

Escorias de fundición de cobre usadas en matrices de cemento Portland como puzolana alternativa.

Edwin Gudiel^{1,2,3}, José María Monzó³

¹*Facultad de Arquitectura e ingeniería civil de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Av. de La Cultura 773, Cusco, Perú*

²*Facultad de ingeniería y Arquitectura de la Universidad Andina del Cusco, Urbanización ingeniería Larapa grande A-7 San Jerónimo, Cusco, Perú*

³*Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón (ICITECH). Universitat Politècnica de València. Camino de Vera S/N. 46022, Valencia, España*

Categoría: Investigaciones financiadas - otros.

Temático: Ingenierías y arquitectura.

RESUMEN

El Perú es un país productor de cobre, a nivel mundial el segundo después de Chile, ésta producción minera hace que también se produzca residuos mineros, en éste caso en forma de escorias producto de la fundición en la fabricación de los ánodos de cobre, en muchos casos éstas escorias quedaron depositadas en vertederos a la intemperie y sin un uso planteado que impulse el reciclaje y reduzca el impacto ambiental. En ésta investigación, la escoria de cobre abandonada en los vertederos se propone como una alternativa de un nuevo material de construcción. Las escorias estudiadas se tomaron de los vertederos de La Oroya en la provincia de Yauli de la región Junin en el centro del Perú. Se estudió la actividad puzolánica en cal y sistemas de cemento portland, La reactividad de la escoria se midió mediante análisis de conductividad eléctrica y pH en suspensión acuosa. Además, se hicieron morteros de cemento portland con la sustitución del 15 y 45% (en peso) del cemento por escoria de cobre, curados a 20 °C para determinar la resistencia a la compresión.

Los resultados indican que las escorias de cobre estudiadas tienen atractivas propiedades reactivas para el sector de la construcción.

PALABRAS CLAVE: escoria de cobre, actividad puzolánica, cemento portland, propiedades mecánicas.

Correo electrónico: grer39@hotmail.com, edwin.gudiel@unsaac.edu.pe / jmmonzo@cst.upv.es

ABSTRACT

Peru is a copper-producing country, worldwide the second after Chile, this mining production also causes mining waste, in this case in the form of slags produced by smelting in the manufacture of copper anodes, in many cases

these slags were deposited in landfills in the open and without a raised use that boosts the recycling and reduces the environmental impact. In this investigation, the copper slag abandoned in landfills is proposed as an alternative of a new construction material. The slags studied were taken from the La Oroya landfills in the Yauli province of the Junin region in central Peru. The pozzolanic activity in lime and portland cement systems was studied. Slag reactivity was measured by analysis of electrical conductivity and pH in aqueous suspension. In addition, Portland cement mortars were made with the replacement of 15 and 45% (by weight) of the cement with copper slag, cured at 20 ° C to determine the compressive strength.

The results indicate that the copper slags studied have attractive reactive properties for the construction sector.

KEYWORDS: copper slag, pozzolanic activity, portland cement, mechanical properties.

1. INTRODUCCIÓN

El cobre es un elemento metálico que tiene demanda por sus propiedades de conductividad eléctrica, su uso en las áreas de la electricidad y la electrónica, hacen que este metal tenga interés en muchos países.

La obtención industrial del cobre se hace a partir procesos hidrometalúrgicos o por procesos pirometalúrgicos en las fundiciones primarias, uno u otro procedimiento, implica la emisión de gases y el vertido de residuos al medio ambiente. En este aspecto, se ha estimado que en la producción de 1 kg de cobre metálico fundido, se generan 210 kg de residuos mineros, 113 kg de relaves, 2 kg de escoria, 2,3 kg de co-productos que contienen azufre, y emisiones al aire de 0,5 kg de CO₂ y 0,2 kg de SO₂ [1].

Las escorias de cobre dentro del proceso de fabricación de los ánodos de cobre, se consideran como materiales de desecho [2]. La escoria de cobre (EC) dentro de la construcción se utiliza en rellenos, terraplenes, drenaje, lastre, como agregados en morteros, concreto [3] y mezclas de asfalto [4], como material abrasivo [5], como sustituto del cemento [6], como materia prima en la fabricación de cemento Portland (PC) [7] y también como aglutinantes en la fabricación de cementos alcalinos (AA) [8]. A la literatura científica existen pocos estudios sobre el uso de escorias de cobre de vertederos antiguos como un material cementoso [9].

La experiencia con respecto al uso de agregados, la EC, podemos avisar que existen algunas especificaciones técnicas de algunos países como de los EE. UU, Corea y Japón.

Las EC generada en la actualidad está compuesta de Fe (30 a 40%), SiO₂ (35 a 40%), Al₂O₃ (_10%), CaO (_10%)

y Cu (0.5e2.1%) [10]

En Perú, existen algunos depósitos de EC que se produjeron en el siglo anterior y que tienen efectos ambientales en el suelo, así como sociales.

La composición de las EC y sus lixiviados permanecerán en el rango no peligroso (Alter, 2005). Además, pueden degradarse con el tiempo y potencialmente ser una fuente de metales tóxicos [11]. Hasta el momento es muy poca las propuestas para utilizar las EC como materias primas en la fabricación de morteros y hormigones basados en PC y / o cemento AA.

Dentro del proyecto de investigación se proyecta experimentar y plantear a la industria de la construcción, una posibilidad de uso de EC que gocen de propiedades cementantes y que se encuentran acumuladas en antiguos vertederos abandonados en diferentes regiones del Perú.

El objetivo de este estudio es determinar la posibilidad de usar las EC producidos en las décadas pasadas, en el sector de la Oroya, de la provincia de Yauli en la región Junín del centro del Perú, como materiales de construcción.

La hipótesis es que la EC del sector de la Oroya, tienen propiedades conglomerantes y puede usarse como un nuevo componente para la fabricación de materiales de construcción.

Se estudiaron las actividades puzolánicas en los sistemas de cal y cemento Portland. Además, los morteros EC-PC con la sustitución del 15% y 45% (en peso) de cemento por EC, con dos relaciones agua cemento (0,4 y 0,45).

Se fabricaron morteros de cemento con sustitución de EC, a 7 y 28 días de curados a una temperatura 20 ° C y 100% de humedad, para determinar la resistencia a la compresión y flexión.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1 Materiales

Para poder usar las EC fue muy importante demostrar la granulometría, para ello fue necesario un proceso de molienda del material hasta llegar a la granulometría deseada y así comprobar la distribución del tamaño de partícula de la EC molida, para esto se usó el granulómetro láser modelo Mastersizer 2000 del fabricante Malvern Instruments, para rangos de 0,02 a 2.000 micras y el programa informático Mastersizer 2000 ver. 3.01.

En la figura 1 se muestra el diámetro medio de las partículas y el tiempo de molienda de las EC. El tiempo de molienda en la jarra de bolas fluctuó entre los 30–50 minutos, consiguiendo diámetros medios inferiores a 20 µm.

La EC no logró reducir de tamaño a tiempos superiores a 1 h.

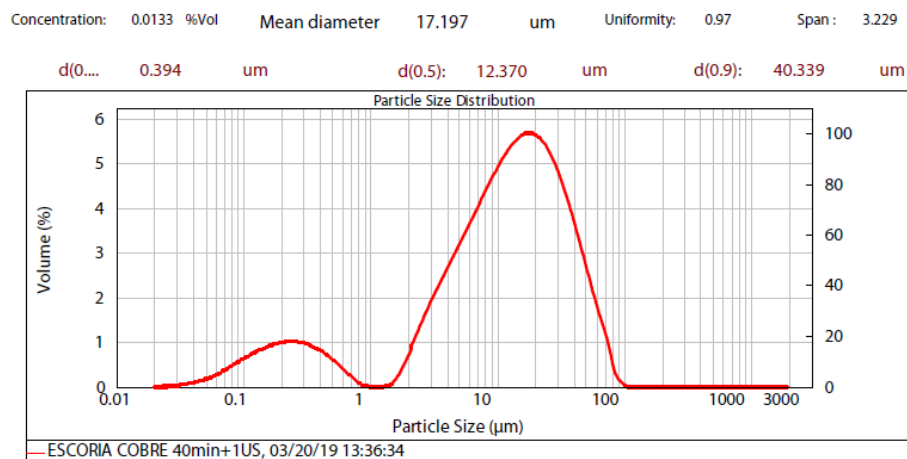


Fig. 1. Curva de distribución de tamaño de partículas – tamaño de partícula en um

Se fabricaron morteros de cemento Pórtland con una relación agua / cemento (a/c) de 0,4 y 0,45 árido/cemento (ar/c) de 3, ambos en peso. El material usado como sustitución del cemento en un 15, y 45% es la escoria de fundición de cobre, (EC) aluminosilicato con una reactividad puzolánica, con un diámetro de partícula de 17,1 micras.

El cemento utilizado en pastas y morteros es cemento Portland tipo CEM I-42,5 de la empresa Lafarge, que cumple con requisitos de la norma EN 197-1:2011 [12] y su composición química y perdida al fuego se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición química del CP y EC en porcentaje.

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	PF
CP	20,3	4,51	4,71	64,32	1,18	1,67	0,97	0,07	0,15		2,02
EC	39,33	8,76	20,48	26,41	1,09	0,15	0,12	0,60	0,01	1,22	

El árido empleado para la fabricación de los morteros fue árido silíceo y la granulometría ha sido analizada por tamizado según la serie de luces de malla de la normativa UNE – EN 196-1. [13]. La distribución de tamaño de partícula del agregado utilizado en este trabajo se muestra en la Fig. 2.

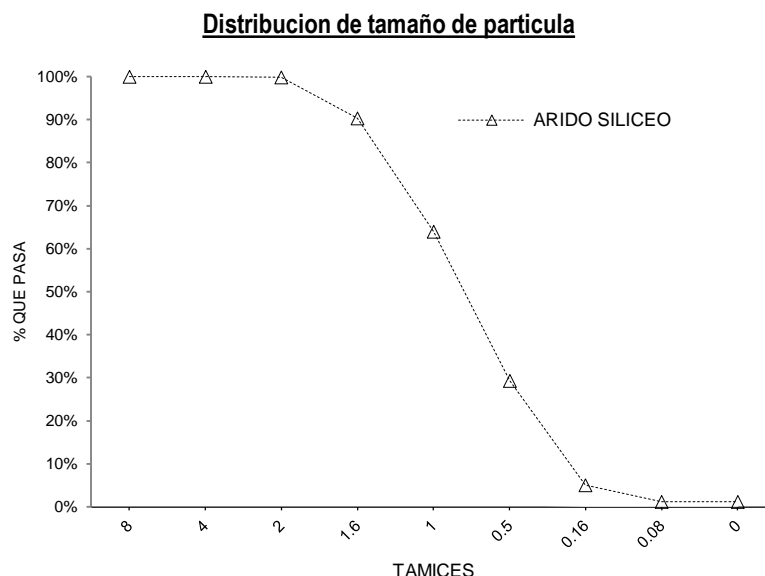


Fig. 2. Distribuciones de tamaño de partículas para árido silíceo, en comparación con arena norma CEN (EN 196-1).

Los morteros de CP con EC fueron elaborados en función del contenido en porcentaje de EC (EC15 y EC45) que corresponden a una sustitución de CP por EC del 15% y 45% en peso, respectivamente. Para resaltar aún más las propiedades de los morteros, se hizo un mortero control (CTRL) sin EC. En la tabla 2 se muestra un resumen de las dosificaciones de los morteros fabricados.

Tabla 2. Dosificaciones de los morteros.

TIPO	CP (g)	EC (g)	AGUA (0,4 / 0,45) (g)	ARIDO (g)
CTRL4	450	0	202.50	1350
CTRL45			180.00	
EC15-4	382.5	67.5	202.50	
EC45-4	247.5	202.5	180.00	
EC15-45	382.5	67.5		
EC45-45	247.5	202.5		

2.2 Procedimientos y pruebas.

Se evaluó la reactividad puzolánica de las EC por el método conductimétrico [12]. La técnica consiste en medir la evolución del pH y la conductividad eléctrica de mezclas de Hidróxido de Calcio CH y puzolanas reactivas a diferentes proporciones de CH/EC (1/10, 0,05/9,5, 1/9, 1,5/8,5, 2/8, 2,5/7,5, 3/7 y 10/0) durante 168 h. La reducción del pH y de la conductividad eléctrica muestra la insaturación de la suspensión con respecto al CH, mostrando el

progreso de la reacción puzolánica. Las lecturas de pH y conductividad eléctrica se realizan inicialmente a 0, 4 y 8 h, y luego cada 24 horas. La variación de pH y conductividad eléctrica de las mezclas (1 gramo en total, en 50 mL de agua desionizada dentro de un matraz Erlenmeyer sellado) se evalúa a una temperatura de 60°C. Las diferentes suspensiones contenidas en los matraces, deben estar permanentemente en agitación para favorecer el contacto entre las partículas molidas de EC y el CH. En este ensayo se usó un pHmetro Crison micro PH2001, un conductímetro Crison micro CM2201 y un baño de agua termostático con agitación Julabo- SW22, rango de 20 a 99.9°C.

La determinación de la trabajabilidad se realiza según el procedimiento descrito en la norma EN 196-1 [13] y EN 1015-3 [15] el valor de escurrimiento se determina por el valor medio de tres lecturas en cada amasada.

La trabajabilidad es una propiedad compleja y de evaluación subjetiva, siendo resultado de la conjunción de otras propiedades del material en estado fresco tales como plasticidad, consistencia, retención y exudación de agua, masa específica, cohesión interna, adhesión y velocidad de endurecimiento. [16]

Se realizó dos amasadas por cada tipo de mortero, con cantidad suficiente para confeccionar 3 probetas de 40x40x160 mm³. Las probetas se conservaron en una cámara húmeda, a 20 ° C y 100% de humedad relativa durante 28 días. Se obtuvo la resistencia mecánica, en el entorno de control de desplazamiento a una velocidad de 1 mm / min, con una máquina de ensayo universal (Instron modelo 3382).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se han caracterizado propiedades físicas y mecánicas de composites con base de cemento portland y EC.

3.1 Reactividad puzolánica de las escorias de cobre

Siguiendo la metodología descrita en el apartado anterior, para la evaluación de la reactividad puzolánica de las EC en función de la variación del pH y conductividad eléctrica, se fijaron las diferentes concentraciones de las suspensiones CH/EC: 0/10, 0.05/9.5, 1/9, 1.5/8.5, 2/8, 2.5/7.5 y 3/7.

En todas las evaluaciones de la reactividad de las EC se optó por realizar el ensayo a temperatura de 60°C.

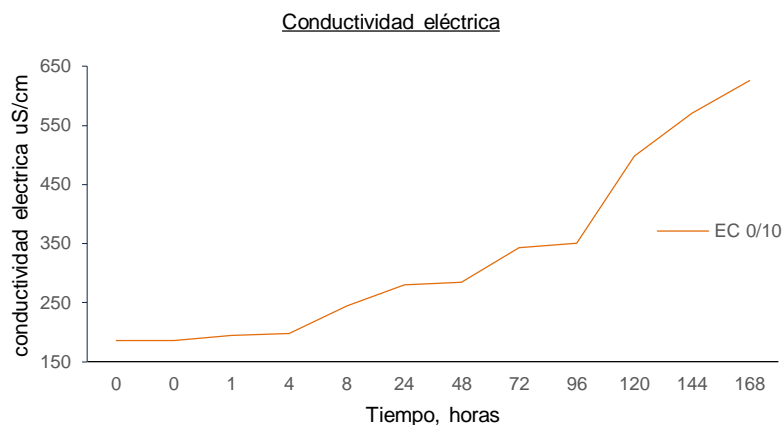


Fig. 3. Medidas de conductividad eléctrica de suspensiones 0/10 a 60°C.

En la Figura 3 se pone de manifiesto que las suspensiones con EC aumentan la conductividad eléctrica casi en forma continua al tiempo transcurrido en el ensayo. Este aumento sugiere una contribución de iones a la solución a partir de sales solubles de la EC.

A una temperatura de ensayo de 60°C (Figura 4 y figura 5) se aprecia un mayor descenso de la conductividad para las suspensiones trabajadas.

De forma general se constata que para la experiencia realizada a 60°C, se presentan entre las proporciones de CH/EC usadas, un consumo de la cal, que hace disminuir el pH de 12 a 11

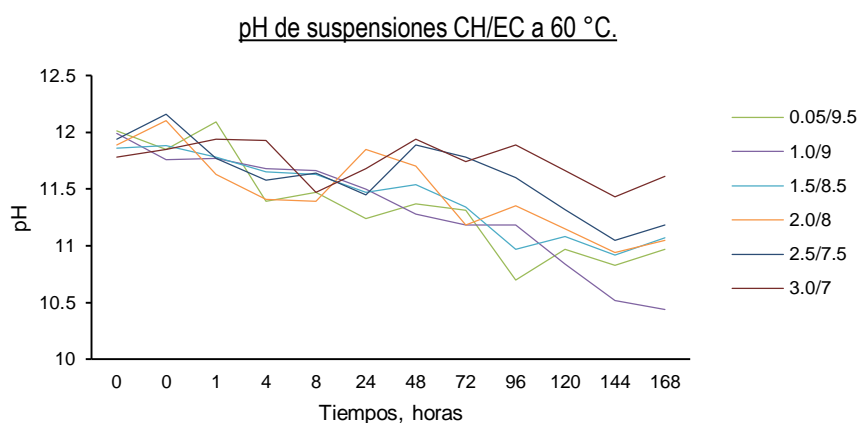


Fig. 4. Medidas de y pH a 60°C.

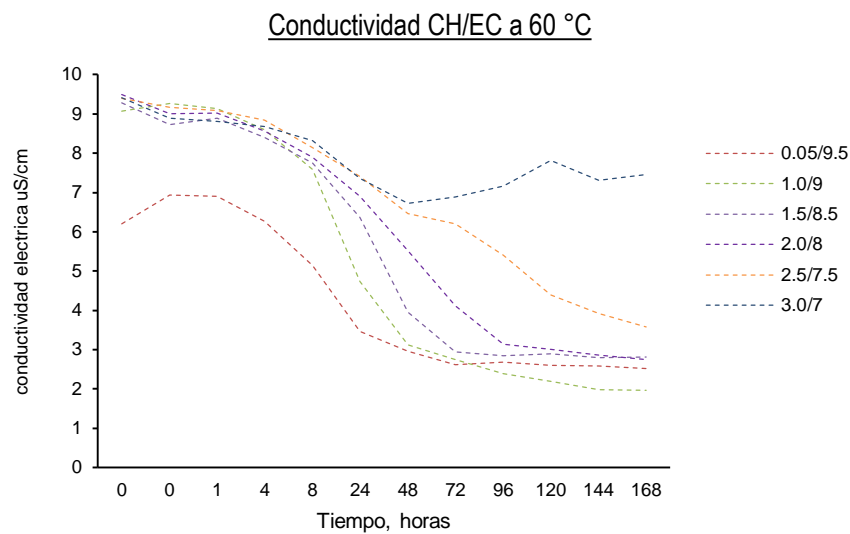


Fig. 5. Medidas de conductividad eléctrica de suspensiones a 60°C.

3.2 Determinación de la trabajabilidad

En los ensayos de trabajabilidad realizados a los morteros de CP usando EC en sustitución de 15 Y 45% de CP, observamos en la Figura 6 los valores de escurrimiento (E) frente al porcentaje de sustitución de CP por EC, donde se ve un incremento del escurrimiento a medida que se incrementa el porcentaje de EC.

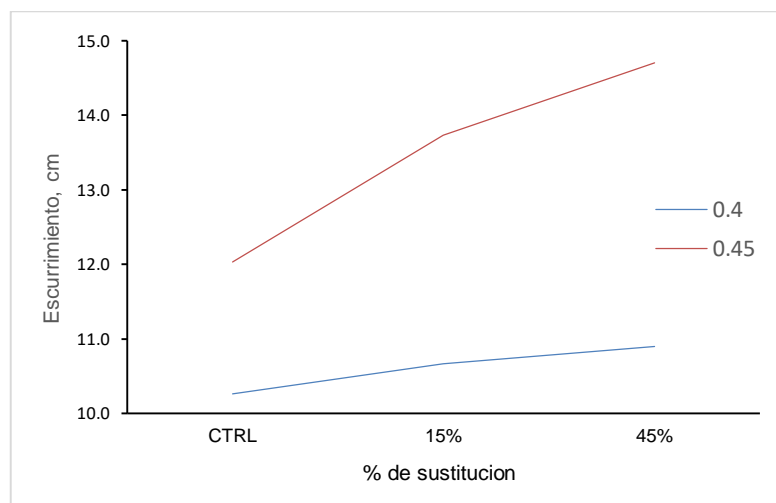


Fig. 6 . Valores de escurrimiento (E) de morteros elaborados con EC.

3.3. Propiedades mecánicas

En las figuras 7 y 8 se incluyen los valores de resistencia a flexión y a compresión de los morteros fabricados con CP y sustitución de 15% y 45% de EC. Los resultados muestran que la incorporación de EC causa una ligera pérdida sobre las resistencias mecánicas. En los resultados obtenidos para las resistencias a flexión, los valores

alcanzados son muy similares, puesto que fluctúan entre 7 y 8 MPa, no influyendo incluso la relación agua conglomerante.

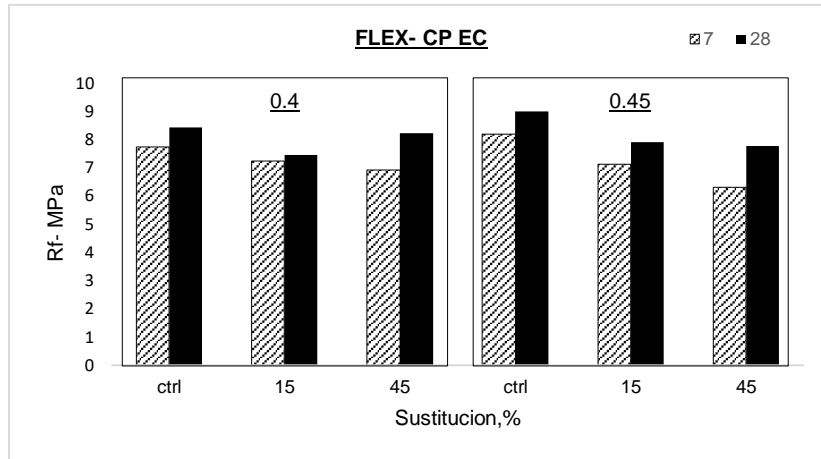


Fig. 7. Rf de morteros de CP con EC.

En los resultados de las resistencias a compresión, los resultados son más alentadores, puesto que el detrimento que se genera con la sustitución de CP por EC es de unos 10 MPa aproximadamente respecto a los morteros control. La relación agua conglomerante tampoco afecta con valores relevantes en las resistencias alcanzadas. Estos resultados ponen de manifiesto que usar EC dentro de morteros de base CP puede abrir una alternativa en la fabricación de estos materiales

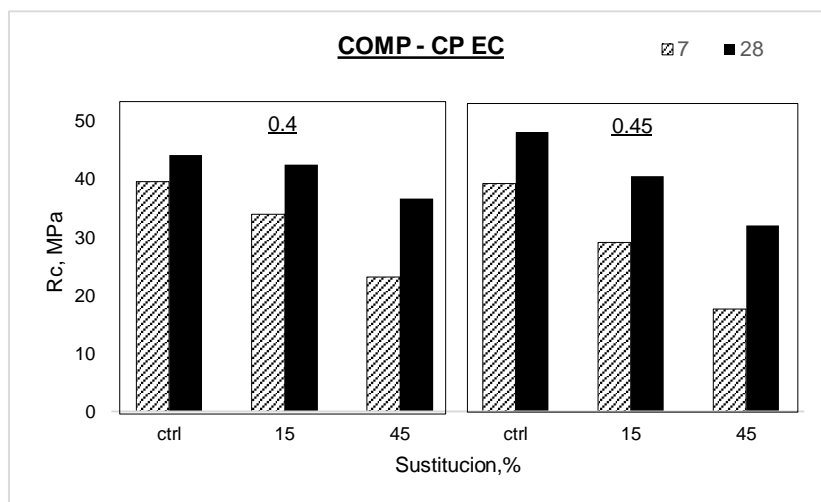


Fig. 8. Rc de morteros de CP con EC.

4. CONCLUSIONES

- (1) El uso de EC como sustitución del CP en la fabricación del mortero, alcanzo buenas resistencias mecánicas con respecto al mortero CTRL de referencia.
- (2) La resistencia a la compresión de morteros que contienen EC varió de 32 a 42 MPa. Las propiedades mecánicas disminuyeron a medida que la EC se incrementó en cada una de las muestras.
- (3) Los resultados de trabajabilidad y escurrimiento, muestran que la incorporación de la EC aumenta el escurrimiento en el mortero, haciendo más fluida la mezcla
- (4) Una puzolana, se considera reactiva cuando ocurre la insaturación de la suspensión CH/EC. En general, podemos concluir que todas las EC estudiadas, poseen reactividad puzolánica, especialmente a temperaturas de 60°C y con proporciones bajas de CH.

REFERENCIAS

- [1] T. G. Goonan, "Flows of Selected Materials Associated with World Copper Smelting", U.S. Geological Survey, Virginia, 2005.
- [2] Nazari, A., Sanjayan, J.G., 2015. Synthesis of geopolymer from industrial wastes. J. Clean. Prod. 99, 297e304.
- [3] (Thomas y Gupta, 2013; Mithun y Narasimhan, 2015)
Thomas, B.S., Gupta, R.C., 2013. Mechanical properties and durability characteristics of concrete containing solid waste materials. J. Clean. Prod.
- [4] (Hassan y Al-Jabri, 2011)
Hassan, H., Al-Jabri, K., 2011. Laboratory evaluation of hot-mix asphalt concrete containing copper slag aggregate. J. Mater. Civ. Eng. (ASCE) 23, 879e885.
- [5] (Kambham et al., 2007)
Kambham, K., Sangameswaran, S., Datar, S.R., Kura, B., 2007. Copper slag: optimization of productivity and consumption for cleaner production in dry abrasive blasting. J. Clean. Prod. 15, 465e473.
- [6] Shi y Qian, 2000; Moura and Coutinho, 2004; Zain et al., 2004; Al-Jabri et al., 2006; Moura et al. , 2007; Taha et al., 2007; S_anchez de Rojas et al., 2008; Brindha et al., 2010; Chew and Bharati, 2010; Brindha and Nagan, 2011; Najimi et al., 2011; Peyronnard and Benzaazoua, 2011)
- [7] (Ari ~ no y Mobasher, 1999; Chockalingam et al., 2013; García Medina et al., 2006; Gorai et al., 2003; Kosmatka

et al., 2003)

[8] (Shi y Qian, 2000; Moura and Coutinho, 2004; Zain et al., 2004; Al-Jabri et al., 2006; Moura et al. , 2007; Taha et al., 2007; S_anchez de Rojas et al., 2008; Brindha et al., 2010; Chew and Bharati, 2010; Brindha and Nagan, 2011; Najimi et al., 2011; Peyronnard and Benzaazoua, 2011)

[9] A. Nazer, J. Payá, M. V. Borrachero, y J. Monzó, "Use of ancient copper slags in Portland cement and alkali activated cement matrices.", J. Environ.

Manage., vol. 167, pp. 115–123, feb. 2016.

[10] Deja, J., Malolepszy, J., 1989. Resistance of alkali-activated slag mortars to chloride solution. In: Third International Conference Proceedings. Fly Ash, Silica Fume, Slag, and Natural Pozzolans in Concrete. American Concrete Institute, Trondheim, Norway, pp. 1547e1563.

[11] Piatak, N.M., Seal II, R.R., Hammarstrom, J.M., 2004. Mineralogical and geochemical controls on the release of trace elements from slag produced by base- and precious-metal smelting at abandoned mine sites. Appl. Geochem. 19, 1039e1064.

[12] UNE-EN 197-1 2011, 2011. Cement e Part 1: Composition, Specifications and Conformity Criteria for Common Cements.

[13] UNE-EN 196-1 2005, 2005. Methods of Testing Cement e Part 1, Determination of Strength.

[14] M. Tashima, L. Soriano, J. Monzó, M. Borrachero, J. Akasaki, y J. Payá, "New method to assess the pozzolanic reactivity of mineral admixtures by means of pH and electrical conductivity measurements in lime: pozzolan suspensions", Mater. Construcción; Vol 64, No 316, vol. 64, no 316, pp. 1–12, 2014.

[15] "UNE-EN1015-3 Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 3: Determinación de la consistencia del mortero fresco (por la mesa de sacudidas)," 2000.

[16] J. N. Eiras, "Diseño de mezclas cementantes con residuos de neumáticos para la obtención de materiales ligeros y aislantes. Tesis de Máster, Universitat Politècnica de València, Valencia, España."