EVALUACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DE MORTEROS BASE CEMENTO CON SUSTITUTOS DE CENIZA DE ELABORACIÓN DE LADRILLO

S. ARGUELLO, E. ALONSO, O. MIRANDA, R. SILVA, R. RUIZ, J. ÁLVAREZ

Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México.

RESUMEN

Reducir la huella de carbono. Las sustituciones a morteros base cemento Portland (CP), 2% y 5% de Ceniza de elaboración de Ladrillo (CEL) en masa de CP se compara con un CONTROL (cemento-arena-agua). Se caracteriza los materiales, diseña las mezclas y elabora los especímenes cúbicos de 5cm de arista. Se evalúa: velocidad de pulso ultrasónico (VPU) y resistividad eléctrica (RE), y compresión; a 7, 14, 28, 90 y 180 días. La RE a 180 días supera en ambas sustituciones a la mezcla CONTROL; en VPU ambas mezclas resultan de alta calidad; a partir de los 14 días ambas superan los 21 MPa que especifica la norma ACI 211.3-75, para un concreto con una relación agua/cemento 0.68.

Palabras clave: Durabilidad; mortero; residuo; ladrillo; puzolana.

ABSTRACT

Reduce the carbon footprint. Cement mortars with additions of 2% y 5% of ash of manufacture of brick powder (CEL) as substitute of Portland cement (CP) are compared with a control (mortars without replacement of CP). The materials are characterized, the mixtures are designed and the cubic specimens (5cm) are elaborated. Ultrasonic pulse velocity (VPU), electrical resistivity (RE), and compressive strength are evaluated at 7, 8,14,28,90, and 180 days. The RE of CEL2% and CEL5% is higher than control at 180 days. The results of VPU indicates than both mixtures are of high quality. Besides, the compressive strength at 14 days exceeds the 21MPa specified by the ACI 211.3-75 standard to concretes with cement/water ratio of 0.68.

Keywords: Durability; mortar; waste; brick; pozzolan.

1. INTRODUCCIÓN

La protección del medio ambiente ha sido de gran importancia en los últimos años. El empleo de cemento involucra una contaminación hacia el medio, un sorpresivo 5% de las emisiones totales de CO₂ en el mundo son producidas por esta industria, sin embargo, hasta el momento no existe otro material con las características del cemento para el área de la construcción, es el ligante universal por excelencia, por lo que su producción es indispensable para la demanda de la población. Surge la necesidad de disminuir los efectos negativos que produce el uso del cemento. El uso de materiales puzolánicos como sustituto parcial del cemento tiene como objetivo disminuir el consumo de cemento, aumentar la durabilidad y reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera. La base de todas estas mejoras es el denominado “Efecto Puzolánico” en el cemento. Los Aluminosilicatos presentes en la puzolana, reaccionan con el Hidróxido de Calcio liberado en la hidratación del cemento Portland. Esto se realiza en una reacción lenta (que disminuye el calor), consume el Hidróxido de Calcio (lo que mejora su resistencia frente a ambientes ácidos), y al realizarse la reacción rellenan los espacios resultantes de la reacción de hidratación del cemento (lo que aumenta la impermeabilidad y la resistencia mecánica).

El mortero se puede definir como la mezcla de un material aglutinante (cemento portland y otros cementantes), un material de relleno (agregado fino o arena), agua y eventualmente aditivos, que al endurecer presentan propiedades químicas, físicas y mecánicas similares a las del concreto (Sánchez de Guzmán, 2006). Una manera de reducir el consumo de cemento en la elaboración de los morteros es sustituir parte de este, por diferentes materiales, para la presente investigación: Ceniza de elaboración de ladrillo.

De los ensayos realizados. De acuerdo a su naturaleza se clasifican en: No Destructivas y Destructivas; los primeros se realizan a los materiales, para determinar cierta característica física, del material en cuestión y no alteran de forma permanente sus propiedades, ya sean éstos: metales, plásticos (polímeros), cerámicos o compuestos; se tiene la posibilidad de repetir un sin número de veces la prueba, y por tanto, de reducir el número de las muestras, pero además posibilitan para realizar un análisis estadístico confiable, los reglamentos vigentes hablan de 30 especímenes, los ensayos no destructivos implican un daño imperceptible o casi nulo en la muestra examinada. En esta investigación las pruebas no destructivas fueron: velocidad de pulso ultrasónico y resistividad eléctrica.

En el caso de las pruebas destructivas permite determinar el parámetro a medir mediante la rotura de probetas para nuestro caso cubicas de 5cm de arista para evaluar la compresión simple (NMX-C-083-ONNCCE-2004). El comportamiento de un mortero frente a los distintos esfuerzos es variable y complejo.

2. PROCEDIMIENTO

Se dividió en varias etapas desde caracterizar a los materiales, diseñar mezclas en base a las propiedades de los materiales obteniendo una relación agua-cemento de 0.68 en base a la prueba de fluidez, elaborar especímenes y hacer la evaluación respectiva en pruebas no destructivas y destructivas.

2.1 Estudio de los materiales.

En primer lugar, se verificó la calidad de la arena, proveniente de la comunidad de joyitas, de origen volcánico; también se evaluó el cemento CPC 30R-RS.

Se analizó también la granulometría del material a sustituir, debido a que era un porcentaje menor al 30% el que pasaba la malla No. 200, se decidió triturar en un molino de bolas, para sacar el mayor provecho posible a nuestro residuo, es importante mencionar que es un producto de la cocción de tabiques, al cual lamentablemente le agregan llantas, lo cual produce demasiada contaminación a la atmosfera.

2.2 Etapa preliminar.

La consistencia normal (CN) de una pasta se obtiene cuando al agregar un porcentaje de agua, respecto a la cantidad de cementante seco (cemento o cemento + adición), se obtiene una penetración de 10 ± 1 mm en la pasta de cemento utilizando la aguja de 1mm del aparato de Vicat.

Tiempos de fraguado es mediante la utilización del Aparato de Gillmore. El tiempo de fraguado inicial es el tiempo transcurrido desde que se agrega el agua a la pasta hasta que la aguja de menor masa deja huella apreciable sobre la superficie. La determinación del tiempo de fraguado inicial sigue el mismo procedimiento utilizando la aguja con masa mayor (Navarro et.al., 2011).

El mezclado de los morteros se realizó en una cubeta de plástico de 19 litros, utilizando un taladro con potencia de 750w y 3500 RPM con accesorio de aspas mezcladoras. El tiempo de mezclado fue de 3 minutos, previo a la elaboración de los especímenes. Es importante mencionar que se realizó previo un mezclado en seco, como se muestra en la figura #1.

Se realizó la prueba de fluidez para determinar la cantidad de agua necesaria para obtener un valor de fluidez de $110\% \pm 5\%$ (ASTM C 109 M, 2002) La prueba de fluidez consiste en llenar el molde troncocónico, sobre el plato circular, sobre la mesa de fluidez; el llenado se hace en dos capas, agregando a cada una de estas la mitad del volumen del molde aproximadamente, después del llenado de la primera capa se le dan 20 golpes con el pisón a la mezcla distribuidos en toda la superficie. Después se procede a llenar la segunda capa teniendo cuidado en dejar un sobrante de mezcla sobre la parte superior, después se le dan a ésta capa otros 20 golpes con el pisón, posteriormente se enrasa el molde ayudándose de una espátula, cuchara de albañil o similar, se retira el molde, mediante el uso de la manivela el plato circular se levanta y se deja caer súbitamente, esta operación se repite varias veces, debe hacerse un total de 25 veces en un tiempo aproximado de 15 segundos.

Elaboración de especímenes. Se elaboraron los especímenes: cubos de 5cm de arista (ASTM C 109 M, 2002).

Figura 1. Componentes del mortero sustituido.

2.3 Ensayes realizados a los especímenes.

Se procedió a realizarse los ensayos No destructivos y destructivos en base a las normas NMX y a las especificaciones de la red durar para cada evaluación respectivamente.

2.3.1 Ensayes no destructivos:

Se procedió a realizarse los ensayos No destructivos: velocidad de pulso ultrasónico (NMX-C-275-ONNCCE-2004) y resistividad eléctrica (NMX-C-514-ONNCCE-2016).

2.3.2 Ensaye destructivo:

Únicamente se realizó compresión simple en base a la norma NMX-C-083- ONNCCE-2014.

3. RESULTADOS

Un criterio de evaluación, utilizando como parámetro la velocidad de pulso ultrasónico, se presenta en la tabla 1. Este criterio especifica como material de análisis al concreto hidráulico. Sin embargo, el concreto hidráulico a su vez nos puede ubicar en el rango de calidad del mortero que estamos estudiando al ser evaluado con la VPU. Los resultados de la prueba de velocidad de pulso ultrasónico se muestran en la figura # 2.

Tabla 1. Criterio de evaluación de la calidad del concreto hidráulico en función de la VPU (CYTED-DURAR, 1998).

Calidad del concreto	Velocidad de propagación (m/s)	
	Desde	Hasta
Deficiente	<2000	
Normal	2001	3000
Alta	3001	4000
Durable	>4000

Figura 2. Resultados de la Velocidad de Pulso Ultrasónico.

No existe un criterio general para determinar los valores de resistividad que definan el estado de corrosión de una armadura. Sin embargo, la práctica ha demostrado que se pueden utilizar los parámetros de la tabla 2 para estructuras de concreto armado (CYTED-DURAR, 1998). Los resultados de la prueba de resistividad eléctrica se muestran en la figura # 3.

Tabla 2. Criterio General de valores de resistividad eléctrica del concreto. (CYTED-DURAR, 1998)

Riesgo a la corrosión	Resistividad Eléctrica ($K\Omega\text{-cm}$)	
	Desde	Hasta
Alto riesgo	< 10	
Moderado riesgo	10	200
Poco riesgo	> 200

Figura 3. Resultados de la Resistividad Eléctrica.

Para morteros de albañilería sin adiciones la norma mexicana establece que la resistencia a compresión de los morteros a 7 días debe ser de 4.4 MPa, y de 7.8 MPa a 28 días, como mínimo en ambos casos (NMX-C-O21-ONNCE., 2004). Al comparar con las especificaciones ACI 211.3- 75 que se presentan en la tabla 3, a partir de los 14 días ambas sustituciones superan los 21 MPa, que se especifica para una relación agua/cemento= 0.68 a 28 días. Los resultados de la resistencia a la compresión se muestran en la figura 4.

Tabla 3. Comparación entre la relación agua/ cemento y la resistencia a compresión de concreto a 28 días según la norma ACI 211.3- 75.

Resistencia a compresión a 28 días (MPa)	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
48	0.33	-----
41	0.41	0.32
34	0.48	0.40
28	0.57	0.48
21	0.68	0.59
14	0.82	0.74

MPa

Compresión simple

Figura 4. Resultados de la compresión simple.

4. CONCLUSIONES

Al evaluar la Velocidad de Pulso Ultrasónico con el criterio de la red durar, todas las mezclas se clasifican como alta calidad, lo cual indica la homogeneidad de la matriz cementicia; en el parámetro de Resistividad Eléctrica las mezclas se clasifican como alto riesgo a la corrosión, sin olvidar que influye la cantidad de cloruros y sulfatos con las que se encuentre en contacto el material y de las condiciones a las que esté expuesta la matriz cementicia, sin embargo en ambas sustituciones a la edad de 180 días la RE se incrementa notablemente, se espera que dicha tendencia se mantenga a una edad más tardía. Al evaluar el parámetro de Resistencia a la Compresión se observa que ambas mezclas superan a la mezcla control a partir de los 90 días y con tendencia a incrementarse a una edad más tardía.

El mortero diseñado se propone utilizar en ambientes agresivos o condiciones de servicio severas, aunque se tendrá que completar su evaluación por durabilidad.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento a todo el personal del Laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por todo el soporte técnico, por las facilidades otorgadas en el uso de instalaciones y equipos de prueba.

6. REFERENCIAS

- CYTED-DURAR. (1998). *Durabilidad de la Armadura, Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado*. Red Temática XV.
- NMX-C-083-ONNCCE. (2014). *Industria de la Construcción - Concreto - Determinación de la Resistencia de Cilindros de Concreto - Método de Prueba*. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S.C.
- NMX-C-514-ONNCCE-2016. (s.f.). *Industria de la Construcción. Resistividad Eléctrica del Concreto Hidráulico. Especificaciones y Métodos de ensayo*.
- NMX-C-275-ONNCCE-2004. *Industria de la Construcción-Concreto-Determinación de la Velocidad de Pulso a través del Concreto-Método de Ultrasonido*.
- ASTM C 109M, I. *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)*. (2002). U.S.A.
- Navarro L. M., Martínez, W., Espinoza, J. A. (2011). *Análisis de Materiales* (Tercera edición ed.). Morelia: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.