

## ELABORACIÓN INDUSTRIAL DE BLOQUES DE CONCRETO EMPLEANDO CENIZA VOLANTE

**Cristina Patricia Lamb Bernal <sup>\*†</sup>, Margarita Enid Ramírez Carmona <sup>\*</sup>**

<sup>\*</sup>Universidad Pontificia Bolivariana, Cq. 1 #70-01, of. 11-259, Medellín, Colombia,  
<sup>\*\*</sup>Indural S.A, Cll 65 # 76-195, Medellín, Colombia,

Recibido 10 Noviembre 2008; aceptado 10 Diciembre 2008  
Disponible en línea: 17 Diciembre 2008

**Resumen:** Se fabricaron bloques de concreto 15x20x40 R10 a nivel industrial, en los que se reemplazo cemento por ceniza volante hasta en un 20%, las proporciones de la mezcla de los diferentes lotes de bloques, se obtuvieron de un diseño experimental de mezcla, en el que las variables independientes fueron el agua, el cemento y la ceniza volante, y la variable respuesta la resistencia. Mediante los resultados obtenidos del diseño experimental, se optimizó el uso de ceniza como reemplazo parcial del cemento en bloques de concreto, lo cual que permitió el desarrollo de un producto competitivo, funcional y de menor costo. *Copyright © 2007 UPB.*

**Abstract:** The blocks 15x20x40 R10 were made at an industrial level and the cement was replaced for fly ash at 20%, the proportions of the mixture for different lots of blocks were found by an experimental mixture design were the independent variables were water, cement and fly ash, and the dependent variable was de compressible strength. By the results obtained in the experimental design, was possible to optimize the use of fly ash as a partial replacement of the cement in the concrete blocks, what made possible the production of a competitive and functional product at a lower cost.

**Keywords:** Mixture Design, Concrete Blocks, Fly Ash, Cement.

### 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, en la empresa de prefabricados de concreto Indural S.A, se emplean 200 toneladas de cemento Portland semanales aproximadamente, como materia prima para la

elaboración de sus productos, con un costo de 352 mil pesos/ton, siendo este el 69.12% del costo total de la mezcla seca de los bloques, la cual contiene aproximadamente un 10% de cemento. La producción de bloque en la empresa asciende los 133 mil unidades /semana.

---

<sup>†</sup> Autor al que se le dirige la correspondencia:  
Tel. (+54) 354 15 37.  
E-mail: [cristina.lamb@gmail.com](mailto:cristina.lamb@gmail.com) (Cristina Patricia Lamb).

Si en el proceso de fabricación se utiliza menor cantidad de cemento que la requerida, el concreto será poco resistente, por lo tanto para disminuir su cantidad en la mezcla, sin alterar sustancialmente la resistencia final del producto, es recomendable reemplazarlo total o parcialmente por otros materiales con propiedades cementantes de menor costo, uno de estos es la puzolana entre la cual se encuentra la ceniza volante. Previamente se han realizado ensayos en la empresa Indural S.A., en los cuales ha demostrado que es posible sustituir el cemento por ceniza, sin que se vean afectadas significativamente las propiedades de los bloques de concreto, sin embargo, los experimentos no se realizaron con rigurosidad, lo que ha impedido conocer la cantidad óptima de ceniza que se puede adicionar en la mezcla de concreto.

En la ciudad de Medellín, la ceniza volante es un sub-producto de algunas fabricas textileras como Colteger y Fabricato, su costo es 10 veces menor que el Cemento Portland y de fácil obtención en el Valle del Aburra, para su uso industrial. Si se sustituye un porcentaje de cemento en la elaboración de los productos en Indural S.A. por ceniza, se reducen sustancialmente los costos de fabricación de los prefabricados de concreto.

Adicionalmente, al reemplazar cemento por ceniza volante en proporciones menores a un 20% se genera un bloque menos denso ([Sata y Jaturapitakkul, 2007](#); [Gunduz, 2008a](#)), más resistente al ataque de algunos agentes químicos, como los sulfatos y el cloro ([Tomas et al., 1999](#)), ocurre menor segregación, se genera mayor el área superficial ([Atici y Ersoy, 2008](#)), da un mejor acabado al bloque, es menos permeable ([Sata y Jaturapitakkul, 2007](#)), posee alta resistencia final y larga durabilidad ([Kurmar, 2000](#)).

## 2. METODO EXPERIMENTAL

Se elaboró un diseño experimental de mezcla, a nivel industrial en la empresa Indural S.A, para optimizar la elaboración del bloque de concreto 15x20x40 R10, sustituyendo parcialmente el cemento por ceniza volante. Las variables independientes evaluadas en el diseño de mezcla fueron: el agua, el cemento y la ceniza volante (puzolana), y la variable respuesta fue la resistencia a la compresión. Se empleó un diseño

experimental de mezcla simplex con centroides y puntos interiores de 14 ensayos, en los que se reemplazó como máximo un 20% de cemento por ceniza, para cada ensayo, se elaboró un lote de aproximadamente 2.9 ton base seca, en el que se dejó constante la cantidad de agregados; la resistencia a la compresión se evaluó 7 días después de fabricación del bloque, en una maquina (Forney, FL-40-Dr).

### 2.1 Materiales

*Cemento.* El cemento empleado en la empresa Indural S.A, es producido por la empresa ARGOS, en Rio Claro, Antioquia, Colombia; según la norma ASTM C 150-07 se clasifica como tipo III, también denominado CSA Alta Resistencia Temprana.

*Ceniza Volante.* La ceniza que se empleada para la elaboración de bloques de concreto 15x20x40 R10, proviene de la quema de carbón bituminoso, procedente de Amagá, Antioquia, Colombia; producida en la empresa textilera Fabricato, la cual se encuentra ubicada en Bello, Antioquia, Colombia.

El 60.95% de la composición total de la ceniza de Fabricato equivale a los óxidos  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; debido a que el contenido de estos tres óxidos es mayor al 50% la ceniza de Fabricato puede clasificarse según la norma ASTM C 618, como ceniza volante Clase C, sin embargo según la norma establece que las perdidas por ignición no deben ser mayores a un 6%, y en este caso la ceniza de Fabricato las perdidas por ignición fueron de 18.26%. La composición de la ceniza se muestra en la Tabla 1.

Tabla1. Composición de la ceniza

Compuesto	Porcentaje en peso
$\text{CO}_2$	18.26
$\text{Na}_2\text{O}$	1.85
$\text{MgO}$	1.20
$\text{Al}_2\text{O}_3$	20.58
$\text{SiO}_2$	33.36
$\text{K}_2\text{O}$	3.80
$\text{CaO}$	3.51
$\text{TiO}_2$	3.24
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	7.02

*Agregados.* Se emplearon dos tipos de agregados en la mezcla de concreto para la elaboración de

bloques 15x20x40 R10, los cuales son denominados en la empresa como agregado fino y común, en proporción 1:1.25. El agregado fino está compuesto principalmente por piedra triturada de origen natural y arenas. El agregado

común contiene escombros provenientes de demoliciones y arenas de baja calidad. El modulo finesse de los agregados empleado en la elaboración de bloques, fue de 3.74.

*Agua.* En la elaboración de bloques de concreto, el agua tiene dos aplicaciones diferentes, la primera es hidratar la mezcla y la segunda es mantener el aire saturado de agua en las cámaras de curado, mediante el uso de rociadores ([Atici y Ersoy, 2008](#)). En la empresa Indural S.A emplea agua lluvia para la fabricación de bloques 15x20x40 R10, la cual es almacenada en un lago, que se encuentra ubicado en el interior de la empresa. Esta agua cumple con las especificaciones de la norma ASTM C 1602-06, que determina los requerimientos básicos que debe cumplir para ser empleada en la fabricación de concreto.

### 2.2 Diseño de mezcla.

Se realizó un diseño experimental de mezcla simplex con centroides y con puntos interiores en el que las variables independientes fueron el agua, el concreto y la ceniza volante y como variable respuesta la resistencia a la compresión.

La cantidad de agua, concreto y ceniza volante permanecieron entre ciertos intervalos, que se pueden observar en la Tabla 2, para evitar que las propiedades mecánicas del concreto disminuyeran considerablemente y por ende que se hubiera estropeado alguno de los lotes.

Tabla 2. Rangos de las materias primas.

Variable	0%	100%
Ceniza Volante	0	42
Agua	241.53	311.37
Cemento	168	210

El contenido de agua se modificó entre el 8 y el 11% aproximadamente, no se cambió en intervalos mayores de humedad, debido a que la mezcla puede perder considerablemente

resistencia. La cantidad de cemento varió entre el 7.2% y el 5.8% de la composición de la mezcla en base seca, y la ceniza se empleó como reemplazo del cemento en un intervalo de 0 a 20%.

La matriz de diseño, se expone en la Tabla 3; a partir de esta, se tomaron proporciones diferentes de los tres componentes en cada lote experimental, y se elaboraron 14 ensayos con diferentes proporciones de ceniza, cemento y agua. Cada ensayo se realizó empleando una cantidad de lote de 2.9 toneladas, se realizó la mezcla, el moldeo de los bloques, el curado y 7 días después se cuantifico resistencia como variable respuesta.

Tabla 3. Diseño de mezcla.

Peso del material por cada lote (Kg)			
Ensayo	Ceniza		
	Volante	Agua	Cemento
1	0	288.09	182
2	0	264.81	196
3	0	241.53	210
4	28	253.17	175
5	14	288.09	168
6	7	253.17	196
7	7	288.09	175
8	0	311.37	168
9	14	264.81	182
10	28	264.81	168
11	42	241.53	168
12	14	264.81	182
13	28	241.53	182
14	14	241.53	196

Los datos experimentales obtenidos en los ensayos del diseño de mezcla, se ajustaron a un modelo matemático cubico especial.

### 2.3 Elaboración del bloque

En una mezcladora de eje horizontal (Columbia, modelo 1980) con capacidad de 81 ft<sup>3</sup>, se adicionaron los agregados, el cemento, la ceniza y el agua en proporciones conocidas, determinadas en el diseño experimental de mezcla para la fabricación de bloques 15x20x40 R10. Se mezcló por un periodo variable de 4-5 min, hasta formar una pasta homogénea. Los agregados, el cemento y la ceniza volante, fueron pesados en una báscula, para garantizar que se adicionaron las

proporciones adecuadas de cada material a la mezcla; la medición del volumen de agua se realizó empleando un contador.

La pasta homogénea de los bloques 15x20x40 R10 proveniente del mezclado, se introdujo en una maquina automática de bloques (Columbia, Machine 50), la cual moldeó la pasta a una temperatura y presión fija. El curado se realizó inmediatamente después del moldeo, en un lugar cerrado especializado para dicho proceso, a una temperatura promedio de 40°C y a la presión atmosférica de Medellín. La resistencia a la compresión se evaluó en una maquina universal (Forney, FL-40-Dr), 7 días después de la fabricación del bloque de concreto.

Se realizaron tres ensayos adicionales en los cuales se reemplazó un 15 y un 20% de cemento por ceniza volante, para verificar la precisión del modelo obtenido en el diseño de mezcla y encontrar las proporciones optimas de cemento, ceniza y agua para la fabricación del bloque 15x20x40 R10 producido a nivel industrial.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para cada ensayo del diseño de mezcla, se elaboró un lote de aproximadamente 2.9 ton base seca, en el que se dejó constante la cantidad de agregados, y se vario la cantidad de ceniza, agua y cemento. En la Tabla 4 y en la Fig. 1 se muestran los resultados de la variable respuesta.

Tabla 4. Resultados del diseño de mezcla

Nº	Ceniza Volante (kg)	Agua (L)	Cemento (kg)	Resistencia (MPa)
1	0	288.09	182	10.54
2	0	264.81	196	11.43
3	0	241.53	210	12.81
4	28	253.17	175	9.51
5	14	288.09	168	9.06
6	7	253.17	196	10.76
7	7	288.09	175	10.91
8	0	311.37	168	10.33
9	14	264.81	182	10.97
10	28	264.81	168	9.21
11	42	241.53	168	8.045
12	14	264.81	182	11.25

13	28	241.53	182	10.84
14	14	241.53	196	10.06

Los datos experimentales fueron procesados en el Software Statistica de StatSoft.

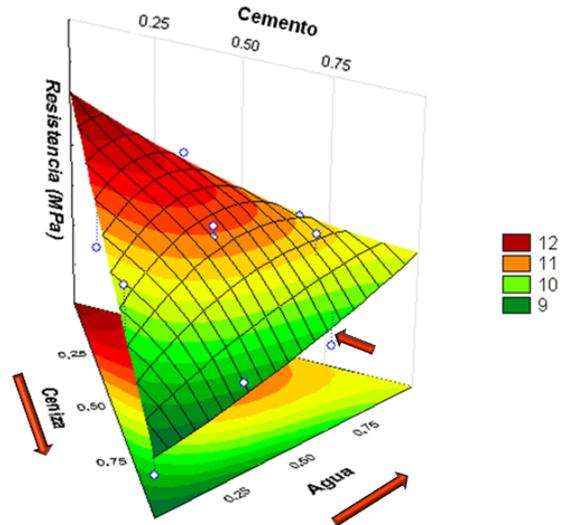


Figura 1. Diseño de mezcla resistencia vs Ceniza, Cemento y agua.

En la Fig. 1 se puede apreciar, que el mayor valor de resistencia conseguido fue de 12.81MPa, que se obtuvo cuando no se emplea ceniza como reemplazo del cemento. Además, se observó que cuando se deja constante la cantidad de cemento y ceniza, a mayor cantidad de agua, se obtiene más resistencia, debido a que en la elaboración del bloque 15x20x40 R10 se emplea una mezcla de baja humedad, aproximadamente de 9.6 %, por lo tanto, no todo el cemento adicionado reacciona con la mezcla; así que al adicionar mayor cantidad de agua, mas cemento reacciona y aumenta la resistencia.

En el diseño de mezcla se emplea un modelo cúbico especial, para determinar la resistencia en función de las variables independientes, ceniza, cemento y agua, este modelo se muestra a en la ecuación (1).

$$R = 8.491*x + 10.327*y + 12.296*z - 0.9014*x*y - 0.3973*x*z - 1.644*y*z + 24.881*x*y*z \quad (1)$$

Donde  $R$ ,  $x$ ,  $y$  y  $z$ , representan, respectivamente, resistencia del bloque en MPa, proporción de ceniza, proporción de agua total adicionada a la mezcla y proporción de cemento; las proporciones  $x$ ,  $y$ ,  $z$  de la ecuación (1) se encuentran en términos de fracciones, calculados a partir de los rangos expuestos en la Tabla 2.

El coeficiente de regresión del modelo, ecn. (1), es de 0.78, valor que se considera en este caso bueno, debido a que en un proceso Industrial con tantas variables, los errores que este genera son pequeños y los resultados que arroja son confiables. En la producción de bloques 15x20x40 R10 la desviación estándar de la resistencia en el año 2007 fue de 1.05, debido a las diferentes variables que afectan el proceso, la mayor desviación estándar obtenida entre los valores experimentales y calculados con el modelo fue de 0.827, 0.183 menor a la que se presenta en la producción normal de Indural S.A de los bloques 15x20x40 R10.

Partiendo de los resultados obtenidos, los ensayos del diseño de mezcla que no poseen ceniza (1, 2, 3 y 8), se confirma que la resistencia es directamente proporcional a la cantidad de cemento en la mezcla. El ensayo 3, posee la máxima cantidad de cemento del diseño de mezcla y no posee ceniza, este ensayo equivale a la cantidad normal de cemento adicionada a un lote de bloques de concreto 15x20x40 R10, en Indural S.A., el valor de resistencia obtenido en este ensayo fue de 12.8 MPa que es el mayor valor obtenido en el diseño de mezcla. Al disminuir la cantidad de cemento, (ensayo 1, 2 y 8), se puede observar que la resistencia también lo hace, empleando un 6.67% (14kg) menos de cemento la resistencia disminuye un 10.7%; cuando se reduce el contenido de cemento en un 13.3% (28 kg) la resistencia es un 17.2% menor respecto al ensayo 3.

Al adicionar mayor cantidad de agua a la mezcla, la resistencia aumenta. El ensayo 8, posee un 7.7% menos de cemento que el ensayo 1 y la resistencia disminuye únicamente un 2%, en este caso, el porcentaje de disminución es menor a los presentados anteriormente. Esto se debe a que la mezcla empleada para la elaboración de bloques no se alcanza a hidratar completamente, por lo tanto al aumentar la cantidad agua, hay mayor hidratación y por ende mas resistencia. Sin embargo, el exceso de agua en la mezcla, ocasiona dificultades en el moldeo,

desfiguraciones en los bloques y una apariencia indeseable en el producto final.

Las resistencias de los ensayos 4, 5, 10 y 11, fueron menores a 10 MPa, valores inferiores al requerimiento mínimo para la comercialización del bloque de concreto 15x20x40 R10, estos cuatro ensayos poseían una mezcla con un porcentaje de cemento menor a los ensayos 1, 2 y 8.

Los ensayos 4 y 11 poseían 16.67 y 20% menos cemento que el ensayo 3, y un remplazo de ceniza de 13.33 y 20% respectivamente, sin embargo, ambas mezclas eran bastante secas; el ensayo 4 poseía el requerimiento mínimo de agua para la elaboración de bloques en Indural S.A y el ensayo 11 tenía una cantidad de agua un 4.6% mayor que el 4.

La ceniza volante de Fabricato, empleada para la elaboración de los bloques de concreto posee un alto contenido de carbón, el cual interfiere en la reacción de hidratación e incrementa la demanda de agua, esta es una posible causa de las bajas resistencias obtenidas en los ensayos 4 y 11.

U Atici y A. Ersoy, elaboraron bloques de concreto con diferentes proporciones de ceniza volante y encontraron que cuando la ceniza posee alto valor en las perdidas por ignición (carbón), se necesita mayor cantidad de agua para la hidratación de la mezcla (Atici y Ersoy, 2008). Es posible que el alto contenido de carbono en la ceniza, aumentara la demanda de agua en la mezcla, por esta razón, la resistencia a la compresión del bloque disminuyó apreciablemente al adicionar ceniza con alto contenido de carbón y al emplear bajos contenidos de agua.

La ceniza volante adicionada a la mezcla de concreto, absorbe agua en su estructura, lo que ocasiona que no haya suficiente agua para que la reacción de hidratación sea completa, y esto reduce la resistencia final del concreto (Gunduz, 2008b).

El ensayo 7 poseía igual cantidad de cemento que el 4, un 13.7% mas agua y menos ceniza, y presentó un 14.9% mas de resistencia a la compresión, debido que en este caso hubo una mayor hidratación de la mezcla; este mismo comportamiento se observó con los ensayos 6 y 14.

Empleando un 16.67% menos de cemento, dejando la cantidad de agua constante, y aumentando el reemplazo de ceniza de 3.33 a 13.33% (ensayos 4 y 6), sobreviene una reducción en la resistencia de 1.25MPa. Otros autores, encontraron un comportamiento similar en sus experimentos, L Gunduz, señaló, que si se deja la cantidad constante de agua en la mezcla y se reemplaza el cemento por ceniza, cuando se usa ceniza con un porcentaje de carbono mayor a un 12%, ocasiona una reducción en la resistencia del bloque, debido a la insuficiencia de agua en la mezcla para la reacción de hidratación ([Gunduz, 2008b](#)).

En los ensayos 1, 9, 12 y 13, se empleo un 13.33% menos de cemento que en el ensayo 3. Entre estos cuatro ensayos, la resistencia mayor se obtuvo cuando se reemplazo ceniza en un 6.67% y se adicionó 264.81 kg de agua. Cuando no hubo reemplazo de ceniza y se empleo 288,1 kg de agua, la resistencia fue menor debido a que el contenido de cementante fue 6.67% mas bajo, disminuyendo la resistencia.

El ensayo 3, que contenía cemento únicamente, dio mayor resistencia a los 7 días que cuando se reemplazo ceniza en algún porcentaje, una posible razón es, que la actividad de la ceniza es menor a la del cemento, lo cual afecta el valor de la resistencia a edades tempranas del bloque ([Atici y Ersoy, 2008](#)).

Adicionalmente el reemplazo parcial de cemento por ceniza volante reduce la temperatura máxima en la reacción de hidratación, esta reducción se debe a la disminución de la velocidad de hidratación, y por ende la resistencia a edades tempranas ([Buffo et al., 2007](#)). Sin embargo, es posible que la resistencia de las mezclas con cemento y ceniza aumenten sus resistencias a edades tardías en mayor proporción que las mezclas que contienen únicamente cemento, debido a que la reacción en el sistema ceniza/cemento se vuelve dominante después de los 28 días ([Gonen y Yazicioglu, 2007](#)).

#### 4. PREDICCIÓN DEL MODELO.

Según el diseño de mezcla se encontró que a mayor cantidad de agua mayor es la resistencia, por lo tanto se realizó un reemplazo del 20% de

cemento por ceniza, se calculó la cantidad de agua necesaria, para obtener una resistencia de 11.5 MPa, mediante la ecuación del diseño de mezcla, anteriormente mencionada. No se buscaron resistencias mayores debido a que se necesitaría mayor contenido de agua, que podría causar dificultades en el moldeo, posibles deformaciones y un cambio en la apariencia superficial del bloque, los cuales son efectos indeseados en la producción.

Al reemplazar un 20% de cemento por ceniza, se obtuvo una resistencia de 10.03 MPa, valor cercano al límite inferior permisible para la comercialización del bloque, y no es recomendable realizar una producción con estas características. Sin embargo, dio una resistencia de 2 MPa mayor que la del ensayo 11, en el cual se reemplazo el mismo porcentaje de cemento, y se empleo 21kg menos de agua en el lote. Se observó que varios bloques del ensayo 15 poseían fisuras, lo cual altero la estética del producto y su calidad, esto pudo ser causado por una mayor contracción en el secado, debido al aumento en la cantidad de agua; que genera fisuras en el material ([Gunduz, 2008b](#)).

Debido a los resultados anteriormente mencionados, se optó por realizar 3 ensayos más, con un reemplazo del 15% de cemento por ceniza, con diferentes proporciones de agua. El ensayo 16, poseía 260kg de agua, y la resistencia obtenida fue de 11.34MPa, el ensayo 18 poseía 296kg de agua y resistencia de los bloques fue de 17.58 MPa, sin embargo con esta cantidad de agua, se dificultó el moldeo de bloques.

En el ensayo 18 se emplearon 276 kg de agua, la resistencia fue de 14.38 MPa, un 12.26% mayor que el ensayo 3, no hubo dificultad en el moldeo ni se presentaron fisuras en los bloques, por lo tanto se eligió como la mezcla optima para la elaboración de bloques 15x20x40 R10.

La predicción de la resistencia mediante el modelo matemático para los ensayos adicionales se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5. Comparación de los ensayos adicionales de la resistencia calculada y la experimental

Nº	Ceniza	Agua	Cemento	R <sup>exp</sup> (Mpa)	R <sup>cal</sup> (Mpa)
15	1	0.33	0	10.03	11.50
16	0.75	0.26	0.25	11.34	13.04
17	0.75	0.74	0.25	17.57	19.61
18	0.75	0.49	0.25	14.38	16.23

En los ensayos 15 al 18 el modelo matemático, no predice la resistencia de forma tan exacta como los casos anteriores, debido a que estos datos no se emplearon en la predicción del modelo. Sin embargo da una buena aproximación, para calcular mezclas.

El modelo matemático obtenido en el diseño de mezcla arroja valores mayores de resistencia que los valores experimentales; la mayor diferencia entre la resistencia real y teórica obtenida es de 13%, lo que permite emplear el modelo para conocer que tipo de proporciones dan valores de resistencias altas y por ende que proporciones de mezcla pueden ser empleadas en la elaboración de bloques. Se recomienda que al emplear mezclas con más de 260kg de agua, la resistencia deseada de forma experimental sea de 2MPa menor que la supuesta en el modelo, debido al comportamiento presentado en los últimos cuatro ensayos mencionados.

En los últimos dos ensayos, se encontró que la resistencia de los bloques con ceniza es mayor a los que no la poseen, posiblemente se deba a que el empleo de mayor cantidad de agua, aumenta la hidratación; y que hay una mejor aglomeración entre los componentes de la mezcla ([Man y Yeung, 1997](#)).

Si se reemplazara un 15% de cemento por ceniza, en todos los productos de concreto en Indural S.A, la empresa ahorraría 39.5 millones de pesos/mes en materias primas y adicionalmente se obtendrían otras ventajas, entre las cuales se encuentran, mayor resistencia a la compresión del bloque, menor contaminación ambiental debido al empleo de residuos industriales como materia prima en proceso y la generación de un puesto de trabajo.

## 5. CONCLUSIONES

El modelo cúbico especial obtenido del diseño de mezcla para la predicción de la resistencia, a partir de las proporciones de ceniza, cemento y agua, tiene un coeficiente de regresión (R) de 0.78, este valor es aceptable en la elaboración de bloques de concreto a nivel industrial.

Reemplazando un 15% de cemento por ceniza volante y adicionado 276kg de agua en el lote, se obtuvo una resistencia de 14.38Mpa, un 49,8% mayor que la resistencia requerida para la comercialización del bloque 15x20x40 R10, en el proceso no se presentó dificultad en el moldeo, y el producto final poseía las características físicas y mecánicas requeridas por la empresa.

El modelo matemático obtenido en el diseño de mezcla arroja valores mayores de resistencia que los valores experimentales; la mayor diferencia entre la resistencia real y teórica obtenida es de 13%, lo que permite emplear el modelo para conocer que tipo de proporciones que dan valores de resistencias altas y por ende que proporciones de mezcla pueden ser empleadas en la elaboración de bloques.

La empresa Indural S.A, puede economizar mensualmente 39.5 millones de pesos en materias primas, empleando en sus productos un 15% de reemplazo de cemento por ceniza volante.

## AGRADECIMIENTO

Indural S.A. y a sus empleados por el apoyo prestado.

D. Sc Margarita Enid Ramirez C, directora del proyecto, por las asesorías prestadas en la elaboración del trabajo.

Diego Bernal Ceballos, asesor del proyecto, por el apoyo y colaboración proporcionada en todo momento.

## REFERENCIAS

- Atici, U; Ersoy A. (2008). Evaluation of destruction specific energy of fly ash and slag admixed concrete interlocking paving blocks. *Revista Construction and Building Materials*, **22**, 1507-1514.
- Buffo, L. et al. (2007). Multiphasic finite element modeling concrete hydration. *Revista Cement and Concrete Research*, **37**, 131-138.
- Gonen, Tair y Yazicioglu, Salih (2007). The influence of mineral admixtures on short and long-term performance of concrete. *Revista Building and Environment*, **42**, 3080-3085.
- Gunduz, L. (2008a). Use of quartet blend containing fly ash, scoria, perlite pumice and cement to produce cellular hollow lightweight masonry block for non-load bearing walls. *Revista Construction and Building Materials*, **22**, 747-754.
- Gunduz, L. (2008b). The effects of pumice aggregate/cement ratios on the low strength concrete properties. *Revista Construction and Buildings Materials*, **22**, 721-728.
- Kurmar, Melta (2000). High performance, high volume fly ash concrete for sustainable development. *Revista International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology*, **10**, (2000), 3-13.
- Man, C.K; Yeung, H.S. The effects of using pulverized fuel ash as partial substitute for cement in concrete. *Revista Science of the Total Environment*, **196**, 171-176.
- Sata, Vanchai y Jaturapitakkul, Chai. Influence of puzzolana from various byproducts material on mechanical properties of high-strength concrete. *Revista Construction and Building Materials*, **21**, 1589-1598.
- Tomas, Michael D.A y Bamforth Phil. Modeling chloride concrete effect of fly ash and slag. *Revista Cement and Concrete Reserch*. Canada, **29**, 487-495.

## SOBRE LOS AUTORES

### **Cristina Patricia Lamb B.**

Estudiante de Ingeniería Química de la Universidad Pontificia Bolivariana. Área de interés investigativo: Materiales de Ingeniería.

### **Margarita Enid Ramírez Carmona**

Directora e Investigadora Centro de Estudios y de Investigación Biotecnología (CIBIOT). Doctor en Bioprocesos, de la Universidad

Federal do Rio de Janeiro. Principales áreas de interés investigativo: Biotecnología Ambiental, fermentaciones, Metodología de la Investigación, Diseño de experimentos.