

**DOI:** <https://doi.org/10.46296/ig.v5i10edespsep.0070>

## **CENIZA DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA MEJORAR LA RESISTIVIDAD Y RESISTENCIA DEL HORMIGÓN**

### **SUGAR CANE BAGASSE ASH TO IMPROVE CONCRETE RESISTIVITY AND STRENGTH**

Quito-Solórzano Laura Michaelle <sup>1</sup>; Macías-Salazar Karen Estefanía <sup>2</sup>;  
Guerra-Mera Juan Carlos <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Construcciones Civiles, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas. Universidad Técnica de Manabí, UTM. Portoviejo, Ecuador.  
Correo: lquito1111@utm.edu.ec.

<sup>2</sup> Departamento de Construcciones Civiles, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas. Universidad Técnica de Manabí, UTM. Portoviejo, Ecuador.  
Correo: kmacias9459@utm.edu.ec.

<sup>3</sup> Departamento de Construcciones Civiles, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas. Universidad Técnica de Manabí, UTM. Portoviejo, Ecuador.  
Correo: juan.guerra@utm.edu.ec.

#### **Resumen**

Esta investigación presenta la evaluación en función a la resistividad y resistencia en un hormigón convencional de 210 kg/cm<sup>2</sup>, utilizando la ceniza resultante de la calcinación del bagazo de caña de azúcar, obtenido de cultivos destinados a la producción de licor artesanal y panela en el sitio Agua Fría del cantón Junín, perteneciente a la provincia de Manabí, siendo la ceniza un reemplazo porcentual del 5%, 10% y 15% del cemento realizando una comparativa entre agregados de dos canteras, una ubicada en la provincia de Manabí (Carrera "A") y otra ubicada en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas (carrera "B"). Para la obtención de la ceniza se calcinó el bagazo de caña de azúcar a una temperatura controlada de 700°C durante 2 horas. Se utilizaron probetas cilíndricas de 10cm x 20cm, para luego someterlos a medir la resistividad superficial y realizar los respectivos ensayos a compresión para las edades de 7, 14, 21 y 28 días de curado. De los resultados obtenidos se pudo comprobar que hubo una aportación en resistencia del hormigón en función al diseño estándar en el 5% y 10%, disminuyendo en el 15% de reemplazo de CBCA en ambas canteras; por otra parte, el rango de resistividad se mantiene en moderado para el diseño estándar, 5% y 10%, y alcanza un rango alto en 15% de reemplazo CBCA para ambas canteras.

**Palabras clave:** Resistividad, Resistencia, Bagazo, Puzolana, Diseño.

#### **Abstract**

This research presents the evaluation based on the resistivity and resistance in a conventional concrete of 210 kg/cm<sup>2</sup>, using the ash resulting from the calcination of sugarcane bagasse, obtained from crops destined for the production of artisanal liquor and panela in the Agua Fría site in the Junín canton, belonging to the province of Manabí, with ash being a percentage replacement of 5%, 10% and 15% of the cement, making a comparison between aggregates from two quarries, one located in the province of Manabí (Quarry "A") and another located in the province of Santo Domingo de los Tsáchilas (quarry "B"). To obtain the ash, the sugar cane bagasse was calcined at a controlled temperature of 700°C for 2 hours. Cylindrical specimens of 10cm x 20cm were used, to then subject them to measure the surface resistivity and carry out the different compression tests for the ages of 7, 14, 21 and 28 days of curing. From the results

**Información del manuscrito:**

**Fecha de recepción:** 06 de junio de 2022.

**Fecha de aceptación:** 26 de agosto de 2022.

**Fecha de publicación:** 29 de septiembre de 2022.



obtained, it was possible to verify that there was a contribution in concrete resistance based on the standard design in 5% and 10%, decreasing in 15% of CBCA replacement in both quarries; on the other hand, the resistivity range remains moderate for the standard design, 5% and 10%, and reaches a high range at 15% CBCA replacement for both quarries.

**Keywords:** Resistivity, Resistance, Bagasse, Pozzolana, Design.

## 1. Introducción

Al utilizar diferentes tipos de puzolanas se logran incrementar las propiedades mecánicas del conglomerado, así también como, el incremento de su impermeabilidad, debido a la reducción de poros, afirma (Velez, 2019). Por otra parte (Chávez, 2017), considera que el manejo de estas cenizas en distintos campos, como la agricultura y construcción, será de gran aprovechamiento, debido al importante porcentaje de sílice que tiene en su composición química, considerándose así, su posible utilización como material cementante.

La utilización de agregados en el hormigón, tiene como alcance reducir los costos en la producción de la mezcla, y de esta forma ayudar a controlar los cambios volumétricos y contribuir a la resistencia final del material, contribuyendo de esta manera con un gran avance en la

utilización de materiales catalogados como desechos, con la finalidad de implementar mejoras a nivel constructivos, otorgando materiales sostenibles y eficientes, dado que en nuestro país, tres de sus cuatro regiones se produce la caña de azúcar, se contaría con este sustitutivo durante todo el año.

La caña de azúcar genera una cantidad considerable de desechos por año, lo que significa que en nuestro país se podrá tener un constante abastecimiento de este material y puede ser utilizada en el sector constructivo, de acuerdo a los registros de la superintendencia de control del mercado la producción de caña de azúcar se utiliza principalmente en la industria azucarera y como insumo para la elaboración de bebidas alcohólicas alcanzando en este último un 57,49% de uso en la producción total durante el periodo 2007 – 2016, (Superintendencia de control del poder de mercado, 2021).

(Soares, Garcia, Figueiredo, Aguilar, & Cetlind, 2016) ensayaron el comportamiento puzolánico de la ceniza del bagazo de la caña de azúcar y establecieron que debe usarse como reemplazo de los constituyentes inertes del cemento en lugar de solamente adicionarlo en forma de puzolánica, Por otro lado, (Jimenez, 2016), estudio la resistencia a la compresión de concreto  $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , con la adición de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) en diferentes porcentajes (8%, 10% y 12%), donde los resultados registran valores resistentes entre 8% y 10% en comparación al concreto convencional. En Ambato, Ecuador (Ureña Aguirre & Haro Molina, 2016) investigaron el efecto de la resistencia de la ceniza de bagazo de caña de azúcar con una resistencia de diseño  $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$  y acero de refuerzo, para lo cual se construyó vigas de hormigón agregando los porcentaje de ceniza de bagazo de caña de azúcar entre el 5%, 10%, 15% y 20% de sustitución parcial del hormigón, concluyendo que las vigas optimas con el 10% de ceniza presenta

resistencia a flexión lícito para la sustitución parcial con puzolanas.

El objetivo fundamental de la investigación, es proponer una alternativa de

aprovechamiento de desechos orgánicos, que presenten porcentajes necesarios para reaccionar como puzolana y sustituir parcialmente al cemento brindando resistividad y resistencia al hormigón, adicional a esto, se implementara el agregado grueso y fino procedentes de las canteras A y B, con la finalidad de hacer la respectiva comparación de trabajabilidad de los materiales comercializados en ambas canteras seleccionadas, presentando datos reales por ensayos realizados en laboratorio, aplicando las normas de procedimiento correspondientes.

## 2. Materiales y métodos

El desarrollo de esta investigación es de tipo experimental, investigativo y descriptivo puesto que lo que se busca es el mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas y durabilidad del hormigón; para obtener este alcance se utilizaron 96 probetas cilíndricas, distribuidas en

tres muestras para cada dosificación y edad de curado, siendo el bagazo de caña de azúcar incinerado en un horno a una temperatura controlada de 700°C, durante 2 horas; posterior a esto se realizó la molienda y se pasó por un tamiz N°200, para la obtención de la ceniza apta para reemplazar parcialmente al cemento en dosificaciones de 5%, 10% y 15% para el hormigón de 210 kg/cm².

El tiempo de curado de los testigos se desarrolló a los 7, 14, 21 y 28 días, este proceso de curado se realizó bajo la norma (ASTM C31, 2008). Para la realización de los ensayos de resistencia a la compresión, se basó a lo que establece la norma ASTM C39 (ASTM C 39/C 39M –01, 2009) y para los ensayos de resistividad superficial se lo realizó en base a la norma (AASHTO TP 95-11, 2011), así mismo, para el diseño de mezcla de hormigón se la realiza de acuerdo las especificaciones establecidas por el método (A.C.I.), donde determina criterios y caracterización que deben cumplir los materiales mediante las normas del ASTM, y a su vez con la norma INEN.

## Fundamentación teórica.

- **Caña de azúcar**

La caña de azúcar pertenece al grupo de las plantas gramíneas, tiene la capacidad de volver a resurgir cuando sus tallos son cortados o por el tiempo se deterioran. Pueden alcanzar alturas hasta de seis metros en buenas condiciones, se compone generalmente de nudos provistos de yemas y primordios radicales. Dentro de la caña de azúcar encontramos un componente altamente presente, como es la sílice, particularmente en sus hojas, estas son un poco duras y provistas de espinas pequeñas (Olalla, 2008).

Es un producto significativamente aprovechable desde todos los ámbitos, es utilizado mayormente en su estado natural. Su composición química tiene un componente muy importante e interesante como adición mineral en concretos que es la sílice y el calcio.

El bagazo de caña de azúcar, es el desecho proveniente de la extracción del néctar de la caña de azúcar, este desecho orgánico se presenta en grandes cantidades considerable por año; según la

superintendencia de control de calidad del mercado, la caña de azúcar tiene un abastecimiento contante del producto, por ende, se considera un material reutilizable, factible para ser utilizado en muchas áreas, como es en la industria de la construcción. Según datos, la mayor parte de los desechos generados del material se produce principalmente en las industrias azucareras y como insumo en la elaboración de bebidas alcohólicas alcanzando un 57,49%. (Superintendencia de control del poder de mercado, 2021).

La cantidad de desechos generados por la utilización de este producto, son significativa y dentro de estos casos no se lleva un control de estos desechos, en sitios pocos poblados estos controles de desechos son totalmente inexistentes, ya que generalmente se dejan apilados en terrenos baldíos causando molestias por los malos olores producidos en la putrefacción del mismo, o como alimento de animales de granja, desperdiciando así el gran uso que esto podrían generar. Mientras, la ceniza de caña de azúcar es considerada una puzolana artificial ya que al ser incinerada a altas temperatura dentro de su

componente químicos resultantes predomina el  $\text{SiO}_2 + [\text{Al}]_2\text{O}_3 + [\text{Fe}]_2\text{O}_3$ , lo que deduce a un incremento de silicato de calcio, por tanto, incrementa la resistencia y densidad (Haro, 2016).

Los agregados son parte importante del hormigón, tanto en el orden cualitativo que garantiza una adecuada resistencia y durabilidad del hormigón y el orden cuantitativo constituyendo más del 15% del volumen total del hormigón. Al hablar de los áridos nos referimos a la arena o grava utilizados como agregados del hormigón, provenientes de yacimientos naturales o rocas machacadas.

Estos materiales tienen una importante repercusión en las propiedades del hormigón, tanto en estado fresco como en estado húmedo, una de sus principales aportaciones son las propiedades mecánicas que este aporta como aglomerado en el hormigón, entre estas propiedades resaltan la durabilidad y resistencia química; estas propiedades depende mucho de su génesis, composición, condición de tracción y procesamiento, entre otros, teniendo

una marcada influencia en el logro de los parámetros técnicos deseados.

Se denomina agregado grueso a los materiales extraídos de rocas de canteras, triturados y tamizados constituyendo un rango de tamaño entre 6 pulgadas a 4,75mm. Mientras que, el agregado fino se caracteriza por ser materiales extraídos de ríos, lagos, depósitos volcánicos colocados en un rango de tamaño entre N° 4 a N°100 (Luna, 2014).

Los ensayos fueron realizados mediante las especificaciones de (NTE INEN 860, 2011) para la determinación del valor de la degradación del árido grueso, (NTE INEN 858, 2010) determinación de masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacío, (NTE INEN 857, 2010) determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso, (NTE INEN 856, 2010) determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino, (ASTM C33) requisitos de graduación del agregado fino y grueso.

- **Cemento Portland**

El cemento es una mezcla de materiales que se utilizan en la construcción, pues generalmente se la encuentra en polvo fino y está compuesto por Clinker, yeso y algunos aditivos químicos, los elementos minerales presente es el óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ), bióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), el óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y el óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) (Sanjuán & Chinchón, 2014).

Se utilizó cemento selvalegre, tipo GU (usado en construcciones de hormigón en general), elaborado bajo las normas ASTM C 595 / NTE INEN 490 (ASTM C 595, 2008; NTE INEN. 490, 2011). Además, este tipo de cemento permite alcanzar las resistencias a la compresión requeridas a todas las edades, en condiciones entre 35 y 50 MPa, ya que posee un progresivo crecimiento de las resistencias después de los 28 días de edad, pudiendo alcanzar hasta un 20% más a los 90 días

- **Resistividad y resistencia**

Una de las propiedades del hormigón endurecido, es la resistividad o resistencia eléctrica la cual es una medida de la fuerza en la que un material se opone al flujo de

corriente eléctrica, (Ling, S; Sanny, Jeff; Moebis, William, 2021). El ensayo no destructivo de resistividad permite dar a conocer la microestructura del hormigón, de su porosidad y contenido de agua, permite dar una valoración de la calidad del hormigón en estudio, (Andrade, C, 2011).

La resistencia a compresión de un hormigón, es una característica mecánica principalmente definida como la capacidad de soportar una carga por unidad de área (ACI 214),

se lo realiza mediante la norma (ASTM C 39/C 39M –01, 2009).

### 3. Resultados y discusión

En el presente trabajo de investigación experimental, se trabajó con materiales de dos canteras, denominadas cantera "A" y cantera "B". Realizándoles ensayos normados con el fin de conocer las características mecánicas que estos poseen, mediante las especificaciones pertinentes.

**Tabla 1.** Resultados de ensayos para agregado grueso de las Canteras "A" y "B".

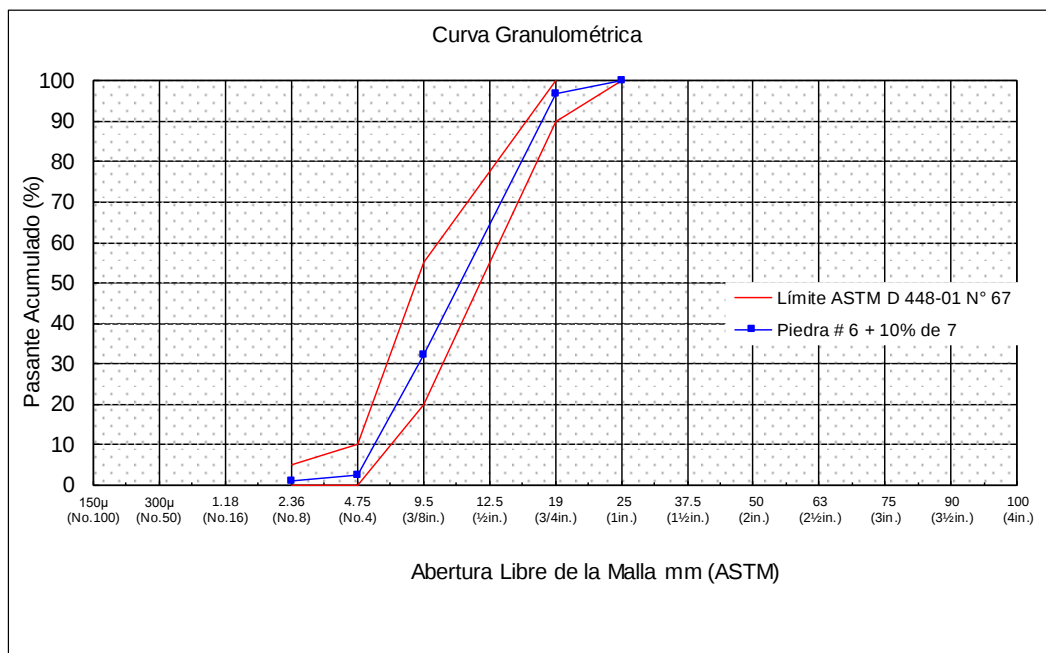
| CANTERA:                                                        | "A"                    | "B"                    |
|-----------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|
| Absorción de agua                                               | 4,17 %                 | 4,40 %                 |
| Densidad de volumen estado saturado superficialmente seco (Dss) | 2642 kg/m <sup>3</sup> | 2550 kg/m <sup>3</sup> |
| Peso unitario suelto                                            | 1299 kg/m <sup>3</sup> | 1290 kg/m <sup>3</sup> |
| Peso unitario compactado                                        | 1408 kg/m <sup>3</sup> | 1446 kg/m <sup>3</sup> |
| Módulo de finura                                                | 6,64                   | 6,62                   |
| Abrasión                                                        | 17,54 %                | 15,12 %                |

**Fuente:** Elaboración propia.

En la figura 1 y 2, podemos observar las fajas granulométricas obtenidas por el material grueso de ambas

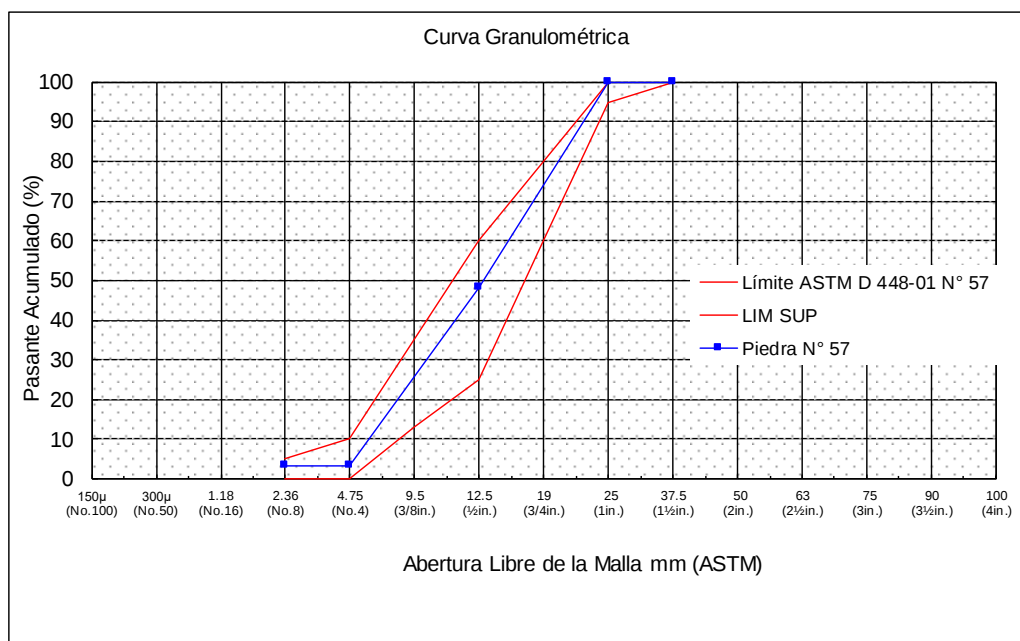
canteras cumpliendo los estándares establecidos por los límites en ASTM D 448-01.

**Figura 1.** Granulometría del agregado grueso de la Cantera "A".



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 2.** Granulometría del agregado grueso de la Cantera "B".



**Fuente:** Elaboración propia.

Como podemos observar en la tabla 2, se detallan los resultados de ensayos al agregado fino de ambas canteras, cumpliendo con la norma (NTE INEN 856, 2010),

correspondiente de control y calidad de los materiales.

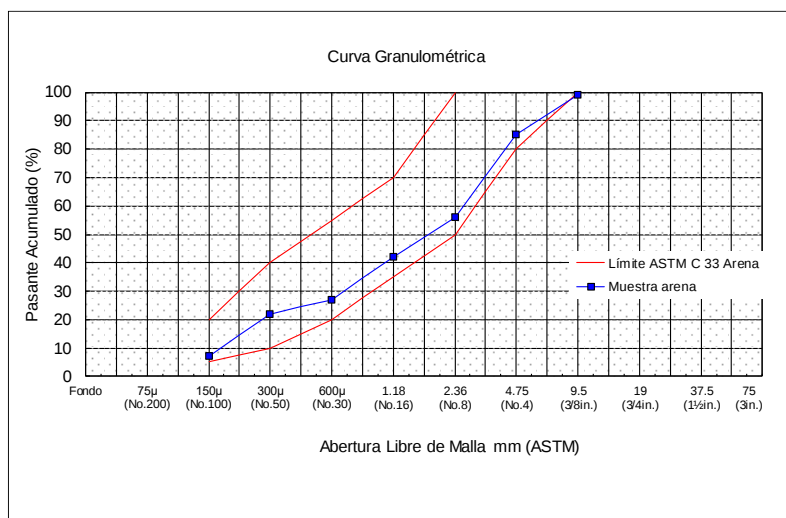
**Tabla 2.** Resultados de ensayos para agregado fino de las Canteras "A" y "B".

| CANTERA:                                                        | "A"                    | "B"                      |
|-----------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------------|
| Absorción de agua                                               | 2,7 %                  | 2,4%                     |
| Densidad de volumen estado saturado superficialmente seco (Dss) | 2714 kg/m <sup>3</sup> | 2534kg/m <sup>3</sup>    |
| Peso unitario suelto                                            | 1273kg/m <sup>3</sup>  | 1919,5kg/m <sup>3</sup>  |
| Peso unitario compactado                                        | 1415kg/m <sup>3</sup>  | 2103,67kg/m <sup>3</sup> |
| Módulo de finura                                                | 3,62                   | 2,88                     |

**Fuente:** Elaboración propia.

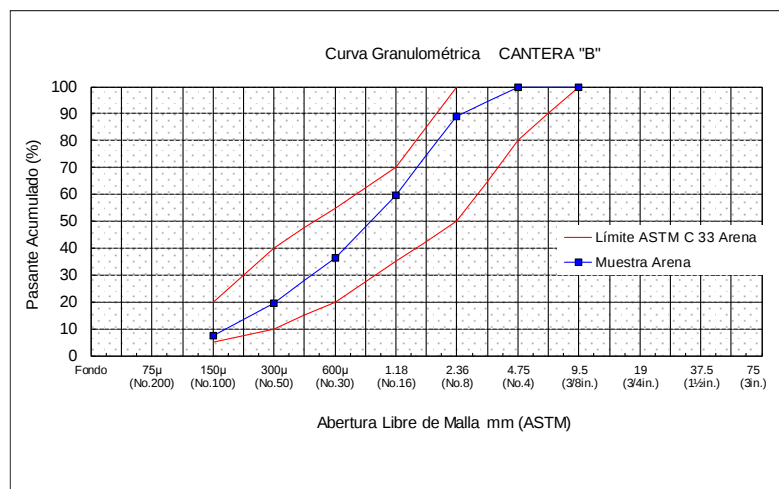
En las figuras 3 y 4, se realizaron la respectiva granulometría obtenida del material fino procedentes de ambas canteras, donde se logra ver el rango de limite permisible según las especificaciones de la norma (ASTM C33).

**Figura 3.** Granulometría del agregado fino de la Cantera "A".



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 4.** Granulometría del agregado fino de la Cantera "B"



**Fuente:** Elaboración propia.

Dentro de la caracterización de la ceniza de bagazo de caña de azúcar, se determinó un porcentaje de contenido considerable de dióxido de silicio igual a 46,6% y su gravedad específica igual a 2530 kg/m<sup>3</sup>.

Basándose en los resultados obtenidos de los ensayos en los agregados, se procede al diseño estándar del hormigón con resistencia 210 kg/cm<sup>2</sup>, integrándolos a la unidad cúbico mediante el método (A.C.I.). El tipo

de aditivo utilizado fue Eucon 37, el cual tiene la caracterización de ser un reductor de agua, formulado para conservar la consistencia plástica durante 30 a 60 minutos después de la dosificación, se encuentra dentro de las especificaciones (ASTM C-494), Tipo A y Tipo F. En la tabla 3, se presentan los resultados de las dosificaciones para la elaboración de los testigos de hormigón simple sin la sustitución de la ceniza de bagazo de caña de azúcar.

**Tabla 3.** Diseño de hormigón para 1m<sup>3</sup> y su equivalencia en Kg para canteras "A" y "B".

| CANTERA "A" $r=a/c= 0,53$ |                |        | CANTERA "B" $r=a/c= 0,50$ |                |         |
|---------------------------|----------------|--------|---------------------------|----------------|---------|
| Material                  | m <sup>3</sup> | Kg     | Material                  | m <sup>3</sup> | Kg      |
| Cemento                   | 0,1379         | 400,00 | Cemento                   | 0,1103         | 320,00  |
| Agregado grueso           | 0,3538         | 901,41 | Agregado grueso           | 0,3333         | 900,00  |
| Agregado Fino             | 0,2988         | 760,85 | Agregado Fino             | 0,3953         | 1050,00 |
| Agua                      | 0,2100         | 210,00 | Agua                      | 0,1600         | 160,00  |
| Aditivo                   | 0,0034         | 4,00   | Aditivo                   | 0,0033         | 3,80    |
| $\Sigma= 1,003m^3$        |                |        | $\Sigma= 1,002m^3$        |                |         |

**Fuente:** Elaboración propia.

Para la dosificación en reemplazo del 5%, 10% y 15% de ceniza de bagazo de caña de azúcar en el cemento se utilizó la misma cantidad

de agregados, agua y aditivo en base al diseño estándar, detalladas en la tabla 4 y 5.

**Tabla 4.** Equivalencia del material que integran la mezcla de hormigón de  $F'c= 210$  kg/cm<sup>2</sup> con el 5%, 10% y 15% de ceniza de bagazo de caña de azúcar para la cantera "A".

| Material        | Equivalencias en peso (Kg) para 12 cilindros de 10cmx20cm |       |       |       |
|-----------------|-----------------------------------------------------------|-------|-------|-------|
|                 | Estándar                                                  | 5%    | 10%   | 15%   |
| Cemento         | 15,20                                                     | 14,44 | 13,68 | 12,92 |
| Ceniza          | 0                                                         | 0,76  | 1,52  | 2,28  |
| Agregado grueso | 34,25                                                     | 34,25 | 34,25 | 34,25 |
| Agregado fino   | 28,91                                                     | 28,91 | 28,91 | 28,91 |
| Agua            | 7,98                                                      | 7,98  | 7,98  | 7,98  |
| Aditivo         | 0,152                                                     | 0,152 | 0,152 | 0,152 |

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 5.** Equivalencia del material que integran la mezcla de hormigón de  $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con el 5%, 10% y 15% de ceniza de bagazo de caña de azúcar para la cantera "B".

| Material        | Equivalencias en peso (Kg) para 12 cilindros de 10cmx20cm |       |       |       |
|-----------------|-----------------------------------------------------------|-------|-------|-------|
|                 | Estándar                                                  | 5%    | 10%   | 15%   |
| Cemento         | 12,16                                                     | 11,55 | 10,94 | 10,36 |
| Ceniza          | 0                                                         | 0,608 | 1,216 | 1,824 |
| Agregado grueso | 34,20                                                     | 34,20 | 34,20 | 34,20 |
| Agregado fino   | 39,90                                                     | 39,90 | 39,90 | 39,90 |
| Agua            | 6,08                                                      | 6,08  | 6,08  | 6,08  |
| Aditivo         | 0,145                                                     | 0,145 | 0,145 | 0,145 |

**Fuente:** Elaboración propia.

En base a los días de curados, se logra obtener los valores de resistencia a la compresión de cada mezcla, mostrando una variación de resultados en base a las edades establecidas como se detalla en la tabla 6. Alcanzando la resistencia definida en el diseño estándar, para ambas canteras a los 28 días de curado. Para el 5% de reemplazo de CBCA, existió un incremento del 34% de la cantera "A" y un 11% de la

cantera "B"; en el diseño con 10% de reemplazo de CBCA, se logra tener un incremento del 19% de la cantera "A" y un 3% de la cantera "B"; mientras que se logra visualizar un déficit en el reemplazo del 15% de CBCA llegando a un 10% por debajo de la resistencia requerida de la cantera "A" y un 17% por debajo de la resistencia requerida en la cantera "B".

**Tabla 6.** Valores resultantes mediante el ensayo de resistencia a la compresión según el porcentaje de agregado de la ceniza de bagazo de caña de azúcar.

| MEZCLA   | 7 días (kg/cm <sup>2</sup> ) |        | 14 días (kg/cm <sup>2</sup> ) |        | 21 días (kg/cm <sup>2</sup> ) |        | 28 días (kg/cm <sup>2</sup> ) |        |
|----------|------------------------------|--------|-------------------------------|--------|-------------------------------|--------|-------------------------------|--------|
|          | "A"                          | "B"    | "A"                           | "B"    | "A"                           | "B"    | "A"                           | "B"    |
| Estándar | 158,23                       | 161,25 | 183,41                        | 185,87 | 218,53                        | 206,35 | 222,86                        | 220,85 |
| 5%       | 186,56                       | 126,91 | 242,79                        | 195,72 | 254,52                        | 216,22 | 295,67                        | 244,71 |
| 10%      | 165,36                       | 97,23  | 166,48                        | 122,62 | 232,81                        | 190,22 | 264,13                        | 214,74 |
| 15%      | 139,10                       | 66,62  | 157,93                        | 111,09 | 186,70                        | 171,96 | 202,22                        | 185,41 |

**Fuente:** Elaboración propia.

Los resultados del ensayo de resistividad superficial, bajo la especificación de la norma AASHTO TP-95-11, presentados en la tabla 7, determina el rango presente de penetración de cloruros para cada

diseño a los 28 días de curado, estableciendo un rango moderado dentro del diseño estándar, 5% y 10% de reemplazo de CBCA y un rango alto en el reemplazo de CBCA al 15% en ambas canteras.

**Tabla 7.** Valores resultantes mediante el ensayo de resistividad según el porcentaje de agregado de la ceniza de bagazo de caña de azúcar.

| CANTERAS | ESTÁNDAR<br>(KΩ. CM) | 5%<br>(KΩ. CM) | 10%<br>(KΩ. CM) | 15%<br>(KΩ. CM) |
|----------|----------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| “A”      | 12,52                | 13,74          | 14,56           | 10,82           |
| “B”      | 13,06                | 12,97          | 12,91           | 10,15           |

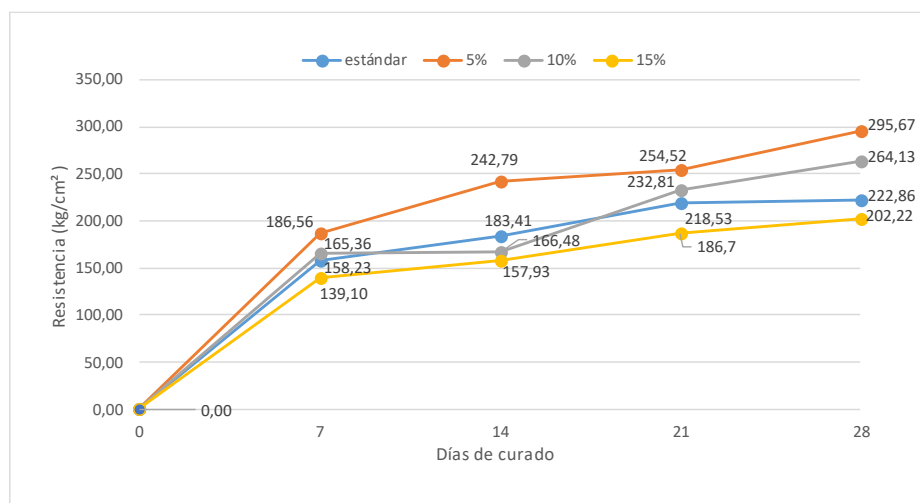
**Fuente:** Elaboración propia.

A continuación, se detalla la variación de resistencia en relación a los días de curado para un diseño de 210kg/cm<sup>2</sup>, presentada en el diseño estándar como en los porcentajes de remplazo de ceniza de bagazo de caña de azúcar.

En la figura 5, se observa que el 5% de sustitución de ceniza al cemento, presenta una incrementación de

resistencia con respecto al hormigón estándar a los 7, 14, 21 y 28 días de curado, sobrepasando la resistencia especificada; así mismo, el 10% muestra una leve incrementación, pero solo a los 7, 21 y 28 días de curado, no obstante, se percibe que el 15% no logra alcanzar la resistencia especificada en ninguna de las edades.

**Figura 5.** Variación de resistencia a compresión del hormigón para cada porcentaje con ceniza incluyendo el hormigón patrón de la Cantera “A”.

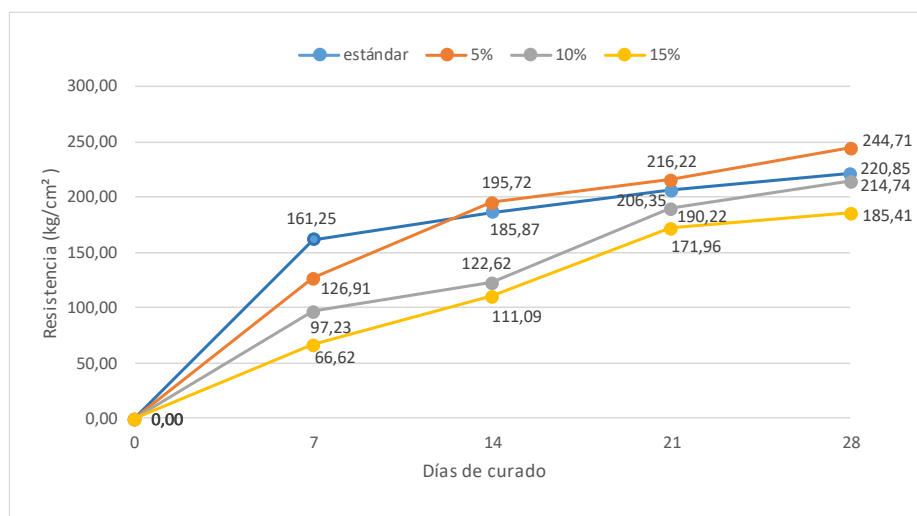


**Fuente:** Elaboración propia.

En la figura 6, se observa que el 5% de sustitución de ceniza al cemento, presenta una incrementación de resistencia con respecto al hormigón estándar a los 14, 21 y 28 días de

curado, sobrepasando la resistencia especificada, sin embargo, el 10% y 15% no alcanzan la resistencia especificada en ninguna de las edades.

**Figura 6.** Variación de resistencia a compresión del hormigón para cada porcentaje con ceniza incluyendo el hormigón patrón de la Cantera "B".

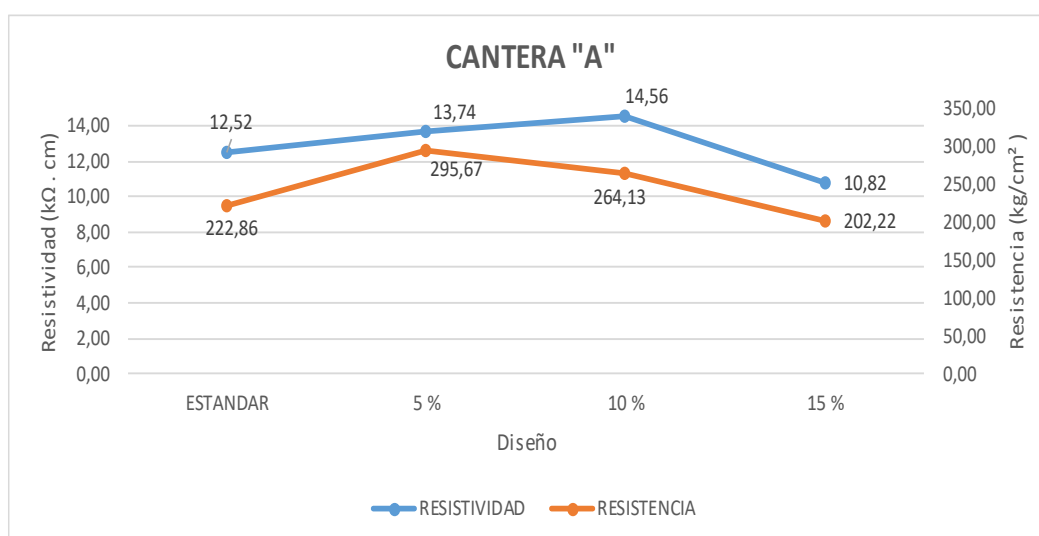


**Fuente:** Elaboración propia.

Como se puede observar en las figuras 7 y 8, de acuerdo a la norma AASHTO TP-95-11 con respecto al ensayo de resistividad superficial, determina que la penetración de cloruros a los 28 días de curado con el 5% y 10% son moderados en las dos canteras y 15% de sustitución de ceniza al cemento tiene una

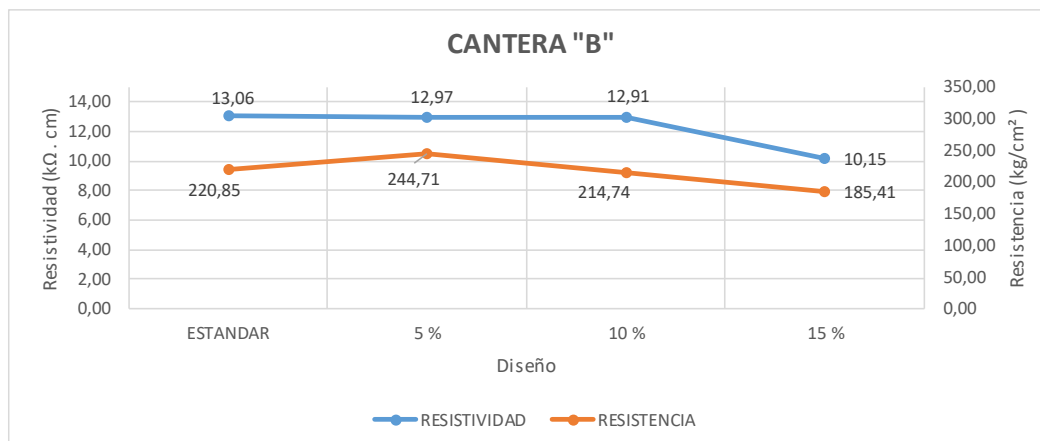
resistividad superficial alta, en ambas canteras, a pesar de mantener los mismos rangos, en valores existen mejores resultados en la cantera A. Con respecto a la resistencia a la compresión la cantera A obtuvo mejores valores con respecto a la cantera B.

**Figura 7.** Resultados de los ensayos de resistencia - resistividad a la edad de 28 días para cada diseño de hormigón. Cantera "A".



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 8.** Resultados de los ensayos de resistencia - resistividad a la edad de 28 días para cada diseño de hormigón. Cantera "B"



**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4. Conclusiones

- Se determinó por medio de especificaciones técnicas la caracterización de los materiales a utilizar en ambas canteras, de los resultados obtenidos, se pudo constatar que dichos materiales están dentro de los estándares de control y calidad de materiales.
- La realización del ensayo de contenido de sílice, se lo realizó por medio del método granulométrico dando como resultado un porcentaje aceptable 46,6% de contenido presente en la CBCA utilizada, representado ser un material puzolánico.
- Se alcanzó un desempeño favorable al utilizar 5% y 10% de

CBCA, en comparación al diseño estándar para ambas canteras, sin embargo, se muestra un desempeño desfavorable la utilización de la CBCA en porcentajes igual o mayores al 15%.

- Mediante el ensayo de resistencia a la compresión, se determina un comportamiento favorable dentro de los 28 días de curado con el 5% de remplazo del CBCA, logrando alcanzar un 34% de resistencia superior al diseño estándar en la cantera "A" y un 11% superior al diseño estándar de la cantera "B".
- Los ensayos de resistividad mostraron cambios de rangos similares en los materiales de las dos procedencias, llegando

alcanzar al 15% de remplazo de CBCA un alto rango y moderado en diseño estándar, 5% y 10%.

- Dentro de la comparación de los materiales de ambas canteras, se logra obtener un buen desempeño de ello y una diferencia en el comportamiento con la CBCA, dando como resultado, relativamente más favorable con materiales de cantera "A".
- Para futuras investigaciones utilizar porcentajes de CBCA como remplazo del cemento en porcentajes de 5% al 10%.

## Bibliografía

- ASTM C31. (2008). ASTM C31 Práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Ensayo de Concreto en la Obra<sup>1</sup>. Obtenido de <https://www.studocu.com/bo/document/universidad-mayor-de-san-simon/hormigon-armado-i/astm-c31-practica-normalizada-para-preparacion-y-curado-de-especimenes-de-ensayo-de-concreto-en-la-obra1/25351946>
- A.C.I. (s.f.). American Concrete Institute. (s.f.). concrete.org.
- Obtenido de <https://www.concrete.org/>
- AASHTO TP 95-11. (2011). METHOD OF TEST FOR SURFACE RESISTIVITY.
- ACI 214. (s.f.). Revisión propuesta de ACI 214-65: Práctica recomendada para la evaluación de los resultados de las pruebas de resistencia del hormigón.
- Andrade, C. (2011). La resistividad eléctrica como parámetro de control del hormigón y de su durabilidad. ALCONPAT, 93-101.
- ASTM C 39/C 39M -01. (2009). Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- ASTM C 595. (2008). Especificación Normalizada para Cementos Adicionados Hidráulicos<sup>1</sup>. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/527417811/ASTM-C-595-en-es>
- ASTM C33. (s.f.). Especificación estándar para AGREGADOS PARA EL CONCRETO.
- ASTM C-494. (s.f.). Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete. Obtenido de <https://idoc.pub/documents/astm-c-494pdf-6ngedrp6ejlv>
- Chávez, C. (2017). Empleo de la ceniza de bagazo de caña de

- azúcar (CBCA) como sustituto porcentual del agregado fino en la elaboración del concreto hidráulico. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.14074/1048>
- Haro, C. (2016). Análisis comparativo de la resistencia a flexión entre el hormigón tradicional y hormigón adicionando cenizas de cascarilla de arroz (CCA) y hormigón adicionado con ceniza de bagazo de caña de azúcar(CBC). Ambato: Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Civil. Obtenido de <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/23636>
- Jimenez, G. (2016). Resistencia a la compresión del concreto  $f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  con la adición de diferentes porcentajes de ceniza de bagazo de caña de azúcar. Cajamarca, Perú: Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11537/9982>
- Ling, Samuel; Sanny, Jeff; Moebs, William. (2021). Física universitaria. OpenStax. Obtenido de <https://openstax.org/books/f%C3%ADsica-universitaria-volumen-2/pages/prefacio>
- Luna, G. (2014). Estudio del hormigón. Quito: Edicube.
- NTE INEN 696. (2011). Áridos. Análisis granulométricos en los áridos fino y grueso. Quito. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/696.pdf>
- NTE INEN 856. (2010). Árido. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino. Quito. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/856-1.pdf>
- NTE INEN 857. (2010). Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso. Quito. Obtenido de [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/NTE\\_INEN\\_857.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/NTE_INEN_857.pdf)
- NTE INEN 858. (2010). Áridos. Determinación de masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos. Quito. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/858.pdf>
- NTE INEN 860. (2011). Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de máquina de los ángeles. Quito. Obtenido de

- <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/860.pdf>
- NTE INEN. 490. (2011). Cementos hidráulicos compuestos. Requisitos. Quito: instituto ecuatoriano de normalización. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/490.pdf>
- Olalla, L. (2008). La caña de azúcar: un viaje, una historia, un recuerdo. Dialnet, 16-93. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6162023>
- Sanjuán, M., & Chinchón, S. (2014). Introducción a la fabricación y normalización del cemento portland. Universidad de Alicante. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10045/45347>
- Soares, Marcela M.N.S; García, Dayana C.S; Figueiredo, Roberto B; Aguilar, Maria Teresa P; Cetlind, Paulo R. (2016). Comparing the pozzolanic behavior of sugar cane bagasse ash to amorphous and crystalline SiO<sub>2</sub>. Cement and Concrete Composites, 71, 20-25. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.04.005>
- Superintendencia de control del poder de mercado. (Enero de 2021). Estudio de mercado sector del azúcar. Recuperado el 04 de Noviembre de 2021, de SCPM: [https://www.scpm.gob.ec/sitio/wp-content/uploads/2021/04/estudio\\_de\\_mercado\\_sector\\_azucar\\_SCPM-IGT-INAC-003-2019.pdf](https://www.scpm.gob.ec/sitio/wp-content/uploads/2021/04/estudio_de_mercado_sector_azucar_SCPM-IGT-INAC-003-2019.pdf)
- Ureña Aguirre, M.E; Haro Molina, C.E. (2016). Análisis comparativo de la resistencia a flexión entre el hormigón tradicional y hormigón adicionado cenizas de cascarilla de arroz (cca) y hormigón adicionado con cenizas de bagazo de caña de azúcar (cbc). Repositorio Universidad Técnica de Ambato, 105. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/23636>
- Vélez, E. (2019). Cenizas de bagazo de caña de azúcar para mejorar resistencia y permeabilidad del hormigón. (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador. Recuperado el 25 de Octubre de 2021, de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/13844>