en el laboratorio, 2014.
- American Society of Testing Materials ASTM C430. Standard test method for determination of the fineness of the hydraulic cement using a 45m or No 325”, 2013.
- American Society of Testing Materials ASTM C470/C470M-15. Standard Specification for molds for forming concrete test cylinders vertically, 2015.
- American Society of Testing Materials ASTM C-780-16a. Standard test method for preconstruction and construction evaluation of mortars for plain and reinforced unit masonry, ASTM International, West Conshohocken, PA. “Method de ensayo. Evaluación de morteros de pega para mampostería reforzada y no reforzada, antes y durante la construcción, 2016.
- American Society of Testing Materials ASTM C595/C595M. Standard specification for blended hydraulic cements. ASTM International, Blended hydraulic cement Fly ash cement Hydraulic cement Portland blast-furnace slag cement Portland-limestone cement Portland-pozzolan, cement Pozzolanic and cement Slag Granulated blast-furnace slag, 2017.
- American Society of Testing Materials ASTM C-618-17a. Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete, 2017.
- Andrade R.C., Baronetto C., Positieri M., Oshiro A., Raggiotti B., Sánchez-Soloaga I. *Evaluación térmica de morteros elaborados con zeolita como porcentaje de sustitución de aglomerante*, Centro de Investigación en Tecnología de Materiales de Construcción y Calidad, (CINTEMAC), Facultad Regional Córdoba– Universidad Tecnológica Nacional. Argentina, 2011.
- Cementos Mexicanos S.A. “CEMEX”. *Manual del Constructor CE-MEX*, 2015.
- Gutiérrez de López. *Morteros*, Cap. 3, 2010 [en línea] [Fecha de consulta: de Marzo del 2016]. Disponible en: http://www.bdigital.unal.edu.co/6167/17/9589322824_Parte5
- Hezhao F., Wanyun Y., Rencai J. Patente de invención, 2010, Núm. de Publicación CN1052236860.
- Neville A.M. *Tecnología del concreto*, México, Editorial Limusa, S.A. de C.V., 1989.
- Parra-Moran C. *Cementos alcalinamente activados a base de zeolitas naturales* (tesis doctoral), Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil-Ecuador, 2011.
- Rivera A. y Gerardo L. *Concreto simple, dosificación de morteros, Tecnología de Concreto y Mortero*, Cap. 9, Universidad del Cauca-Colombia, 2015.
- Sujing Z., Junjiang F., WeiSun. Utilization of iron ore tailings as fine aggregate in ultra-high performance concrete. *Original Research Article Construction and Building Materials*, volumen 50 (número 15), 2014: 540-548.
- Umara-Shettima A., Warid-Hussin M., Ahmad Y. y Mirza J. Evaluation of iron ore tailings as replacement for fine aggregate in concrete. *Construction and Building Materials*, volumen 120, septiembre 2016: 72-79 [en línea] [Fecha de consulta: 5 de Marzo del 2016]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061816308273>
- Vera-Barrios S. Patente con Resolución No 000181-2018/DIN-IN-DECOPPERU, 22-01-18, Examen de Patentabilidad ACC003-2018 INDECOPPI-Lima, Perú, 2018.

BIBLIOGRAFÍA

Videla C. y Martínez P. Áridos livianos de cenizas volantes para la construcción con hormigón sustentable. *Revista Ingeniería de Construcción*, volumen 16 (número 2), julio- diciembre de 2001.

Citación sugerida:

Citación estilo Chicago

Vera-Barrios, Bertha Silvana, María Teresa Ledezma-Elizondo. Pasta cementicia mejorada con adición de Zeolita y Hierro en polvo para morteros de pega o junteo. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, XIX, 02 (2018): 223-238.

Citación estilo ISO 690

Vera-Barrios B.S., Ledezma-Elizondo M.T. Pasta cementicia mejorada con adición de Zeolita y Hierro en polvo para morteros de pega o junteo. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, volumen XIX (número 2), abril-junio 2018: 223-238.

SEMLANZAS DE LOS AUTORES

Bertha Silvana Vera-Barrios. Con grados académicos en arquitectura, magister en artes y doctor en educación, es docente asociado en la Universidad Nacional de Moquegua-Perú, segunda ganadora en el Concurso Nacional de Potentes de Invencción 2012 INDECOPI-PERU, actualmente tiene otras patentes en trámite, becada por la OEA estudia un doctorado en arquitectura en la UANL, es investigadora en la línea de energías alternativas y grupos humanos vulnerables se ocupa de discapacidad adquirida como de su relación con los agentes contaminantes que la provoca. Las patentes en trámite son innovaciones de nuevos materiales de construcción obtenidos de escorias mineras. Realiza ponencias sobre estos tópicos en la Ciudad de México, Jalisco y Nuevo León. Tiene publicaciones relacionadas a discapacidad adquirida y terapias educativas para tratarla, con depósito legal en la Biblioteca Nacional-Perú

Maria Teresa Ledezma-Elizondo. Actualmente es subdirectora de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Al mismo tiempo ejerce la docencia en licenciatura, maestría y doctorado. Además ejerce independientemente labor profesional en el área de la construcción. Pertenece al área de investigación: humanidades y ciencias de la conducta. Sus líneas de investigación son: Administración y nuevas tecnologías de la construcción y Desarrollo urbano y ordenación del territorio. Pertenece al Cuerpo Académico de Construcción y Desarrollo Urbano. Asimismo pertenece al Sistema Nacional de Investigadores (SNI): Nivel I. El pasado 26 de febrero la Honorable Junta de Gobierno de la UANL informó que designa como directora a la Dra. María Teresa Ledezma-Elizondo para el periodo comprendido del 02 de septiembre de 2016 al 03 septiembre de 2019.