

PROPIEDADES DEL CONCRETO CON SUSTITUCIÓN DE ESCORIA DE HORNO DE CUBILOTE COMO AGREGADO FINO Y ESCORIA GRANULADA

Ricardo Cruz¹, Ludwing Pérez², Darío Acosta^{3} Keeeylin Castillo³.*

- 1: Ingeniero Civil, Dr., Profesor, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia
2: Ingeniero Civil, MsC., Profesor, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia
3: Estudiante Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia

* Contacto: dario.acru@hotmail.com

RESUMEN

En este trabajo se propone el uso de la escoria producida en un horno de cubilote para la fabricación de concreto aligerado. Se evaluaron las propiedades de un concreto con sustitución del 30% de arena por escoria triturada de horno de cubilote (EHC) y agregado grueso por escoria granulada en diferentes proporciones (0%, 50%, 75% y 100%). Se caracterizó la EHC industrial respecto a su granulometría, densidad, absorción, ensayo de energía dispersiva espectroscópica de Rayos X (EDX) y pruebas de difracción de Rayos X (DRX). Se evaluó el comportamiento del concreto modificado (CM) diseñado para una resistencia a la compresión de 21 MPa. Se realizaron las siguientes pruebas al concreto en estado fresco y en estado endurecido: Resistencia a la compresión, absorción, masa unitaria y densidad. El CM se puede catalogar como liviano para porcentajes superiores al 50% de sustitución. Las resistencias a la compresión encontradas para las sustituciones entre el 50 y el 100% varían entre los 15 y los 13 MPa.

Palabras Clave: *Agregado fino, Escoria de horno de cubilote (EHC), Concreto modificado (CM), Concreto liviano.*

ABSTRACT

In this work we propose the use of slag produced in a cupola furnace by the manufacture of lightweight concrete. The properties were evaluated with a particular substitution of 30% of a ground slag sand shaft furnace (EHC) and a granulated slag coarse aggregate in different proportions (0%, 50%, 75%, and 100%). Industrial EHC was characterized according to its granulometry, density, absorption, energy dispersive assay X-ray spectroscopy (EDX) and test X-ray diffraction (XRD). It was specifically assessed the behavior of the modified concrete (CM) designed for a compressive strength of 21 MPa. The following tests were performed to concrete in fresh and hardened state: compressive strength, absorption, unit weight and density. The CM can be classified as light to percentages above 50% of substitution. The compressive strengths for substitutions found between 50 and 100% ranging between 15 and 13 MPa.

Keywords: *Fine aggregate, Cupola furnace slag (EHC), Modified concrete (CM), Lightweight concrete.*

1 INTRODUCCIÓN

La industria del sector metalúrgico es una de las grandes productoras de residuos de todo tipo. Particularmente, la industria metal mecánica produce grandes cantidades de desechos sólidos como la escoria de horno de cubilote, que es uno de los materiales de mayor utilización como agregado fino y como material cementante [1]-[2]. Estos desechos requieren de su almacenamiento en la planta ocasionando reducción de espacio a la empresa y su posterior eliminación generando un problema ambiental. Por otro lado la industria de la construcción requiere cada vez más de productos de menor costo y apropiadas características para la fabricación de elementos [3]. En este sentido, se realizó la caracterización física de la EHC y de las propiedades físico-mecánicas del CM y se comparó con el CC.

2 DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.1 Materiales y ensayos

La EHC para ser usada como agregado fino se trituro en la Máquina de los Ángeles y fraccionada manualmente hasta reducir el tamaño de las partículas a $\frac{3}{4}$ " (19,1 mm) para ser sustituida como agregado grueso. Para determinar la densidad y absorción de la escoria se utilizó el procedimiento descrito en la NTC 237 [4], que cubre la densidad aparente, la densidad nominal y el porcentaje de absorción. La caracterización química de la materia prima se ejecutó mediante el ensayo de energía dispersiva espectroscópica de rayos X (EDX) y pruebas de difracción de Rayos X (DRX), aplicadas a tres muestras tomadas al azar de EHC.

El CM se diseñó siguiendo el método ACI 211 [5]. Las probetas se elaboraron y curaron en agua por un periodo de 28 días, siguiendo las recomendaciones de la norma técnica colombiana NTC 1377 [6]. El ensayo a compresión se realizó siguiendo los lineamientos de la NTC 673 [7] para probetas cilíndricas, utilizando la máquina de ensayos MTS 647 Hydraulic Wedge Grip, mostrado en la Fig.1.



Figura 1. Ensayo de probetas a compresión.

La absorción del CM se determinó utilizando especímenes de cilíndricos de 10 cm de diámetro y 20 de altura. El espécimen se seca al horno a 110°C hasta obtener una masa seca constante (M_s). Enseguida, se pesa la muestra y se realiza su inmersión en agua tomando datos cada media hora

de la cantidad de agua que es absorbida. La absorción de agua (Aa) en porcentaje, se calculó mediante (1):

$$Aa\% = \Delta \text{Volumen} / (\text{Volumen Total}) * 100\% \quad (1)$$

Para determinar la densidad del CM en estado endurecido, se sumerge el espécimen en agua durante un periodo de 24 horas, luego se seca superficialmente y se pesa, obteniéndose Mh. El pesaje del espécimen saturado se realizó en una cesta de malla, previamente pesada y suspendida en agua para obtener la masa Ma. Seguidamente se secó en un horno a una temperatura constante de 110 °C para luego pesarlas y obtener masa seca Ms. Con estos valores se calcula la densidad del material aplicando la ecuación (2).

$$\text{Densidad (D), Kg/m}^3 = [Ms / Mh - Ma] * 1000 \quad (2)$$

El cálculo de la masa unitaria del concreto en estado fresco se determinó utilizando la ecuación (3) que se muestra a continuación:

$$D(\text{Kg}) = [Mc - Mm] / Vm \quad (3)$$

Donde, D es la masa unitaria del concreto, Mc es la masa del recipiente lleno con concreto, Mm es la masa del recipiente y Vm es el volumen del recipiente. [8] [9]

2.2 Resultados y análisis

La escoria como agregado fino posee un porcentaje de absorción de 0.85%, valor considerado muy bajo. Su humedad natural es de 0.33%, valor igualmente bajo, sin embargo, no afecta el diseño de la mezcla por saturación de los poros.

Según el EDX, los elementos principales que componen la escoria de horno de cubilote son silicio y calcio, también presentes en el concreto simple, por lo que, a priori, son materiales compatibles. Mediante el método DRX se muestra que las fases de la EHC no influyen cualitativamente en la conformación de fases principales del MC, sin embargo, contribuye al aumento de sílice en forma de agregado.

La de resistencia a la compresión del concreto modificado a 28 días de curado se muestra en la Fig. 2, donde se observa una disminución en la resistencia a compresión del CM con el aumento en la sustitución del agregado grueso por escoria granulada, muy diferente a lo mostrado por el CC.

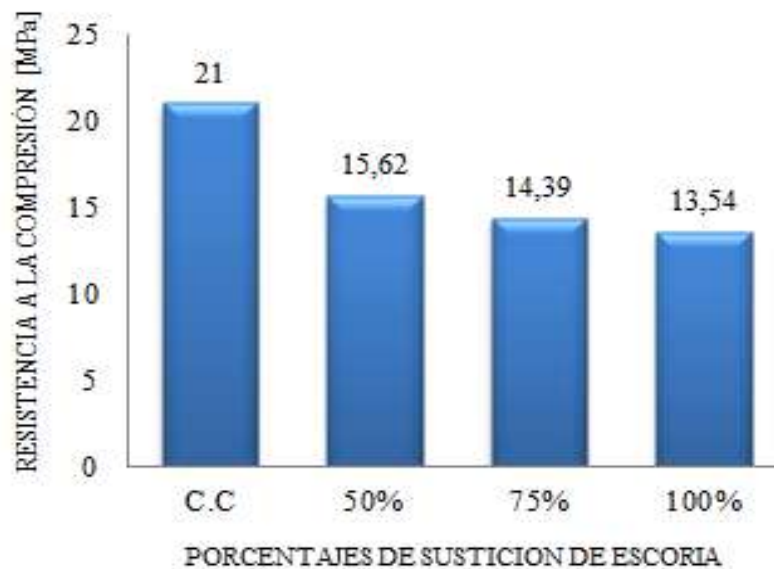


Figura 2. Resistencia a la compresión del CM según el porcentaje de sustitución.

Las sustituciones de 50%, 75 % y 100% de agregado grueso presentaron solo el 74.38%, 68.52% y 64.48% de la resistencia de diseño respectivamente.

En la figura 3 se presentan los resultados del ensayo de absorción, en porcentaje, para los concretos evaluados, mostrando el CM valores superiores respecto al CC. Se puede observar que el CM con menor sustitución absorbe en mayor medida que los de mayor sustitución. A pesar de la mayor porosidad del CM con mayor sustitución presenta menor absorción posiblemente por la composición vítrea de la escoria.

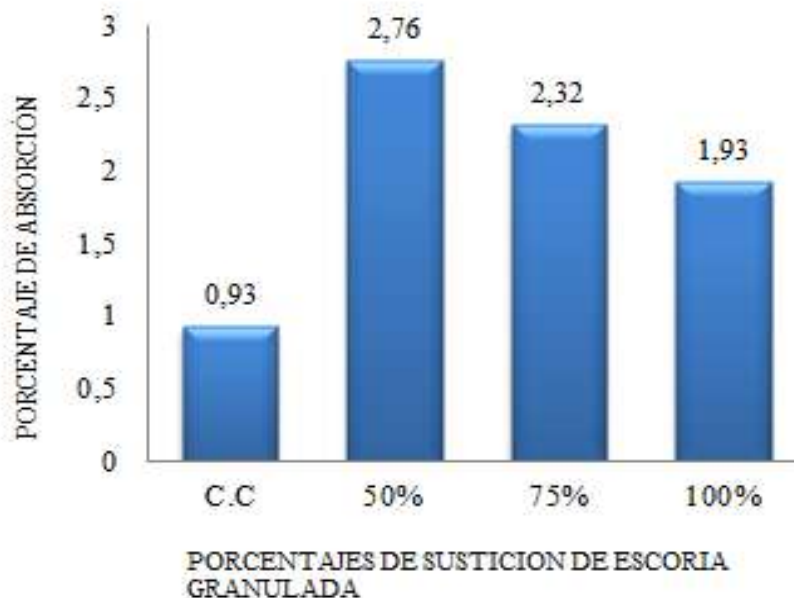


Figura 3. Porcentaje de absorción, según el porcentaje de sustitución.

La densidad del CM disminuye con el mayor grado de sustitución de agregado grueso por escoria granulada, presentándose una diferencia de 684.1 Kg/m³ entre el 0% y el 100% de sustitución.

Tabla 1. Densidad del material endurecido.

Porcentaje de sustitución de escoria granulada	C.C	50%	75%	100%
Densidad del material endurecido [Kg/m ³]	2291.35	1983.84	1762.73	1607.25

De acuerdo a la masa unitaria, el CM con sustituciones del 0% y 50% se pueden clasificar como concretos de peso normal, mientras que los CM con sustituciones del 75% al 100% se consideran concretos ligeros. Los datos de masa unitaria se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Masa unitaria del CM

Porcentaje de sustitución de escoria granulada	C.C	50%	75%	100%
Masa unitaria [Kg/m ³]	2241.57	2010.86	1869.70	1752.43

3 CONCLUSIONES

La escoria de horno de cubilote la componen principalmente elementos de silicio y calcio que están igualmente presentes en el cemento, y por lo tanto estarán también presentes en un concreto convencional. Estos elementos no influyen cualitativamente en la conformación de las fases principales del material compuesto. La escoria es un material vítreo, poroso y de bajo peso específico, propiedad que influye en el peso del CM a medida que la sustitución aumenta. Con el aumento del porcentaje de sustitución, la manejabilidad del CM disminuye debido a la gran cantidad de líquido absorbido. Tanta absorción requiere mayor agua para el fraguado, lo cual puede afectar significativamente las propiedades físico-mecánicas del CM con el aumento de la sustitución.

Del ensayo a compresión realizado al CM, se puede concluir que la resistencia disminuye al aumentar el porcentaje de sustitución de agregado grueso por escoria granulada, lo cual pudo ser ocasionado por la porosidad de la EHC, la actividad puzzolanica, el grado de vitrificación y la fragilidad del material de reemplazo.

Los resultados obtenidos del ensayo de densidades en el CM en estado endurecido muestran que a mayor sustitución de escoria granulada, el material es menos denso, que pudo ser originado por su bajo peso y la temperatura del horno de procedencia.

En el ensayo de masa unitaria aplicado al CM en estado fresco, se encontró que el concreto se clasifica como concreto normal para las sustituciones de escoria granulada en 0% y 50% y como concreto ligero para los remplazos de 75% y 100%.

De acuerdo al ensayo de absorción se puede concluir que el CM con menor sustitución presenta mayor absorción que aquel con mayor sustitución, lo cual puede deberse a la composición vítrea de la escoria que rechaza la humedad.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Etxeberria M, Pacheco C, Meneses J.M y I. Berridi, “Properties of concrete using metallurgical industrial by-products as aggregates, construction and building materials”, pp. 1594–1600, 2010.
2. T. Naik. “Greener concrete using recycled materials”, *Concrete International*, vol. 24, no. 7, pp. 45-49, Julio 2002.
3. L. Amaral de Lima, “Hormigones con escorias de horno eléctrico como áridos: Propiedades, durabilidad y comportamiento ambiental”, Ph.D. thesis, Barcelona España, Universidad Politécnica de Cataluña, 265 p, 1999.
4. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación NTC 237, “Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino”, Colombia, 1995.
5. ACI COMMITTEE 211. “Recommended Practice for Selecting Proportions for Normal Weight Concrete”, Michigan, Farmington Hills, 1998.
6. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación NTC 1377, “Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio”, Colombia, 1994.
7. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación NTC 673, “Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto”, Colombia, 2010
8. Asocreto, “Tecnología del Concreto, Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas”, Santa Fe de Bogotá, Colombia, Nomos impresores, 2010.
9. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, “Conceptos Básicos del Concreto: Propiedades del Concreto”, [Documento electrónico]. México D.F., Julio. 2004 <<http://www.imcyc.com/cyt/julio04/CONCEPTOS.pdf>>.