



NUEVAS REALIDADES PARA LA EDUCACIÓN EN INGENIERÍA:  
CURRÍCULO, TECNOLOGÍA, MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

13 - 16  
DE SEPTIEMBRE

2022

CARTAGENA DE INDIAS,  
COLOMBIA



# **Evaluación de algunas propiedades físico-mecánicas en muestras cilíndricas de concreto estructural con sustitución de 5%, 10% y 15% de cemento por escoria de siderurgia**

**Yudy Alejandra Buitrago Muñoz**

**Fundación Universitaria Juan de Castellanos  
Tunja, Colombia**

## **Resumen**

En el presente trabajo se evaluaron algunas propiedades físico-mecánicas en muestras cilíndricas de concreto con sustitución de 5%, 10% y 15% de cemento por escoria de siderurgia. Primero, se obtuvieron algunos residuos subproducto de algunas industrias de la región de Boyacá con el fin de caracterizarlos y elegir el más adecuado para sustituir el cemento en mezclas de concreto. Los residuos que se caracterizaron fueron, ceniza de termoeléctrica, escorias de siderurgia, cascara de huevo natural, cascara de huevo calcinada y cenizas provenientes de la fabricación del ladrillo.

Luego, los residuos elegidos se caracterizaron física y químicamente. La caracterización física se realizó mediante el ensayo de densidad; mientras que, la caracterización química se realizó mediante actividad puzolánica. Según los resultados obtenidos el residuo más adecuado para sustituir al cemento fue la escoria de siderurgia. Los valores obtenidos para este residuo fueron de, 2.62 g/cm<sup>3</sup> para la densidad y 1877.600 mg para la actividad puzolánica. Pese a que los valores obtenidos difieren con los del cemento, la escoria presentó la mayor actividad puzolánica mostrando la posibilidad de reaccionar con el cemento.

Después de elegir el residuo a implementar se agregó a la mezcla de concreto. Se realizaron 36 cilindros de concreto y a estos se le midió la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días. Los resultados mostraron que para 7 días con 5% obtuvo una resistencia de 29MPa, para 14 días con 5% obtuvo una resistencia de 31.3 MPa, para 28 días con 5% obtuvo una resistencia de 33.5; en cambio para las muestras patrón se obtuvieron los siguientes resultados: para 7 días obtuvo una resistencia de 30 MPa, para 14 días obtuvo una resistencia de 33.5 MPa, para 28 días obtuvo

una resistencia de 38.6 MPa. Los resultados obtenidos mostraron que a medida que se aumenta el porcentaje de escoria la resistencia a la compresión disminuye a edades mayores.

Por otro lado, se recomienda trabajar la escoria de siderurgia en un tamaño menor de 45 micras para que las propiedades del concreto no se vean tan afectadas, ya que en la revisión del estado del arte si aumentaba la resistencia ya que el tamaño de su partícula era del mismo tamaño de la del cemento, al hacer el ensayo se comprobó que la partícula más grande disminuye la resistencia.

**Palabras clave:** escoria de siderurgia; resistencia a la compresión; concreto; actividad pozzolánica

### **Abstract**

*In this work, some physical-mechanical properties were evaluated in cylindrical concrete samples with substitution of 5%, 10%, and 15% of cement by siderurgy slag. First, some by-product residues, from some industries in the Boyacá region, were obtained in order to characterize them and choose the most suitable one to replace cement in concrete mixtures. The residues that were characterized were thermoelectric ash, siderurgy slag, natural eggshell, calcined eggshell, and ashes from brick manufacturing.*

*Then, the chosen residues were characterized physically and chemically. The physical characterization was carried out by means of a density test; while, the chemical characterization was carried out by means of pozzolanic activity. According to the results obtained, the most suitable residue to replace cement was siderurgy slag. The values obtained for this residue were 2.62 g/cm<sup>3</sup> for density and 1877.600 mg for pozzolanic activity. Although the values obtained differ from those of the cement, the slag presented the highest pozzolanic activity, showing the possibility of reacting with the cement.*

*After choosing the residue to be implemented, it was added to the concrete mix. 36 concrete cylinders were made and their compressive strength was measured at 7, 14, and 28 days. The results showed that for 7 days with 5% of siderurgy slang, it obtained a resistance of 29 MPa, for 14 days with 5% it obtained a resistance of 31.3 MPa, and for 28 days with 5% it obtained a resistance of 33.5 MPa; instead, for the standard samples, the following results were obtained: for 7 days it obtained a resistance of 30 MPa, for 14 days it obtained a resistance of 33.5 MPa, and for 28 days it obtained a resistance of 38.6 MPa. The results obtained showed that as the percentage of slag increases, the compressive strength decreases at older ages.*

*On the other hand, it is recommended to work the siderurgy slag in a size smaller than 45 microns so that the properties of the concrete are not so affected; since in the revision of the state of the art, the resistance increased due to the size of its particle was the same size as the cement. Nonetheless, when doing the test, it was found that the largest particle decreases the resistance.*

**Keywords:** slag of steelmaking; compressive strength; concrete; pozzolanic activity



## 1. Introducción

El cemento es el material más utilizado en el área de la construcción y debido a su naturaleza cuando entra en contacto con el agua se endurece. Así mismo, el cemento al mezclarse con agregado fino (arena) y agregado grueso (grava) conforman un material denominado concreto. Actualmente, el concreto es el material más importante en la construcción, sin embargo, genera contaminación del aire y existe la posibilidad de que las comunidades cercanas se enfermen por el dióxido de carbono. Según IEA la producción de cemento aumentará entre un 12% y un 23% para el año 2050, debido a que, este material libera media tonelada de dióxido de carbono por cada tonelada fabricada (IEA, 2017).

La utilización del concreto en el año 2021 generó 451.250 toneladas de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) a comparación del año 2020 en el cual se generaron 518.220 toneladas de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), cada año aumenta la contaminación en un 12% (DANE, 2021). Por otro lado, (Rojas, Otálvaro, Perez, Benavides, & Fregoso, 2021) encontraron un 8% en la generación de emisiones de gases de efecto invernadero. Por tal motivo, se están estudiando materiales alternativos para sustituir el cemento en las mezclas de concreto, y de esta manera reducir la contaminación sin afectar las propiedades del concreto.

Algunos de estos materiales alternativos son cenizas de termoeléctrica, huevo calcinada y natural, desechos agroindustriales, desechos reciclables como vidrio, plástico, entre otros. También se encuentran las escorias de siderúrgica, las cuales son desechadas sin darles un uso adecuado y afectan al medio ambiente. Por ejemplo, el objetivo de una investigación fue mejorar la resistencia de los cilindros de concreto utilizando la sustitución de escorias de siderúrgica de alto horno en diferentes porcentajes como 15, 20, 25 y 30%, se pudo determinar que el mejoramiento de las resistencia alcanzo un 15% más que en las muestras patrón de 21 MPa, llegó a sus 28 días a 24,5 MPa y su propiedad fresca tiempo de fraguado no la altero (Suárez Hincapie, 2019).

Por otro lado, en otro estudio se investigó el comportamiento de las escorias de siderúrgica como un agregado remplazando así la grava, sus resultados son buenos ya que este material por su composición química ayudo a mejorar las propiedades de los cilindros hasta un 100% en el reemplazo de a grava (ARAQUE & GARCÍA, 2010). En otro trabajo, se implementó el material de escoria ferroníquel como el agregado fino, de esta manera remplazando arena lavada por una dosificación del 5% de escoria, se pudo establecer que, en el concreto, puede ser implementada, ya que alcanza a la resistencia esperada de 21MPa (García, Bello, & Pardo, 2020).

A su vez, otro estudio propuso como una opción usar la escoria de siderurgia como agregado grueso en la elaboración de cilindros de concretos, con el fin de mitigar el impacto ambiental que produce este residuo. En este trabajo se utilizó la Ecogravilla (escoria de siderúrgica) a través de la sustitución de la piedra en porcentajes de 20%, 35%, 50% y 65%. Luego se analizó el impacto en su resistencia a la compresión, en la cual se pudo analizar que este material puede mantener la resistencia hasta en su 100% (Corcuera & Vela, 2018).



Se realizaron diferentes ensayos a varios materiales los cuáles fueron: ceniza de termoeléctrica, cascara de huevo calcinada, cascara de huevo natural, ceniza de ladrilleras y escoria de siderurgia. Se escogió el mejor material según los resultados obtenidos en esta caracterización. De esta manera en este proyecto se planteó la utilización de escorias de siderúrgica para sustituir un porcentaje de cemento al 5%, 10% y 15% con el objetivo de estudiar las propiedades físico-mecánicas de muestras cilíndricas de concreto, ya que es el material que cumple con el cemento.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Residuos analizados

La caracterización de los materiales es importante ya que de ello depende su funcionamiento en la mezcla de concreto. Para esta investigación se hizo la caracterización de seis materiales y se escogió el material que más cumplía con las características del cemento, estos materiales fueron: Escorias de siderúrgica, Ladrillera de Maguncia, Ladrillera de Pírgua, Cascara de huevo calcinada y sin calcinar, Ceniza de termoeléctrica. Los ensayos físicos que se le realizo a cada muestra de material fueron: ensayo de densidad, ensayo de granulometría, ensayo de finura y el ensayo químico evaluación de la actividad puzolánica.

#### 2.1.1. Ensayo de Densidad

La densidad del cemento es la relación entre la masa de una cantidad de cemento y el volumen absoluto de esa masa su valor varía muy poco y en el cemento normal como el ensayado en la práctica de laboratorio suele estar muy cercano a  $3.15 \text{ g/cm}^3$  en caso de los cementos adicionados es menor porque el contenido clinker por tonelada de cemento de sinceridad y su valor normal es del orden de  $2.9 \text{ g/cm}^3$  (Hernández, 2010).

El ensayo de densidad lo rige la (INV-E-307-07, 2007), para este ensayo se utilizó un matraz de Echatelier y un embudo, 64 gramos del material a evaluar en este caso de escoria y se llena el matraz con ACPM y luego se le agrega de a poquito el material sin que se pegue en las paredes del matraz, después de agregar todos los 64 gramos del material se tapa el matraz y se le saca todas las burbujas.

#### 2.1.2. Ensayo de finura

El ensayo de finura lo rige la (NTC33, 1997), está es una de las propiedades más importante del cemento ya que es el encargado de mejorar la velocidad de hidratación, el mejoramiento del calor de hidratación, la retracción, y ayuda a ganar mayor resistencia, puesto que un cemento se caracteriza por tener grano fino y de esta manera puede ser hidratado con mayor facilidad. Este parámetro es definido a través del método de finura con el aparato de Blaine. Este ensayo consiste en la medición del tiempo el cual necesita para trasladar una cantidad de aire por las partículas de un material, la cual tiene una densidad conocida, a este recorrido se le llama superficie específica y es expresado en  $\text{cm}^2/\text{gr}$ .



### 2.1.3. Ensayo granulometría

El ensayo de densidad lo rige la (NTC77, 2007), este ensayo se hizo para separar las partículas más grandes de las más pequeñas, teniendo en cuenta que este material debe estar seco para poder pasarlo por el tamiz y de esta manera poder conocer que material tiene un mayor porcentaje de retención en el tamiz No 200, de esta manera se determinó que el material que tiene más porcentaje de pasar por este tamiz son las escorias de siderúrgica.

### 2.1.4. Evaluación de la actividad puzolánica

Este ensayo mide la cantidad de puzolanas que contiene cada material, en un Erlenmeyer de 50 ml de plástico se mezcló 1 g de puzolana, 1 g de CaO y 250 ml de agua libre de CO<sub>2</sub>, se tapa y se mezcla por 15 min, después de tener todos los Erlenmeyer marcados y mezclados estos se ubican en un baño maría a 90 °C durante 16 h. Una vez se termine el tiempo en el baño, se sacó las muestras y se dejó enfriar. A cada muestra se le agrego 250 ml de una solución de sacarosa la cual tuvo una concentración de 240 g/L y se mezcló durante 15 min. Después se filtró esta solución, se sacó 25 ml de la solución filtrada, y estas fueron tituladas con una pipeta de transferencia con solución de HCl 0.1 M, donde se utilizó fenolftaleína como indicador.

## 2.2. Concreto

Se utilizó cemento estructural argos, este es un material cementante y muy resistente, se realizaron los ensayos físicos como: densidad y finura. También se hizo una caracterización de los agregados gruesos y finos para el diseño de mezcla. Una de las propiedades principales del concreto es la resistencia puesto que la durabilidad y vida de las estructuras es notoria por esta propiedad (Claisse, 2016), esta propiedad se recomienda medir a diferentes edades de la siguiente manera: 24 horas, 3, 7, 14, 21, 28 y 90 días, el ensayo es regido por la (NTC673, 2010) (Norma Técnica Colombiana) Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto. Al obtener el concreto es necesario medir ciertas propiedades en estado fresco las cuales son: (NTC396, 1992) método para la medición del asentamiento del concreto.

### 2.2.1. Muestras cilíndricas

Se fabricaron cilindros de tamaño con un diámetro de 15 cm y una altura de 30 cm. En total se obtuvieron 36 cilindros los cuales se dividieron en 9 cilindros estándar, 27 cilindros modificados. La escoria con un tamaño de 0.0075 sirvió como sustitución en diferentes porcentajes en el cemento estructural. La mezcla fue modificada con un 5 %, 10 % y 15% de escoria. La tabla 1 muestra el total de material que se utilizó por muestra. Se utilizó una proporción de mezcla de 1:1:2 según la norma ACI 211.

Tabla 1 Cantidad de materiales utilizados para la realización de las muestras

Muestras	Porcentaje (%)	Agua (ml)	Arena (Kg)	Grava (Kg)	Cemento (Kg)	Escoria (Kg)
Cilindros estándar	0	205	23.0	46.0	22.680	0
Cilindros modificados	5	205	23.0	46.0	21.546	1.134
	10	205	23.0	46.0	20.412	2.268
	15	205	23.0	46.0	19.298	3.382



### 2.2.2. Prueba de resistencia a la compresión

Para obtener los análisis de la resistencia a la compresión de los cilindros de concreto se determinó utilizando la máquina universal, esta se encuentra en las instalaciones de la Fundación Universitaria Juan De Castellanos. Estas muestras fueron falladas a 7, 14, y 28 días después de haber sido realizadas. Se hizo 3 muestras de cada porcentaje para cada día, se hizo tres muestras patrón, tres muestras modificadas con 5%, tres muestras modificadas con 10%, y tres muestras modificadas con 15%.

## 3. Resultados

### 3.1. Residuos analizados

Después de realizar la caracterización a los 6 materiales, se escogió la escoria de siderurgia ya que es la que cumple con las características del cemento, la escoria se obtuvo de los residuos que tiene la siderurgia Diaco-Gerdau en Boyacá Colombia. Estas se almacenaron en lonas plásticas para su posterior uso, las cuales se guardaron en el laboratorio de la Fundación Universitaria Juan De Castellanos. Los ensayos realizados para este material fueron físicos como: densidad, granulometría, finura y ensayo químico como: actividad puzolánica.

#### 3.1.1. Ensayo de Densidad

En la presente tabla se pudo identificar los materiales a los cuales se le hicieron el ensayo de densidad para saber si es o no apta para reemplazar un porcentaje de cemento en el diseño de mezcla para las muestras cilíndricas.

Tabla 2 Densidad según cada material

Material	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
Ladrillera de Maguncia	2.84
Ladrillera Pírgua	2.73
Escorias de siderurgia	2.62
Ceniza de termoeléctrica	2.67
Cascara de huevo calcinada	2.98
Ceniza de cascara de huevo	3.28
Cemento	3.15

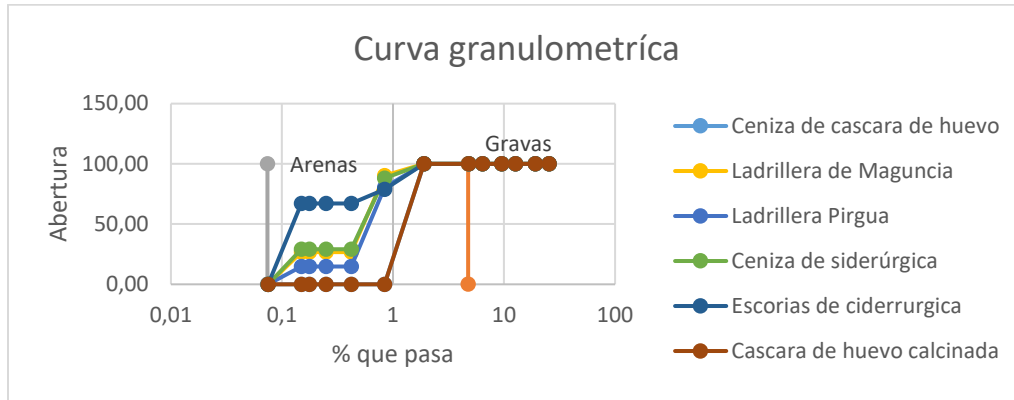
De esta manera se pudo determinar que la escoria de siderúrgica es la que tiene menor densidad a comparación de los demás residuos, esta densidad es de 2.62 g/cm<sup>3</sup> y el cemento tiene una densidad de 3.15 g/cm<sup>3</sup>.

#### 3.1.2. Ensayo de Granulometría

Se realizó este ensayo para los seis materiales utilizando 10000g y se tamizó para obtener el porcentaje que pasa por el tamiz #200, de esta manera se pudo identificar que el material más fino es la escoria de siderúrgica con un 67.16% de material recolectado por el tamiz, puesto que los otros materiales obtuvieron, L. Maguncia se pudo obtener 26.74%, L. Pírgua se pudo obtener 14.84%, Ceniza de termoeléctrica 65.20%, cascara de huevo calcina y ceniza de cascara de huevo obtuvieron 0%. De esta manera se pudo determinar que estos materiales en su mayoría son

arenas, sus partículas son grandes y se les dificulta pasar a ser finas, ya que si pasa más del 50% del material es fino y si pasa menos del 50% entonces es grueso.

Ilustración 1 Curva Granulométrica



### 3.1.3. Ensayo de Finura

En la presente ilustración se pudo ver que la escoria de siderúrgica tiene una finura de 3.31 ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ), y la del concreto tiene una finura de 3,150 ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ).

Tabla 3 Finura según cada material

Material	Finura ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )
Ladrillera de Maguncia	3,430
Ladrillera Pírgua	3,760
Escorias de siderurgia	3,540
Ceniza de termoeléctrica	3,100
Cascara de huevo calcinada	3,640
Ceniza de cascara de huevo	3,310
Cemento	3,150

### 3.1.4. Evaluación de la Actividad puzolánica

La actividad puzolánica o ensayo de Le Chatelier, muestra que cantidad de cal contiene un material para identificar si es o no apto para mejorar las propiedades de las muestras cilíndricas reemplazando unos porcentajes de cemento. En la tabla 11 se puede ver que la escoria de siderúrgica tiene 1877,6 g.

Tabla 4 Actividad puzolánica

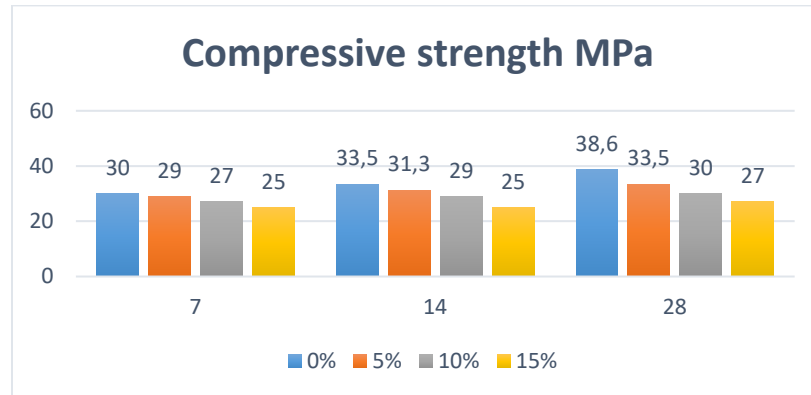
MUESTRA	Promedio
Maguncia	1861
Pírgua	1867
Siderúrgica	1877,6
Ceniza de termoeléctrica	1875
Cascara calcinada	1342
No calcinada	1298

## 3.2. Concreto

### 3.2.1. Muestras cilíndricas

Se realizaron 36 cilindros donde los cilindros de 0% o cilindros estándar durante su tiempo de fraguado estos aumentan su resistencia en cambio en los cilindros modificados o cilindros con porcentaje de 5, 10 y 15% de escoria aumentan, pero decrecen a comparación de los cilindros estándar, de esta manera se puede analizar que si disminuye la resistencia.

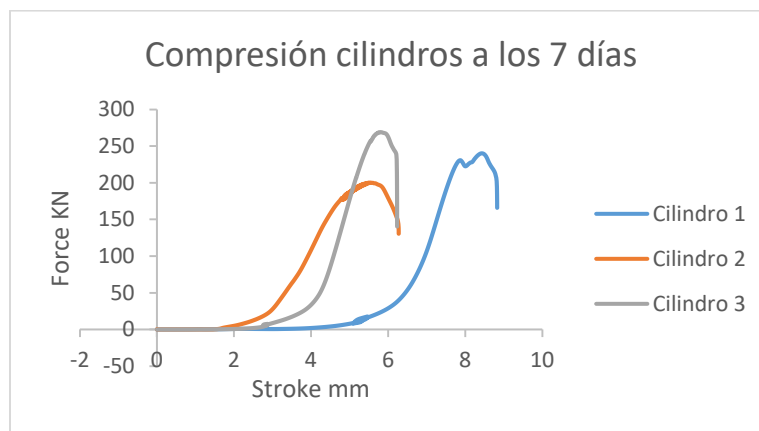
Ilustración 2 Esfuerzo de compresión de las muestras



### 3.2.2. Prueba de resistencia a la compresión

Después de hacer el diseño de mezcla se elaboraron 3 cilindros patrón en los cuales se tomaba en cuenta su asentamiento y resistencia a la edad de 7 días, el asentamiento obtenido fue de 5 cm y la edad de 7 días se obtuvo las siguientes resistencias: Sin1 7 días 13.5 MPa, Sin2 7 días 11.3 MPa y Sin3 7 días 15.2 MPa. En la siguiente grafica podemos ver el comportamiento de los cilindros.

Ilustración 3 Cilindros patrón a 7 días



Su slump es de 7.5 cm y su resistencia es de 15.3MPa correspondiente a 7 días.



Ilustración 4 Cilindros patrón fallados a los 7 días



Se observa que, a medida que aumenta el tiempo de fraguado, la resistencia va disminuyendo según los porcentajes mayores. Como lo indica la ilustración 1.

Se pudo determinar que para 7 días los cilindros estándar obtuvieron una resistencia de 30MPa en cambio la de 5% obtuvo una resistencia de 29MPa, para el 10% obtuvo una resistencia de 27MPa y el 15% obtuvo una resistencia de 25MPa.

Se pudo determinar que para 14 días los cilindros estándar obtuvieron una resistencia de 33,5MPa en cambio la de 5% obtuvo una resistencia de 31,3MPa, para el 10% obtuvo una resistencia de 29MPa y el 15% obtuvo una resistencia de 25MPa.

Se pudo determinar que para 21 días los cilindros estándar obtuvieron una resistencia de 38,6MPa en cambio la de 5% obtuvo una resistencia de 33,5MPa, para el 10% obtuvo una resistencia de 30MPa y el 15% obtuvo una resistencia de 27MPa.

#### 4. Discusión

En la caracterización de todos los materiales que se eligieron para hacer este análisis se pudo comprobar que las escorias de siderurgia cumplen con casi todos los parámetros del cemento para que este lo pueda sustituir, se realizaron varios ensayos físicos como: densidad donde se pudo comprobar que este material tiene 2.62 g/cm<sup>3</sup>, una finura de 3.540cm<sup>2</sup>/g y un ensayo químico de actividad puzolánica de 1877,6 g.

Se determinó que la resistencia a la compresión a la aumenta a porcentajes de sustitución mayores del 5 %, esto afectará la resistencia a la compresión durante su tiempo de fraguado. Por otro lado, el área específica afecta el comportamiento de la mezcla, ya que, si se utiliza una partícula con tamaño superior al del cemento afectará la hidratación del concreto, también deja un mayor espacio de aire en la distribución del concreto, consumo de agua, desarrollo de resistencia, manejabilidad y liberación de calor.

El tamaño de partícula del material que se utilizó como sustituto del cemento afecta la porosidad, ya que, aparecen más espacios vacíos.

## 5. Conclusiones

Estudiar las propiedades físicas y químicas de los materiales que pueden sustituir el cemento en mezclas de concreto es fundamental, ya que, con la caracterización realizada se pueden conocer de forma completa los compuestos y características de dichos materiales.

Es importante conocer la caracterización de los materiales cuando se va a sustituir el cemento por porcentajes de ese material, ya que es necesario que este cumpla con todos los requisitos que cumple el cemento para su uso.

La escoria de siderúrgica tiene una finura de  $3.540\text{cm}^2/\text{g}$ , una densidad de  $2.62\text{ g/cm}^3$ , es fácil de tamizar y extraer su producto fino y actividad puzolánica de  $1877,6\text{ g}$ .

Las propiedades del concreto en estado fresco no se ven afectadas al agregarle a la mezcla escorias de siderúrgica como material cementante, porque no requiere adicionar más agua de la establecida en el diseño de mezcla.

Según los resultados obtenidos se pudo concluir que el mejor porcentaje para la sustitución fue el de 5% ya que obtuvo  $33.5\text{ MPa}$  de resistencia a la compresión a los 28 días, no obstante, no cumple con lo establecido en la norma ya que la muestra patrón tuvo un valor de  $38.6\text{ MPa}$ .

Las escorias deben pasar por el tamiz #325 para que se pueda mejorar la resistencia, debido a que, si este material tiene un tamaño de partícula más grande, afecta la hidratación del concreto, su partícula al ser más grande deja un mayor espacio de aire en la distribución del concreto.

## 6. Referencias

- Aranque, L. M., & García, D. P. (2010). *Análisis de la valorización de escorias negras como material agregado para concreto en el mar o en el marco de la gestión ambiental de la siderúrgica Diaco. Municipio de Tuta Boyacá.*
- Araque, L. M., & García, S. (2010). *Análisis de la valorización de escorias negras como material agregado para concreto en el marco de la gestión ambiental siderúrgica Diaco. Municipio de Tuta Boyacá.* Bogotá: Universidad de la Salle.
- Claisse, P. (2016). Strength, durability and leaching properties of concrete paving blocks incorporating GGBS and SF. *Coventry University, Faculty of Engineering and Computing Civil Engineering.*
- Corcuera, A. E., & Vela, J. R. (2018). Impacto en la resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto a partir de la sustitución de la piedra por ecogravilla de escoria de acero. *Universidad Privada del Norte.*
- DANE. (19 de abril de 2021). *Boletín Técnico.*
- García, C. A., Bello, S. C., & Pardo, K. D. (2020). Análisis por SEM de concretos simples con sustitución parcial de escoria como agregado fino. *Universidad Santo Tomas.*
- Hernández, J. R. (2010). *COTECCIÓN DE CONCRETO - TECNOLOGÍA DEL CONCRETO - TOMO 1.* Asociación Colombiana de Productores de Concreto.
- *Universidad de los Andes (2018) Consultado 10 de marzo de 2022.* Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/35091/u821422.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- IEA. (2017). *International energy agency.* Obtenido de <https://www.iea.org/>



- Instituto Nacional de Vías (Invias) (2007). Consultado 10 de marzo de 2022. Final report Universidad del Cauca. Ensayo de densidad para cemento hidráulico. Obtenido de <https://www.studocu.com/co/document/universidad-del-cauca/geologia/norma-inv-e-307-07/9502302>
- Norma Técnica Colombia (26 de noviembre de 1997) Consultado 10 de marzo de 2022. Final report Universidad Mariana. Ensayo de finura para cemento hidráulico. Obtenido de <https://www.studocu.com/co/document/universidad-mariana/resistencia-de-materiales/ntc33-ntc-33/13499411>
- Norma Técnica Colombia (15 de enero de 1992) Consultado 10 de marzo de 2022. Final report Incontec. Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto. Obtenido de [https://www.academia.edu/35232281/NORMA\\_T%C3%89CNICA\\_NTC\\_COLOMBIANA\\_396](https://www.academia.edu/35232281/NORMA_T%C3%89CNICA_NTC_COLOMBIANA_396)
- Norma Técnica Colombia (17 de febrero de 2010) Consultado 10 de marzo de 2022. Final report Incontec. Ensayo resistencia a la compresión. Obtenido de <https://es.slideshare.net/1120353985/ntc-673-compresion-concretos>
- Norma Técnica Colombia (26 de agosto de 2007) Consultado 10 de marzo de 2022. Final report Incontec. Ensayo de Granulometría. Obtenido de [https://www.academia.edu/14595154/NTC\\_77\\_M%C3%89TODO\\_DE\\_ENSAYO\\_PARA\\_EL\\_AN%C3%81LISIS\\_POR\\_TAMIZADO\\_DE\\_LOS\\_AGREGADOS\\_FINOS\\_Y\\_GRUESOS](https://www.academia.edu/14595154/NTC_77_M%C3%89TODO_DE_ENSAYO_PARA_EL_AN%C3%81LISIS_POR_TAMIZADO_DE_LOS_AGREGADOS_FINOS_Y_GRUESOS)
- Rojas, M. A., Otálvaro, I. F., Perez, J. A., Benavides, H. M., & Fregoso, C. A. (2021). Uso de las escorias de horno de arco eléctrico (EHAE) en la construcción. *UIS Ingenierías*.
- Suárez Hincapie, L. (2019). *Evaluación de escorias siderúrgicas de horno de arco eléctrico en mezclas de concreto estructural*.

### Sobre el autor

- **Yudy Alejandra Buitrago Muñoz**. Estudiante de ingeniería civil. [yudybuitrago5@gmail.com](mailto:yudybuitrago5@gmail.com)

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2022 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

