

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

**"CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA
MEJORAR RESISTENCIA Y PERMEABILIDAD DEL
HORMIGÓN"**

AUTOR:

Vélez García, Eduardo Isaac

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO CIVIL**

TUTOR:

Yépez Roca, Luis Octavio

Guayaquil, Ecuador

11 de Septiembre del 2019



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Vélez García Eduardo Isaac**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR

f. _____
Ing. Yépez Roca, Luis Octavio, M.Sc

DIRECTORA DE LA CARRERA

f. _____
Ing. Alcívar Bastidas, Stefany Esther, M.Sc

Guayaquil, a los 11 días del mes de Septiembre del año 2019



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
INGENIERÍA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Vélez García, Eduardo Isaac**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, "**Cenizas de bagazo de caña de azúcar para mejorar resistencia y permeabilidad del hormigón**" previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 11 días del mes de Septiembre del año 2019

AUTOR

f. _____
Vélez García Eduardo Isaac



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Yo, Vélez García, Eduardo Isaac

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, "**Cenizas de bagazo de caña de azúcar para mejorar resistencia y permeabilidad del hormigón**" cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 11 días del mes de Septiembre del año 2019

AUTOR:

f. _____
Vélez García Eduardo Isaac

REPORTE URKUND



Urkund Analysis Result

Analysed Document: Velez_eduardo_FINAL.pdf (D55120008)
Submitted: 8/30/2019 2:02:00 AM
Submitted By: claglas@hotmail.com
Significance: 5 %

Sources included in the report:

CARLOS HARO TESIS.pdf (D20879579)
<https://revistaalconpat.org/index.php/RA/article/download/309/371>
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6793562.pdf>
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/51063/Tesis%20Master%20PDF%20-%20Versi%C3%B3n%20Final.pdf?sequence=1>
<https://www.virtualpro.co/biblioteca/caracterizacion-de-la-ceniza-del-bagazo-de-cana-de-azucar-para-su-uso-como-puzolana-en-materiales-cementosos>
<https://doi.org/10.3989/mc.1982.v32.i188.988>
<https://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/Q106/q106edison.html>
<https://doi.org/10.1023/A:1018639232570>
http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3364_C.pdf

Instances where selected sources appear:

--

AGRADECIMIENTO

A Dios por guiar y bendecir mi camino.

A mis padres: Fabrizio y Beatriz por su amor, sacrificio y trabajo, gracias a ellos he podido lograr todo lo que me he propuesto a lo largo de mi vida. No hay palabras para describir todo el cariño y agradecimiento que les tengo.

A mi esposa Daniela, por apoyarme a alcanzar mis metas.

A mi hijo Juan Eduardo, por ser mi motivación e inspiración para superarme día a día.

A mis abuelos: Eduardo y Enriqueta por acompañarme y apoyarme en todo momento de mi vida, su amor y consejos me han dado fuerza para lograr mis objetivos.

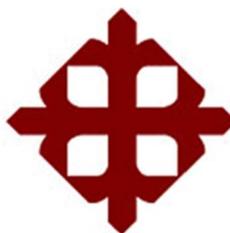
A mi tutor Ing. Luis Yépez por su ayuda y aporte en la realización de este trabajo de grado.

A Juan Pablo y Patricia por su apoyo incondicional.

Finalmente a todos mis docentes, familiares y amigos por las enseñanzas impartidas en todo el camino de este anhelado sueño.

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis padres, esposa, hijo, hermana y abuelos que a lo largo de mi vida me han brindado todo su apoyo incondicional.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
INGENIERÍA CIVIL**

f. _____

Ing. Luis Octavio Yépez Roca, M.Sc.

TUTOR

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

Ing. Lilia Marlene Valarezo Moreno, M.Sc.

DECANA

f. _____

Ing. Gilberto Martínez Rephany, M.Sc.

DOCENTE DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Stefany Esther Alcívar Bastidas, M.Sc

OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN..... | 2 |
| CAPÍTULO I..... | 4 |
| ANTECEDENTES | 4 |
| 1.1 Justificación..... | 4 |
| 1.2 Objetivos | 5 |
| 1.2.1 Objetivo General | 5 |
| 1.2.2 Objetivos Específicos | 5 |
| CAPÍTULO II..... | 6 |
| MARCO TEÓRICO | 6 |
| 2.1 Hormigón..... | 6 |
| 2.1.1 Agregado fino..... | 6 |
| 2.1.2 Agregado grueso..... | 6 |
| 2.1.3 Cemento..... | 7 |
| 2.1.3.1 Cemento natural | 7 |
| 2.1.3.2 Cemento Portland | 8 |
| 2.1.3.3 Clinker de cemento Portland | 8 |
| 2.2 Materiales de Sustitución del Cemento | 9 |
| 2.3 Puzolanas..... | 11 |
| 2.3.1 Composición química de las Puzolanas | 12 |
| 2.3.2 Causas de la actividad puzolática..... | 12 |
| 2.3.3 Uso de adiciones puzolánicas en el hormigón..... | 13 |
| 2.4 Reacción puzolánica en el hormigón..... | 14 |
| 2.5 Clasificación según su origen..... | 14 |
| 2.5.1 Puzolanas Naturales | 15 |
| 2.5.2 Puzolanas Artificiales..... | 16 |
| 2.6 Ceniza de Bagazo de Caña de azúcar (CBCA) | 16 |
| 2.7 Caña de azúcar en el Ecuador..... | 17 |
| 2.8 Proceso de obtención de la ceniza de bagazo de caña de azúcar..... | 17 |
| 2.9 Ceniza de bagazo de caña de azúcar como material puzolánico..... | 18 |
| 2.10 Antecedentes del uso de la ceniza de bagazo de caña para la elaboración de hormigón | 19 |

| | |
|--|----|
| CAPÍTULO III | 23 |
| METODOLOGÍA | 23 |
| 3.1 Hipótesis | 23 |
| 3.2 Variables de la hipótesis..... | 23 |
| 3.2.1 Variable dependiente | 23 |
| 3.2.2 Variable independiente..... | 23 |
| 3.3 Nivel de investigación | 23 |
| 3.4 Tipo de investigación | 23 |
| 3.5 Muestra | 24 |
| 3.6 Técnicas e instrumentos: | 24 |
| 3.7 Procedimientos | 25 |
| 3.7.1 Cenizas de bagazo de caña de azúcar | 25 |
| 3.7.2 Granulometría de CBCA | 26 |
| 3.7.3 Procedimiento para realización de mezcla | 28 |
| 3.8 Procedimiento absorción de agua en las mezclas..... | 40 |
| 3.8.1 Absorción de probetas secadas en el horno..... | 40 |
| 3.9 Procedimiento para ensayo a compresión | 43 |
| CAPÍTULO IV | 46 |
| ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS..... | 46 |
| 4.1 Análisis de laboratorio de la ceniza de bagazo de caña de azúcar | 46 |
| 4.2 Granulometría de la CBCA | 47 |
| 4.3 Dosificación de hormigones | 48 |
| 4.4 Análisis de laboratorio a los cilindros de hormigón elaborados | 50 |
| 4.4.1 Porcentaje de absorción de cilindros de hormigón pasados 28 días de su elaboración. | 51 |
| 4.4.2 Resistencia a la compresión de las probetas pasados 28 días de su elaboración | 52 |
| 4.4.3 Porcentaje de absorción de cilindros de hormigón pasados 90 días de su elaboración. | 54 |
| 4.4.4 Resistencia a la compresión de las probetas pasados 90 días de su elaboración | 56 |
| 4.4.5 Porcentaje de absorción de cilindros de hormigón pasados 120 días de su elaboración. | 59 |

| | |
|--|----|
| 4.4.6 Resistencia a la compresión de las probetas pasados 120 días de su elaboración | 61 |
| CAPÍTULO V | 65 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 65 |
| 5.1 Conclusiones | 65 |
| 5.2 Recomendaciones | 67 |
| REFERENCIAS | 68 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Composición Química del Cemento (% en Masa) | 8 |
| Tabla 2. Análisis de SiO₂ en cenizas | 46 |
| Tabla 3. Granulometría de la CBCA | 47 |
| Tabla 4. Dosificación cilindros de control de hormigón simple | 48 |
| Tabla 5. Dosificación cilindros de Hormigón con aditivo sin ceniza | 48 |
| Tabla 6. Dosificación cilindros de hormigón con 5% de CBCA | 49 |
| Tabla 7. Dosificación cilindros de hormigón con 10% de CBCA | 49 |
| Tabla 8. Porcentaje de absorción de cilindros de hormigón pasados los 28 días | 51 |
| Tabla 9. Resistencia a la compresión de las probetas pasados los 28 días de su elaboración | 52 |
| Tabla 10. Porcentaje de absorción de cilindros de hormigón pasados los 90 días | 55 |
| Tabla 11. Resistencia a la compresión de las probetas pasados 90 días de su elaboración | 57 |
| Tabla 12. Porcentaje de absorción de cilindros de hormigón pasados los 120 días | 60 |
| Tabla 13. Resistencia a la compresión de las probetas pasados 120 días de su elaboración | 62 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| | |
|--|----|
| Ilustración 1: Proceso de fabricación del cemento. Tomada de (Hernández, 2011) | 9 |
| Ilustración 2: Sustitutos Minerales del Cemento Portland. Tomada de Maldonado (2016) | 10 |
| Ilustración 3: Clasificación puzolanas. Tomado de (Salazar, 2002) Maldonado (2016) | 15 |
| Ilustración 4: Ingenio San Carlos. Tomada de Google Earth | 25 |
| Ilustración 5: pesaje de CBCA | 26 |
| Ilustración 6: tamices en agitador mecánico. Fuente: Autor | 26 |
| Ilustración 7: CBCA en tamices No. 100 y 200. Fuente: Autor | 27 |
| Ilustración 8: Pesaje de la muestra en tamiz No.100. Fuente: Autor | 28 |
| Ilustración 9: Ensayo para dosificar hormigón. Fuente: Autor | 29 |
| Ilustración 10: Elaboración de cilindros para moldeo. Fuente: Autor | 30 |
| Ilustración 11: Pesaje del agregado grueso para la mezcla. Fuente: Autor | 31 |
| Ilustración 12: Pesaje del cemento para la mezcla. Fuente: Autor | 31 |
| Ilustración 13: Materiales en la hormigonera. Fuente: Autor | 32 |
| Ilustración 14: Preparación de cilindros con aceite quemado. Fuente: Autor | 33 |
| Ilustración 15: Cilindros para llenado y herramientas. Fuente: Autor | 33 |
| Ilustración 16: Mezcla de hormigón con CBCA. Fuente: Autor | 34 |
| Ilustración 17: Llenado de cilindros. Fuente: Autor | 34 |
| Ilustración 18: Golpes con varilla de acero a la mezcla para quitar aire | 35 |
| Ilustración 19: Golpes con martillo de goma. Fuente: Autor | 35 |
| Ilustración 20: Se debe enraizar la última capa. Fuente: Autor | 36 |
| Ilustración 21: Cilindros de hormigón simple y hormigón con CBCA. Fuente: Autor | 36 |
| Ilustración 22: Desmolde de cilindro de hormigón con CBCA. Fuente: Autor | 37 |
| Ilustración 23: Cilindros, luego de desmoldarlos. Fuente: Autor | 37 |
| Ilustración 24: Nomenclatura hormigón con CBCA. Fuente: Autor | 38 |
| Ilustración 25: Nomenclatura hormigón simple. Fuente: Autor | 38 |
| Ilustración 26: Adecuación de bodega para almacenamiento de | 39 |
| Ilustración 27: Cilindros en piscina de curado. Fuente: Autor | 39 |
| Ilustración 28: Probetas tomadas de la piscina de curado. Fuente: Autor | 40 |

| | |
|--|----|
| Ilustración 29: Probetas en el horno a 105 °C. Fuente: Autor..... | 41 |
| Ilustración 30: Pesaje de probeta secada al horno. Fuente: Autor..... | 41 |
| Ilustración 31: Pesaje probeta saturada superficialmente seca. Fuente: Autor | 42 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1. Granulometría CBCA..... | 47 |
| Gráfico 2. Comparación porcentaje de absorción pasados los 28 días | 50 |
| Gráfico 3. Resistencia de las probetas de hormigón pasados los 28 días de su elaboración | 53 |
| Gráfico 4. Desviación Estándar probetas de hormigón pasados los 28 días de su elaboración | 53 |
| Gráfico 5. Comparación porcentaje de absorción pasados los 90 días | 56 |
| Gráfico 6. Resistencia de las probetas de hormigón pasados los 90 días de su elaboración | 58 |
| Gráfico 7. Desviación Estándar probetas de hormigón pasados los 90 días de su elaboración | 58 |
| Gráfico 8. Comparación porcentaje de absorción pasados los 120 días | 59 |
| Gráfico 9. Comparación muestras de hormigón edad - % de absorción | 61 |
| Gráfico 10. Resistencia de las probetas de hormigón pasados los 120 días de su elaboración | 63 |
| Gráfico 11. Desviación Estándar probetas de hormigón pasados los 120 días de su elaboración | 63 |
| Gráfico 12. Comparación muestras de hormigón edad - resistencia..... | 64 |

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó con un material que podría traer ventajas al hormigón. Se utilizó ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA), obteniendo resultados positivos adicionando 5% y 10% de CBCA del volumen de cemento utilizado en la mezcla. Los especímenes fueron ensayados a las edades de 30, 90 y 120 días.

A los 30 días de curado los resultados obtenidos fueron similares tanto como absorción de agua y resistencia en las mezclas de CBCA en comparación con las de control.

Las mezclas con CBCA redujeron los valores de absorción de agua considerablemente, a los 90 días de curado, especialmente con 10% de CBCA alcanzando una reducción de absorción de agua del 58% con respecto a los 30 días de curado.

En resistencia a compresión, el porcentaje de adición óptimo fue el de 5% de CBCA, a los 90 días de curado, la resistencia aumentó 41% con respecto a la resistencia de 30 días de curado, y aumentó a 45% en los 120 días de curado. Alcanzando un valor en promedio de 347 kg/cm². Es decir un aumento del 36% de resistencia con respecto a las probetas de control que alcanzaron una resistencia en promedio de 254 kg/cm².

El aumento de resistencia y comportamiento impermeable puede deberse al contenido de sílice, la finura, acomodo de partículas, el área de superficie específica, el grado de reactividad de la CBCA y la reacción puzolánica entre hidróxido de calcio y sílice reactiva presente en CBCA en el medio alcalino.

Palabras claves: *Puzolanas, adición en el hormigón, cenizas de bagazo de caña de azúcar, sílice, impermeabilidad y resistencia, tiempo de reactividad*

Abstract

This research work was carried out with a material that could bring advantages to concrete. Sugarcane bagasse ash (CBCA) was used, obtaining positive results by adding 5% and 10% CBCA of the volume of cement used in the mixture. The specimens were tested at the ages of 30, 90 and 120 days.

At 30 days of curing, the results obtained were similar both as water absorption and strength in the CBCA mixtures compared to the control ones.

Mixtures with CBCA reduced water absorption values considerably, at 90 days of curing, especially with 10% of CBCA reaching a water absorption reduction of 58% with respect to 30 days of curing.

In compressive strength, the optimum addition percentage was 5% of CBCA, there was a considerable increase in resistance at 90 days of cure, resistance increased 41% compared to the resistance of 30 days of cure, and increased to 45% in 120 days of cure. Reaching an average value of 347 kg / cm². In other words, a 36% increase in strength with respect to control specimens that reached an average strength of 254 kg/ cm².

The increase in strength and impervious behavior may be due to silica content, fineness, particle accommodation, specific surface area, the degree of reactivity of the CBCA and the pozzolanic reaction between calcium hydroxide and reactive silica present in CBCA in the alkaline medium.

Keywords: *Pozzolans, concrete addition, sugarcane bagasse ashes, silica, impermeability and resistance, reactivity time*

INTRODUCCIÓN

El florecimiento de nuevos materiales de construcción ha ido en auge en las últimas décadas en varios países, esto se debe a que la fabricación de materiales tradicionales genera un impacto ambiental cada vez más elevado, las grandes cantidades de recursos energéticos requeridos para obtenerlos son generalmente irrecuperables, muy aparte de las emisiones generadas en sus procesos de obtención.

Esto ha llevado a investigar nuevas fuentes que puedan implementarse o reemplazar el uso diario de ciertos materiales, tal es el uso de los subproductos industriales y agrícolas, que generalmente son producidos en varias fábricas y representan un desecho para las mismas.

Uno de los desechos agrícolas principales es el residuo o ceniza de bagazo de caña de azúcar ya que su disponibilidad es alta y es botado en lugares apartados de la ciudad, pocas son las empresas que ocupan estas cenizas para la obtención de energía, siendo este una posible fuente de aporte para el mezclado del hormigón por su porcentaje de Sílice (SiO_2) que aumenta la resistencia e impermeabilidad, además de tener abundante materia prima principalmente en la costa ecuatoriana.

Se ha demostrado en diversas investigaciones que al utilizar de diferentes tipos de puzolanas se logran incrementar las propiedades mecánicas del conglomerado además de incrementar su impermeabilidad, debido a la reducción de poros.

Actualmente existen productos que si bien es cierto ayudan a mejorar las características mecánicas del hormigón, su costo es elevado.

Estos materiales puzolánicos pueden aumentar resistencia a erosiones químicas al hormigón como también la durabilidad cuando son utilizadas como mezclas minerales en hormigones de uso estructural. Esto es debido a que el hidróxido de calcio producido por la hidratación del cemento reacciona con la puzolana.

En el Ecuador no hay suficientes investigaciones realizadas de los hormigones con materiales alternativos para su implementación en el campo constructivo, por la errata de conocimientos y el celo de cómo se comportarán en una edificio de alguna obra, si durará su vida útil como lo son: unos 50 años, y sobre todo las tradiciones constructivas de los ingenieros y maestros de obra, que se rigen a lo convencional.

En la provincia del Guayas, se encuentran las mayores productoras de azúcar del medio, por lo que se podría aprovechar estas cenizas que son desechadas, dándoles un uso en la creación del hormigón para mejorar sus características mecánicas y químicas, además de tener un constante abastecimiento de estas puzolanas y la facilidad de transporte por su cercanía a la ciudad y algo muy importante como ayudar con el reciclaje y cuidado del medio ambiente.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 Justificación

La ceniza de bagazo de caña de azúcar constituye un subproducto de la industria azucarera que proviene de la quema del bagazo de la caña de azúcar, elemento que es utilizado como combustible en los hornos y a veces desechado por las industrias.

Es comprendido que el servicio de adiciones minerales activas en la realización de hormigones le proporciona a estos conglomerados de cemento portland amplias ventajas tales como: comprobación del calor de hidratación, impermeabilidad y como consecuencia mejoras en la durabilidad de la mezcla, mayor compacidad, resistencia, etc. Que permiten extender el campo de su aplicación.

En la región costa, donde el cultivo de la caña de azúcar constituye una de las más grandes bases de la economía regional y nacional, se dispondría de materia prima suficiente, accesible y de bajo costo para la utilización en la industria constructiva.

Varios estudios revelan que esta ceniza contiene gran cantidad de sílice (SiO_2), lo que lo podría asimilar a un producto puzolánico.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Determinar la posibilidad de utilizar el bagazo de la caña de azúcar, calcinado, para mejorar las características de permeabilidad y resistencia del hormigón de cemento portland.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar una comparación entre la resistencia a compresión del hormigón con ceniza de bagazo de caña y la de hormigón simple.
- Evaluar la resistencia a la compresión y absorción de agua del hormigón al adicionar cenizas de bagazo de caña de azúcar.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Hormigón

El hormigón es un conjunto de materiales inertes conformados por agregados finos y gruesos, unidos uniformemente por una pasta adhesiva de cemento Portland y agua, que mantiene unidas sus partículas. Generalmente el hormigón está compuesto por: cemento, agua, arena y piedra. El hormigón en su primera fase de fabricación se designa hormigón fresco, este se encuentra en estado líquido, sin embargo en el momento que el cemento reacciona con el agua, comienza el proceso químico de hidratación del cemento, que se caracteriza por un pasaje gradual a estado sólido. Para controlar que el hormigón no fragüe rápidamente e impida la manipulación del material para la elaboración de una obra, los cementos utilizados poseen 3% de yeso en su composición, esto provoca que se aplase el inicio del fraguado entre 90 a 150 minutos.(Perles, 2003)

2.1.1 Agregado fino

Es conocido normalmente como arena, tiene gran importancia en el hormigón, este actúa como llenante y lubricante sobre los que los agregados gruesos ruedan y se distribuyen, otorgando al hormigón manejabilidad y trabajabilidad.

2.1.2 Agregado grueso

El agregado grueso conforma parte de la materia prima para la fabricación del hormigón, el uso de los tamaños de este material varía según la resistencia requerida, en el caso de necesitar un hormigón con mayor resistencia, recientes investigaciones han demostrado que con el uso de agregados de menor tamaño se obtiene hormigones con mayor eficiencia.

2.1.3 Cemento

El cemento es un material que puede provenir tanto de minerales en la naturaleza como productos derivados de las industrias. Las sustancias minerales principales que componen el cemento son: cal, sílice, alúmina y óxidos de hierro. Estos componentes se encuentran dispersos en el medio ambiente. (Duda, 1977).

Por interpretación, cemento es cualquier aglutinante. En edificaciones el cemento es un elemento que puede unir piedra y arena, formando una mezcla densa. Esto ha sido usado por el hombre desde algunos siglos atrás. Las mejoras de este material han sido poco progresivas hasta llegar a lo que hoy en día se conoce como cemento Portland. (Ochoa, 1994)

2.1.3.1 Cemento natural

Según la norma ASTM C 219 el cemento natural se define como “un cemento hidráulico que se produce calcinando una piedra caliza arcillosa de origen natural a una temperatura inferior a la de sintonización y moliéndola después hasta convertirla en un polvo fino.” El cemento Portland, por otro lado, se produce mezclando y quemando piedra caliza y materiales arcillosos a una temperatura elevada. Debido a la temperatura de cocción que tienen respectivamente, las especies hidráulicas de cemento Portland contienen primordialmente silicato dicálcico y aluminato dicálcico (C2S, C2A), y no contienen ni el silicato tricálcico ni el aluminato tricálcico (C3S, C3A) que se forman típicamente durante la obtención del cemento portland. (Edison, s. f.)

Como consecuencia de esta desigualdad en su constitución, el cemento Portland presenta una resistencia a la compresión mayor que la del cemento natural, por otro lado el tiempo de fraguado es más rápido pero desarrolla su resistencia última de una manera deficiente. Gracias a esto el cemento Portland es más comercial. (Edison, s. f.)

2.1.3.2 Cemento Portland

El cemento Portland según (Polzinetti, 2010) “es el resultado de calcinar hasta un principio de fusión mezclas rigurosamente homogéneas de caliza y arcilla, obteniéndose un cuerpo llamado clínker, constituido por silicatos y aluminatos anhidros, el cual hay que pulverizar junto con yeso para retardar su fraguado”.

El cemento Portland es un conglomerante hidráulico que, mezclado con otros materiales como arena, piedra y agua, forma una pasta la cual fragua y endurece, una vez endurecido, adquiere resistencia y permanencia inclusive bajo el agua. (Polzinetti, 2010)

Tabla 1. Composición Química del Cemento (% en Masa)

| <u>Parámetro</u> | <u>Rango aproximado</u> |
|---|-------------------------|
| Residuo insoluble | 0,1-1,4 |
| Óxido de calcio (CaO) | 58,2-65,6 |
| Sílice (SiO ₂) | 19,8-26,45 |
| Alúmina (Al ₂ O ₃) | 4,1-9,5 |
| Óxido de hierro (Fe ₂ O ₃) | 2,1-4,5 |
| Magnesia (MgO) | Trazas-2,9 |
| Álcalis (K ₂ O, Na ₂ O) | 0,1-2,8 |
| Sulfatos (SO ₃) | 0,1-2,2 |
| Pérdida por calcinación | 0,2-2,8 |

Nota: Tomada de (Sanjuán Barbudo & Chinchón Yepes, 2004, p. 20)

2.1.3.3 Clinker de cemento Portland

El Clinker es el resultado de una sintetización de una mezcla homogénea según (Sanjuán Barbudo & Chinchón Yepes, 2004) que se constituye de materiales como lo son: caliza, arcilla, arena, compuestos de hierro y otros componentes en cantidades establecidas, en su mayoría son óxidos, CaO, SiO₂,

Al_2O_3 , Fe_2O_3 y otras sustancias en pequeñas medidas. Esta mezcla es finamente molida y posteriormente calentada a $1500\text{ }^\circ\text{C}$ formando así nuevos compuestos que adicionando yeso dan lugar al cemento Portland.

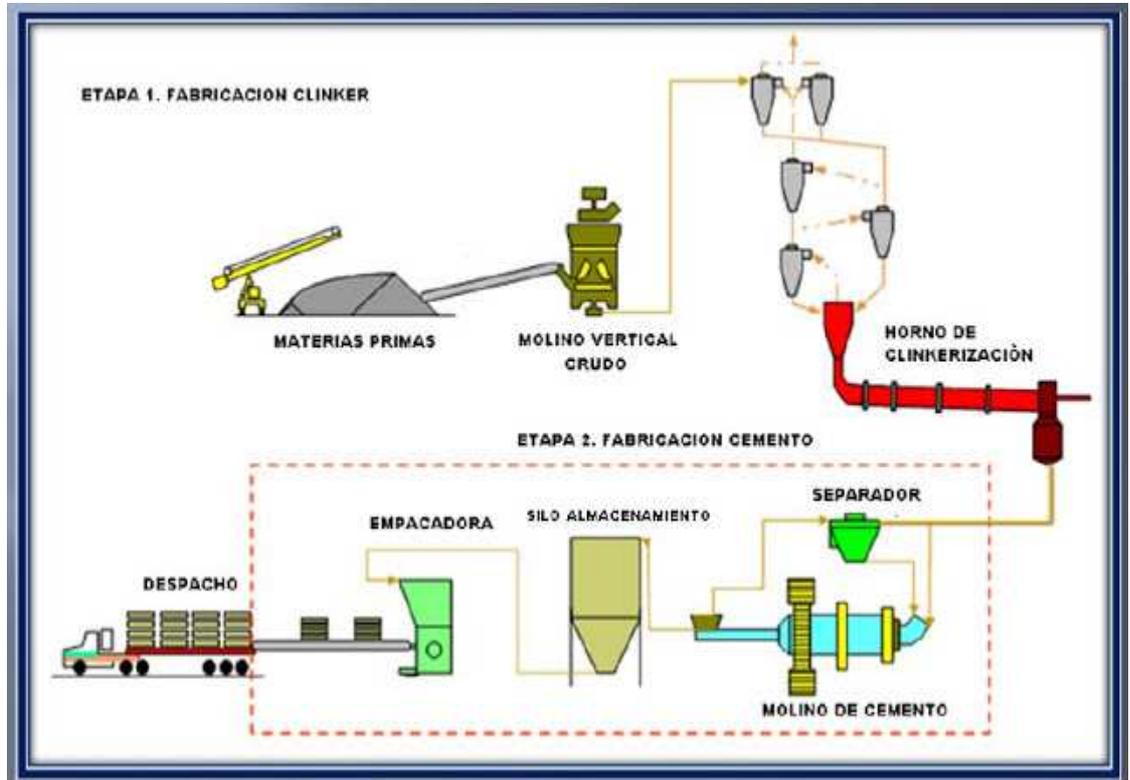


Ilustración 1: Proceso de fabricación del cemento. Tomada de (Hernández, 2011)

2.2 Materiales de Sustitución del Cemento

El hormigón es uno de los materiales de construcción que se utiliza en proporciones masivas al rededor del mundo, y el cemento Portland es su ingrediente principal para elaborarlo, no obstante durante su preparación hay un conspicuo consumo energético y grandes volúmenes de emisiones de contaminantes en su mayoría dióxido de carbono.(Agencia Iberoamericana para la Difusión de la Ciencia Y la Tecnología [DICYT], 2014)

En disposición de los materiales de reemplazo parcial del cemento es elogioso en lo que concierne a la durabilidad en ambientes agresivos, mejor permeabilidad y resistencia. Sus inconvenientes se encuentran en la presencia de bajas resistencias

iniciales, manejo de la mezcla y acentuada sequía, que requiere de un escrupuloso curado. En habitual, se reconoce que para la eficiencia de estas adiciones al hormigón se requiere estudios científicos y tecnológicos.(Calleja, 1982)

Adicionalmente (Calleja, 1982) señala que el empleo de superplastificantes en este caso acelerantes de fraguado pueden ayudar a rebajar la retracción plástica y restringida, al mejorar el desempeño reológico de los hormigones jóvenes.

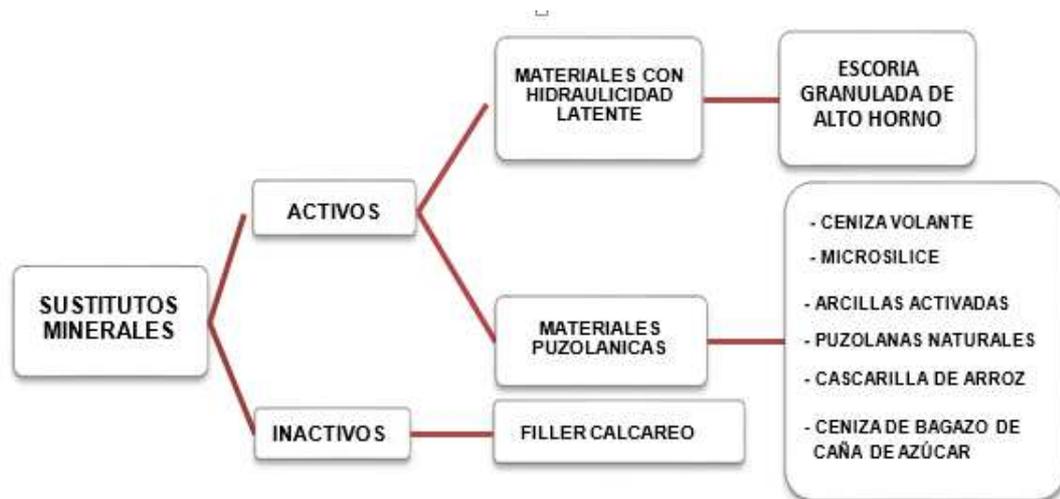


Ilustración 2: Sustitutos Minerales del Cemento Portland. Tomada de Maldonado (2016)

Si bien es cierto el hecho de obtener malos resultados en cuanto a la resistencia mecánica a corto plazo de los hormigones hechos con cemento Portland y adiciones minerales se puede tomar como algo desfavorable, no se puede dejar a un lado las ventajas, como lo son: mayor plasticidad en pasta y mortero, manejabilidad de la mezcla en hormigón; menor calor de hidratación y retracción; a su mayor resistencia química a los ataques erosivos de los determinados ambientes, pero sobre todo al aumento de resistencia a compresión con el tiempo.

Es decir siempre se debe tener en cuenta que se obtendrá una menor resistencia al principio utilizando adiciones con el cemento Portland en hormigones, en comparación con el normal, EEUU aconseja las adiciones minerales en la mezcla, esto llama la

atención por cierto pero también recomiendan medidas de curado y plazos de desencofrado. (Calleja, 1983)

Algo muy importante es el factor económico que las sustituciones parciales del cemento aportarían, disminuyendo así el consumo de materias primas por parte de estos cementos y utilización de recursos.

2.3 Puzolanas

La puzolana es un material inorgánico, natural o fabricado, silicoso o alúmino-silicoso, que puede mostrar propiedades aglomerantes cuando se muele en sagacidad de líquido e hidróxido de calcio. (Dopico et al., 2008)

Se consideran frecuentemente como puzolanas los materiales que, carentes de propiedades cementicias y de capacidad hidráulica por sí solos, contienen constituyentes que se combinan con cal a temperaturas ordinarias y en sagacidad de agua, dan como resultados compuestos permanentemente insolubles y estables que se comportan como conglomerantes hidráulicos. Por lo tanto, las puzolanas dan propiedades cementantes a un conglomerante no hidráulico como es la cal. (Salazar, Alejandro, 2002)

Entre los materiales que se destacan por aportar ventajas al hormigón se encuentran las puzolanas, dado que aporta mayor resistencia a los ataques químicos y agresivos con acidez.

Las puzolanas son materiales naturales o artificiales en su mayoría tienen un elevado porcentaje de sílice o sílice-alúmina que mezcladas con el cemento, dan resultado a hormigones con mayor densidad e impermeabilidad, menor calor de hidratación y también ayuda a resistir expansiones ocasionadas por la cal libre, magnesia libre, etc. Son mayormente empleadas en construcciones de bases y sub-bases de vías terrestres, obras marítimas, obras de gran cantidad de hormigón (masivas) como lo son: presas, cimentaciones de alto desplante, muros portantes, etc.; y hormigones en general, donde el alto de sulfatos del medio es importante.

Es importante conocer que los elementos puzolánicos agregados al hormigón, no endurecen por cuenta propia cuando se aglutinan con agua, se necesita que sean finamente molidos, es ahí cuando en presencia de agua reaccionan, a temperatura normal, en presencia de hidróxido de calcio diluido $[Ca(OH)_2]$ dando resultado a compuestos de silicato de calcio y aluminato de calcio aptos de aumentar resistencia.

Las puzolanas están principalmente formados por sílice (SiO_2) y alúmina (Al_2O_3), además de óxido de hierro (Fe_2O_3) y otros óxidos en menores cantidades. La proporción de sílice (SiO_2) no debe ser menor del 25% en masa para ser considerado como puzolana un material. (Sanjuán Barbudo & Chinchón Yepes, 2004, p. 28,29).

Day (trad. Por Quiñónez, 2010) citado por (Rosales, 2012, p. 42) argumenta que las puzolanas tienen las propiedades para disminuir el costo de la construcción. Estos materiales al ser mezclados como cemento Portland para producir cemento puzolánico, los cuales pueden suplantar al cemento Portland normal, normalmente empleado en edificaciones de hormigón, bloques y mortero de mampostería, ladrillos, etc. La energía que se requiere para producir cemento puzolánico es esencialmente menor que la del cemento Portland; en tal sentido, la puzolana no requiere fabricación, es un subproducto de industrias.

2.3.1 Composición química de las Puzolanas

La composición química de una puzolana no es constante, pero generalmente los compuestos que lo forman son: Sílice, óxidos de aluminio, óxido ferroso; compuestos cristalinos de sodio, magnesio y potasio entre otros; y carbón en pequeña cantidades. (Ruskulis, 2009)

Según la norma ASTM C-618 para que un material pueda ser considerado como puzolana la suma de óxido de silicio (SiO_2), óxidos de aluminio (Al_2O_3) y óxido ferroso (Fe_2O_3) como mínimo debe ser el 60% de su composición.

2.3.2 Causas de la actividad puzolática

La actividad puzolánica se argumenta de manera general en sus componentes principales: sílice y alúmina, estos materiales cuando reaccionan con la cal crean uniones endebles. Las causas de esto son las estructuras zeolíticas, vidrios volcánicos, estructuras de gel y minerales activados (amorfos). (Soria, 1983)

No pueden dejarse a un lado las actividades de la sílice y alúmina, la existencia de estas aporta de manera importante la acción puzolánica, al estar presentes contribuyendo un mayor contenido de álcalis, dando como resultado nuevos productos debido a la reacción puzolánica. Por otro lado el otro componente

principal, el óxido de hierro actúa similarmente como la alúmina, sin embargo es más lenta. Por lo que se refiere a las puzolanas de naturaleza mineral, su energía se ha atribuido tanto a los constituyentes amorfos como a los cristalinos, y en conjunto a los de naturaleza zeolítica. La gran reactividad de las puzolanas tanto naturales como artificiales, depende así mismo de su constitución química y mineralógica, y de la puntuación de grado amorfo o vítreo, de su gran superficie reactiva, de la sagacidad de álcalis, alcalinotérreos y de la concentración de grupos como SiO_4 , AlO_4 . (Salazar, Alejandro, 2002)

2.3.3 Uso de adiciones puzolánicas en el hormigón

El adiconamiento de minerales que tengan alta finura en su composición pueden incrementar los atributos del hormigón positivamente. Tales pueden ser como: el mejoramiento de compacidad o efectos físico-químicos como los nuevos productos subsecuentes de la reacción puzolánica. Los resultados de estos casos son similares, la porosidad y tamaño de los poros se hacen más pequeños. El uso de puzolanas puede mejorar las propiedades del hormigón como: menor deformación, durabilidad y cualidades mecánicas. (Dopico et al., 2008).

Según varios autores (Shannang y Yeginobali, 1995; Singh, 2000) citado por (Dopico et al., 2008) en hormigones de resistencias estándares, se añaden puzolanas para disminuir costos e incrementar valores de resistencia y durabilidad de la mezcla. Es por ello que las puzolanas ayudan a densificar los sólidos presentes en el hormigón, pero su principal función es la proveer silicato cálcico hidratado adicional cuando se produce la reacción entre el agua y el cemento Portland. Esta reacción se produce lentamente en las puzolanas, obteniendo resultados después de algunas semanas realizada la mezcla. Algunas puzolanas altamente reactivas son incorporadas en el hormigón para incrementar resistencia y durabilidad en mayores edades.

En hormigones de alto y ultra rendimiento, el fin principal es perfeccionar la distribución del tamaño de las partículas, especialmente las finas. Según (Malhotra y Mehta, 1996; Zhang et al., 1996; Aitcin, 2000) citado por (Dopico et al., 2008). El uso de superplastificantes concede conglomerados con baja relación agua-cemento. Esto hace que el hormigón resultante adquiera alta resistencia, alta compacidad además de baja porosidad, la sustitución de puzolanas por cemento en

estas mezclas es menos del 15%. Tradicionalmente, en hormigones adicionados con cenizas volantes, las adiciones de superplastificantes son mayores que en los hormigones de cemento Portland ordinario, por ende la relación de agua-cemento es más baja.

Las adiciones puzolánicas tienen dos funciones importantes. Las pequeñas partículas puzolánicas se acomodan y rellenan espacios vacíos entre los granos de cemento y las otras adiciones mejoran la compacidad de la mezcla. En una investigación desarrollada por (Lam et al., 2000; Qualin et al., 2003) citado por (Dopico et al., 2008) explica que “menos del 20% de las adiciones puzolánicas reacciona, pero esto no compensa con el bajo nivel de hidratación alcanzado, sino que es atribuida a la contribución de la interacción eléctrica entre las partículas más finas de las cenizas volátiles”.

2.4 Reacción puzolánica en el hormigón

La reacción puzolánica en el hormigón es importante después de los 7 días, cuando los elementos del cemento ya se han formado, esto ayuda a que la concentración alcalina sea notable para descomponer los enlaces y constituir productos de reacción del cemento. Generalmente muchos casos y en consecuencia de la reactividad puzolánica, estas reacciones finalizan luego de dos meses, así lo describe (Shannang y Yeginobali, 1995; Jamal, 1995; Malhotra y Mehta, 1996) citado por (Dopico et al., 2008). Sin embargo, la adición de gran cantidad de puzolana es perjudicial para la mezcla dado que incrementa la auto-neutralización por el excesivo consumo de hidróxido de calcio durante la reacción puzolánica. El decremento de pH, puede producir una disolución de otros elementos de reacción y finalmente destruir la matriz cementicia. (Richardson & Groves, 1997).

2.5 Clasificación según su origen

Las puzolanas, según su fuente, se clasifican en dos grandes grupos: naturales y artificiales. Es importante aclarar que algunas puzolanas naturales son impuestas a tratamientos térmicos para su activación, iguales a los que se aplican para obtener puzolanas artificiales, con el fin de mejorar sus propiedades. Es por ello que estas

puzolanas naturales dado el tratamiento que reciben se pueden considerar artificiales. (Rosales, 2012).



Ilustración 3: Clasificación puzolanas. Tomado de (Salazar, 2002) Maldonado (2016)

2.5.1 Puzolanas Naturales

Puzolanas naturales suelen tener dos orígenes: el uno mineral y otro orgánico. Las puzolanas naturales minerales son resultados de transformación de polvo y de origen volcánico, son ricos en vidrio y son materiales reactivos, capaces de ser cementantes. Generalmente por acción atmosférica se convierten en tobas, es decir rocas volcánicas, las cuales se encuentran: consolidadas, compactas, cristalinas o vítreas, según su creación. Las características de estas rocas está ligado a los procesos de enfriamiento que han sufrido, es decir a la velocidad a que las grandes masas de lava fluyen.(Salazar, Alejandro, 2002)

Según (Salazar, Alejandro, 2002) las puzolanas naturales origen orgánico son: “rocas sedimentarias abundantes en sílice hidratada y formadas en yacimientos o depósitos que en su origen fueron submarinos, por acumulación de esqueletos y caparzones de animales o plantas”.

2.5.2 Puzolanas Artificiales

Las puzolanas artificiales están formadas gracias a tratamientos térmicos convenientes. Es el caso de las cenizas volantes, que son subproductos procedentes de industrias. En el presente estas cenizas han tomado ventaja y son utilizadas con bastante frecuencia debido a sus ventajas económicas y técnicas, gracias a que es un material desechado y por lo que ha comentado anteriormente, mejora la calidad de los cementos en su: trabajabilidad y disminución de calor de hidratación, dado a su composición química. (Rosales, 2012)

Ciertas puzolanas requieren calcinación para convertirse en reactivas, a la fecha los mejores resultados se han obtenido a temperatura constante y controlada. Esta calcinación puede realizarse en hornos simples. Materiales que no hayan sido calcinados a una temperatura adecuada, pueden ser utilizados aunque con una reactividad menor. (Ruskulis, 2009).

Algunos ejemplos de esto son descritos por (Rosales, 2012):

- Arcillas activadas o calcinadas artificialmente: arcillas naturales no presentan actividad puzolánica a menos que reciban tratamiento térmico que sea capaz de destruir su estructura cristalina, con una temperatura promedio entre los 600 a 900 °C.
- Escorias de fundición: generalmente provienen de aleaciones ferrosas de altos hornos, las cuales al ser enfriadas rápidamente adquieren estructuras amorfas.
- Las cenizas de residuos agrícolas: la ceniza de bagazo de caña de azúcar, cuando es calcinada apropiadamente, se logra un material valioso en sílice y alúmina.

2.6 Ceniza de Bagazo de Caña de azúcar (CBCA)

El bagazo de caña de azúcar una vez calcinado en las calderas industriales, da área a la CBCA, El residuo de la ceniza de bagazo de caña (CBCA) se obtiene en el fondo de la caldera y como cenizas volátiles, este material es considerado puzolánico por algunos investigadores por presentar en su composición gran cantidad de sílice y alúmina. (Vidal, Torres, González, 2014)

2.7 Caña de azúcar en el Ecuador

La caña de azúcar es un cultivo de alta importancia en nuestro país, del cual se obtiene un producto que es vital y forma parte del día a día del ser humano como lo es: el azúcar y es fundamental de muchos alimentos de consumo intensivo.

Además el azúcar es considerada como uno de los principales productos de producción en América Latina y por consiguiente en el Ecuador también. Según datos del Banco Central del Ecuador y la CFN informan que: la producción de caña de azúcar contribuyen el 1,4% del PIB nacional y generan aproximadamente 100.000 empleos.

Las principales industrias azucareras en el Ecuador que cubren el 90% de producción según la CFN son: San Carlos, Valdez, La Troncal, Isabel María, IANCEM y Monterrey. Las dos últimas mantienen su producción durante todo el año por estar ubicadas en la Sierra mientras que las demás solo durante épocas del año debido a las sequías de la Costa. El área de sembrado se encuentra distribuido por provincias de la siguiente manera: el 72.4% en el Guayas, 19.60% en el Cañar, el 4.20% en el Carchi e Imbabura, el 2.4% en Los Ríos, y el 1.40% en Loja.

2.8 Proceso de obtención de la ceniza de bagazo de caña de azúcar

Durante los últimos años los ingenios ecuatorianos orientan sus actividades de cosecha hacia altos tonelajes de caña por hectárea, es importante recalcar que la mayor cantidad de azúcar se encuentra en el tallo.

Esto significa que en nuestro país y principalmente en la provincia del Guayas se podrá tener un constante abastecimiento de este material y que puede ser utilizada en pro del sector constructivo.

El comienzo de elaboración de la CBCA empieza con la arribada de la caña de azúcar a los ingenios azucareros donde se extrae el líquido dulce, éste se clarifica y a posteriormente se cristaliza para independizar el azúcar. La caña se exprime generalmente en un molino que pasa el tallo entre tres o cuatro elementos de acero, que exprimen los tallos y sacan todo el jugo. El resultado de este proceso da lugar al bagazo, el cual es usado para fabricar papel y como combustible para hacer funcionar las calderas. Estas calderas alcanzan temperaturas entre 800°C a 1000°C. De las calderas se adquiere la ceniza de bagazo de azúcar, este es almacenado en

albercas, para después ser transportado en volquetes a los campos de sembrío para ser utilizado como abono. La elaboración de ceniza es directamente proporcional a la fabricación de azúcar, debido a que el bagazo es gastado como carburante de las calderas y estas tienen un funcionamiento constante. (Coyasamín, 2016)

2.9 Ceniza de bagazo de caña de azúcar como material puzolánico

Las puzolanas se refieren a la capacidad que tiene un elemento, en naciente casualidad la CBCA, de reaccionar con el hidróxido de calcio proveniente de la hidratación del cemento, generando mayor categoría de reacción y por ende aumentando a su beneficio las propiedades mecánicas de los materiales de construcción en base al cemento. Esto dependerá de la mezcla que se realice y de una cantidad que sea adecuada para obtener resultados positivos.

Según (Ganesan, Rajagopal, & Thangavel, 2007) cuando se añaden materiales puzolánicos al cemento, la sílice (SiO_2) presente en estos materiales reacciona con la cal libre liberada durante la hidratación del cemento y forma calcio adicional. Hidrato de silicato (CSH) como nuevos productos de hidratación, que mejoran las propiedades mecánicas en el hormigón. La ceniza producida por quema controlada de agromateriales de desecho por debajo de los $700\text{ }^\circ\text{C}$ de temperatura de incineración durante una hora transforma el contenido de sílice de la ceniza en fase amorfa y la reactividad de esta amorfo-sílice es directamente proporcional a la superficie específica de ceniza. La ceniza así producida es pulverizada o molida. Se requiere finura y se mezcla con cemento para producir cemento mezclado. Las propiedades de la ceniza agrícola dependen del tiempo de combustión, temperatura, tiempo de enfriamiento y condiciones de molienda.

Una investigación realizada en Sao Paulo, Brasil a cargo de (Moraes, J et al., 2017) señala que la ceniza de la caña de azúcar después de ser valorada química y físicamente puede ser utilizada como material puzolánico. La ceniza presenta una considerable cantidad de sílice amorfa, componente principal que componen a las puzolanas, por ello se la puede utilizar para sustituir parcialmente el cemento Portland en la fabricación de hormigón.

La ceniza de bagazo de caña de azúcar, un subproducto de la producción de azúcar y alcohol, es un material puzolánico potencial. Sin embargo, su aplicación efectiva en el mortero y el hormigón requiere primero el uso controlado de los procesos de trituración y clasificación para permitirle alcanzar la pureza y la homogeneidad que se requieren para cumplir con los estándares de la industria. (Cordeiro, Toledo Filho, Tavares, & de Moraes Rego Fairbairn, 2009)

2.10 Antecedentes del uso de la ceniza de bagazo de caña para la elaboración de hormigón

En 2014 el Instituto Politécnico Nacional de México propuso la reducción del contenido de cemento en el hormigón, reemplazándolo por productos derivados por las industrias, semejante al caso de la ceniza del bagazo de la caña que en su mayoría es desechado. Se trató de una investigación llevada a cargo del doctor Pedro Montes García, quien explica que “En la composición química de la ceniza de bagazo de caña predomina el óxido de silicio con contenidos de alúmina y óxido de hierro, que pueden reaccionar con el hidróxido de calcio en la hidratación del cemento y producir materiales que mejoren las propiedades mecánicas y durabilidad en el hormigón”.(Agencia Iberoamericana para la Difusión de la Ciencia Y la Tecnología [DICYT], 2014)

Un trabajo de investigación llevado a cabo por (Prashant & Vyawahare, 2013a) consistió en realizar el análisis de tamiz de las cenizas de bagazo según el estándar indio. Se procesaron los resultados para el diseño de la mezcla para lograr la resistencia y calidad del hormigón requeridas. A partir de esto en el hormigón se verificó parámetros de trabajabilidad al realizar el cono de asentamiento y la prueba de factor de compactación en él, seguido de moldeo de los cubos de hormigón para futuras investigaciones. Para llevar a cabo las investigaciones de resistencia, se moldearon un total de 45 cubos de hormigón y 15 especímenes cilíndricos. En el diseño de hormigón, se estimaron cantidades de ceniza de caña de azúcar bagazo para 0, 10, 20, 30 y 40% de reemplazo por volumen de cemento. La relación de cemento se mantuvo en 0,40 y la dosis de superplastificante se mantuvo constante en 0,8%. Los especímenes de hormigón fundido fueron

curados bajo condiciones estándar en el laboratorio y probado para 7 días y 28 días de resistencia a la compresión.

Según mencionan (Prashant & Vyawahare, 2013b). Los resultados obtenidos de la prueba de resistencia a la compresión para todas las mezclas demuestran como conclusión que la resistencia a la compresión de las muestras al 10% de reemplazo de CBCA fue mayor que los del 0% de CBCA. Un aumento adicional en el porcentaje de CBCA resulta en una disminución de la resistencia a la compresión junto con una caída significativa en las propiedades en el hormigón. También se indica que la tasa de aumento de la resistencia de las mezclas con CBCA es mayor en los días posteriores que pueden ser debidas a las propiedades puzolánicas de la ceniza de bagazo de caña de azúcar.

Otro estudio en India realizado por (Ganesan et al., 2007) menciona que, la resistencia a la compresión de las muestras de hormigones mezclados con CBCA adicionando 10% y 20% en volumen de cemento a la mezcla para 7, 14, 28 y 90 días de curado aumentan. La resistencia a la compresión del hormigón alcanza valores equivalentes a los de los especímenes de control. Es interesante observar que el valor de resistencia a la compresión de 7 días de hormigón con 10% de CBCA es equivalente al valor de resistencia a la compresión de 14 días del espécimen de control y el valor de resistencia a la compresión de 14 días de hormigón con 10% de CBCA es equivalente al valor de resistencia a la compresión de 28 días de la muestra de control. Además, el valor de resistencia a la compresión a los 28 días de hormigón con 10% de CBCA es equivalente al valor de resistencia a la compresión a 90 días de la muestra de control. El aumento relativo en la resistencia a la compresión de los hormigones mezclados con 10% de CBCA en comparación con el hormigón de control alcanza el valor máximo (24.5%) a los 7 días de curado. A los 14, 28 y 90 días, el aumento relativo de la resistencia disminuye. Esto confirma el hecho de que el hormigón con CBCA hasta un 10% desarrolla una resistencia a la compresión temprana en comparación con las muestras de hormigón de control. Las razones para el desarrollo temprano de la resistencia a la compresión de los hormigones de CBCA y el aumento en la resistencia a la compresión hasta el 10% del reemplazo de cemento con CBCA

puede deberse al contenido de sílice, la finura, la fase amorfa, el área de superficie específica, el grado de reactividad de la CBCA y la reacción puzolánica entre hidróxido de calcio y sílice reactiva presente en CBCA en el medio alcalino. Al 25% y 30% de adición de CBCA, la resistencia disminuye a un valor menor en comparación con la de las muestras de control. Por lo tanto, el 10% de adición de CBCA parece ser el límite óptimo.

En la misma investigación desarrollada por (Ganesan et al., 2007) señala que para la propiedad de permeabilidad al agua de especímenes de hormigón mezclado con CBCA, a los 28 días de curado, el porcentaje de absorción de agua aumenta con el contenido de CBCA. Esto se debe al hecho de que las partículas de ceniza son más finas que el cemento Portland y también es de naturaleza higroscópica (capacidad de una sustancia de absorber humedad). El porcentaje de valores de absorción de agua se redujo considerablemente (50%) después de 90 días de curado. Esto se debe al cierre gradual de los poros. Obviamente, con un curado prolongado, la adición de CBCA conduce a la reducción de vacíos permeables. A partir del coeficiente de absorción de agua de especímenes mezclados con CBCA, se observa que a los 28 días de curado, los valores del coeficiente de absorción de agua disminuyen progresivamente con el aumento de CBCA, y sólo al 30% de CBCA hay un aumento significativo en coeficiente de valor de absorción de agua. A los 90 días de curado los valores son más bajos, lo que indica que el curado prolongado de hasta 90 días puede resultar beneficioso en este sentido. También se observa que al 10% del contenido de CBCA, las muestras de hormigón muestran aproximadamente un 40% de reducción en el coeficiente del valor de absorción de agua.

Un estudio realizado en India en años posteriores menciona que la ceniza de bagazo contiene principalmente óxido de aluminio y sílice. En este trabajo realizado por (Srinivasan, 2010), la ceniza de bagazo fue caracterizada química y físicamente, y parcialmente reemplazada en la proporción de 0%, 5%, 15% y 25% en peso de cemento Portland en hormigón. Se realizaron pruebas de hormigón endurecido como resistencia a la compresión, resistencia a la tracción dividida, resistencia a la flexión y módulo de elasticidad. Se ensayó a la edad de 7 y 28 días. El resultado muestra que la resistencia del hormigón incrementó con porcentaje de reemplazo de ceniza de bagazo.

Los resultados muestran que la CBCA en hormigón mezclado tuvo una compresión significativamente mayor, la resistencia a la tracción y la resistencia a la flexión se comparan con las del hormigón sin CBCA. Se encontró que el cemento podría ser reemplazado ventajosamente con CBCA hasta el límite máximo de 10%. Aunque, el nivel óptimo de contenido de CBCA se logró con un reemplazo del 10%. El reemplazo parcial de cemento por CBCA aumenta la trabajabilidad del hormigón fresco; por lo tanto el uso de superplastificante no es sustancial. La densidad del hormigón disminuye con el aumento del contenido de ceniza de bagazo de caña de azúcar.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Hipótesis

Hormigón adicionando porcentualmente cenizas de bagazo de caña de azúcar por peso de cemento Portland utilizado, influye en la resistencia a compresión y permeabilidad de la mezcla.

3.2 Variables de la hipótesis

3.2.1 Variable dependiente

Hormigón adicionando cenizas de bagazo de caña de azúcar.

3.2.2 Variable independiente

Resistencia a compresión y permeabilidad en el hormigón.

3.3 Nivel de investigación

Para la elaboración de este trabajo se realizó una investigación bibliográfica, puesto que se consultó y recopiló información de varios libros, artículos de revista, tesis, etc. Para obtener un contexto y elaborar el marco teórico.

Por otra parte se realizó una investigación de laboratorio, para realizar y analizar los ensayos pertinentes, en el CEINVES de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

3.4 Tipo de investigación

El presente trabajo de investigación es de tipo exploratorio, ya que se estudia e indaga la naturaleza de los hormigones, sus materiales, procesos y consideraciones al momento de realizarlos.

A su vez es de tipo descriptivo, relaciona las características de las materias primas, con el producto final que es el hormigón.

Además es experimental, se hará una comparación entre hormigón normal y hormigón adicionando un nuevo material alternativo que podría sustituir parcialmente el cemento Portland.

Por último es de tipo explicativo, ya que se indica las características, beneficios y procesos para elaborar hormigón adicionando un material de carácter puzolánico.

3.5 Muestra

El universo muestral de esta investigación, es la cantidad de cilindros para moldeo de hormigón que se realizó utilizando cenizas de bagazo de caña de azúcar y mezclas tradicionales, para ensayar la resistencia a la compresión y absorción de agua se realizó un promedio de una cantidad representativa para cada edad del espécimen, por ello para efectuar un análisis comparativo se decide trabajar con un total de 66 probetas de hormigón, a continuación la cantidad y tipo de mezcla:

- Hormigón normal, 35 días. (2)
- Hormigón normal, 90 días (2)
- Hormigón normal, 120 días (2)
- Hormigón normal con plastificante, 35 días. (2)
- Hormigón normal con plastificante, 90 días. (5)
- Hormigón normal con plastificante, 120 días. (5)
- Adición del 5% de ceniza de bagazo de caña de azúcar, 35 días. (4)
- Adición del 5% de ceniza de bagazo de caña de azúcar, 90 días. (10)
- Adición del 5% de ceniza de bagazo de caña de azúcar, 120 días. (10)
- Adición del 10% de ceniza de bagazo de caña de azúcar, 35 días. (4)
- Adición del 10% de ceniza de bagazo de caña de azúcar, 90 días. (10)
- Adición del 10% de ceniza de bagazo de caña de azúcar, 120 días. (10)

3.6 Técnicas e instrumentos:

- ❖ Técnicas
 - ✓ Ensayos de laboratorio
 - ✓ Observación
- ❖ Instrumentos de campo:

- ✓ Hormigonera
 - ✓ Balanza
 - ✓ Horno de secado
 - ✓ Máquina de compresión
 - ✓ Piscina de curado
 - ✓ Cilindros de PVC
 - ✓ Mascarilla
 - ✓ Herramientas varias
- ❖ Instrumentos de recolección de información:
- ✓ Fichas técnicas de ensayos realizados en el CEINVES

3.7 Procedimientos

3.7.1 Cenizas de bagazo de caña de azúcar

1. Recolección, la CBCA para la presente investigación fue proporcionada por el ingenio “San Carlos” ubicado en Av. Principal o Av. San Carlos, Cnel. Marcelino Maridueña. La Ceniza fue entrega luego de su debido proceso de calcinación con un color negro en su totalidad.

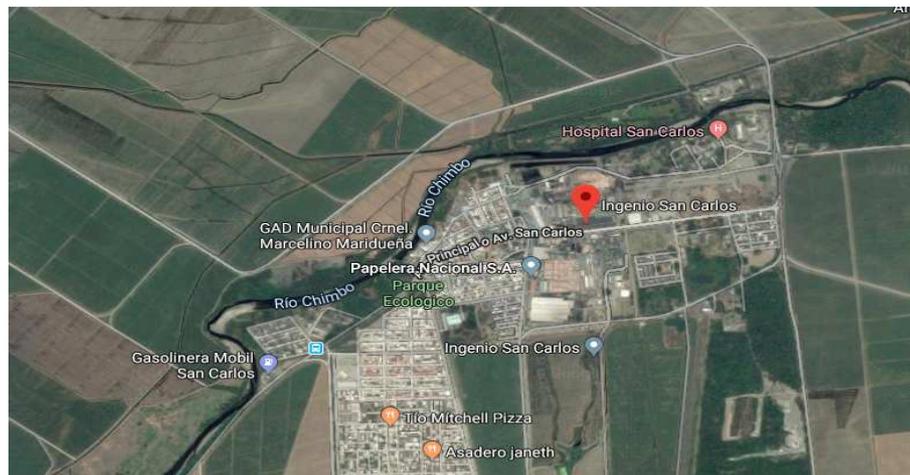


Ilustración 4: Ingenio San Carlos. Tomada de Google Earth

2. Análisis químico de contenido de sílice en un laboratorio especializado.

3.7.2 Granulometría de CBCA

Se realizó el ensayo de granulometría para la CBCA:

1. Escoger una muestra del material a ser ensayado, se tomó 0,5 kg de CBCA



Ilustración 5: pesaje de CBCA

2. Preparar y ordenar los tamices, verificar que estén limpios sin residuos de otros materiales, los tamices deben estar en orden y se debe verificar que los tamaños sean los correctos ($1\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{3}{8}$, #4, #8, #16, #30, #50, #100).



Ilustración 6: tamices en agitador mecánico. Fuente: Autor

3. Colocar los tamices uno encima del otro, en el fondo debe ir una tara, en la parte superior va el tamiz No. 200, seguido del tamiz No. 100 y así sucesivamente hasta que en la parte superior debe quedar el tamiz 1 ½” y finalmente se debe colocar el material en la parte superior y asegurar con la tapa.
4. Se procede a colocar la columna de tamices en el agitador mecánico por 1 minuto.
5. Se retiran los tamices y se pesa el material retenido en cada uno.



Ilustración 7: CBCA en tamices No. 100 y 200. Fuente: Autor

6. Se realizan las anotaciones respectivas tomando en consideración el peso de la tara.
7. La suma de los pesos de todos los tamices debe ser igual a la muestra de 0,5kg.



Ilustración 8: Pesaje de la muestra en tamiz No.100. Fuente: Autor

3.7.3 Procedimiento para realización de mezcla

Se realizaron 4 tipos de mezcla: hormigón normal, hormigón con acelerante de fraguado, hormigón con 5% de CBCA como adición porcentual del cemento Portland y hormigón con 10% de CBCA como adición porcentual del cemento Portland. La dosificación para el presente trabajo de tesis fue proporcionado por el tutor de esta investigación, se hizo una prueba de trabajabilidad y de manejo de la muestra, así se determinaron las cantidades adecuadas de cada material, de la misma manera para los hormigones mezclados con cenizas de bagazo de caña de azúcar, se adicionó un plastificante dadas las condiciones y requerimientos mencionados anteriormente, se usó Plastocrete 161 HE. En un recipiente se mezcló todos los materiales y se pudo obtener la cantidad adecuada de cada uno para luego realizar las equivalencias para el llenado de cilindros.



Ilustración 9: Ensayo para dosificar hormigón. Fuente: Autor

A continuación el procedimiento para el llenado de cilindros:

1. Se elaboró los cilindros de 10x20 cm con la ayuda de una cortadora de tubos, además se colocaron unos anillos y tapas hembras a cada cilindro



Ilustración 10: Elaboración de cilindros para moldeo. Fuente: Autor

2. Se calcularon las proporciones de cada material para colocar en la mezcla
3. Cada material fue pesado en una balanza



Ilustración 11: Pesaje del agregado grueso para la mezcla. Fuente: Autor



Ilustración 12: Pesaje del cemento para la mezcla. Fuente: Autor

4. Se colocaron todos los materiales en una hormigonera



Ilustración 13: Materiales en la hormigonera. Fuente: Autor

5. Una vez obtenida la mezcla se procedió a colocarla en los moldes cilíndricos previamente untados con aceite quemado.



Ilustración 14: Preparación de cilindros con aceite quemado. Fuente: Autor



Ilustración 15: Cilindros para llenado y herramientas. Fuente: Autor



Ilustración 16: Mezcla de hormigón con CBCA. Fuente: Autor

6. La mezcla se colocó en 3 capas, dando 25 golpes con una varilla de acero por cada capa y golpeando el cilindro con un martillo de goma para sacar todo el aire que sea posible, cuando el molde se llena con las 3 capas se enrasa con la misma varilla.

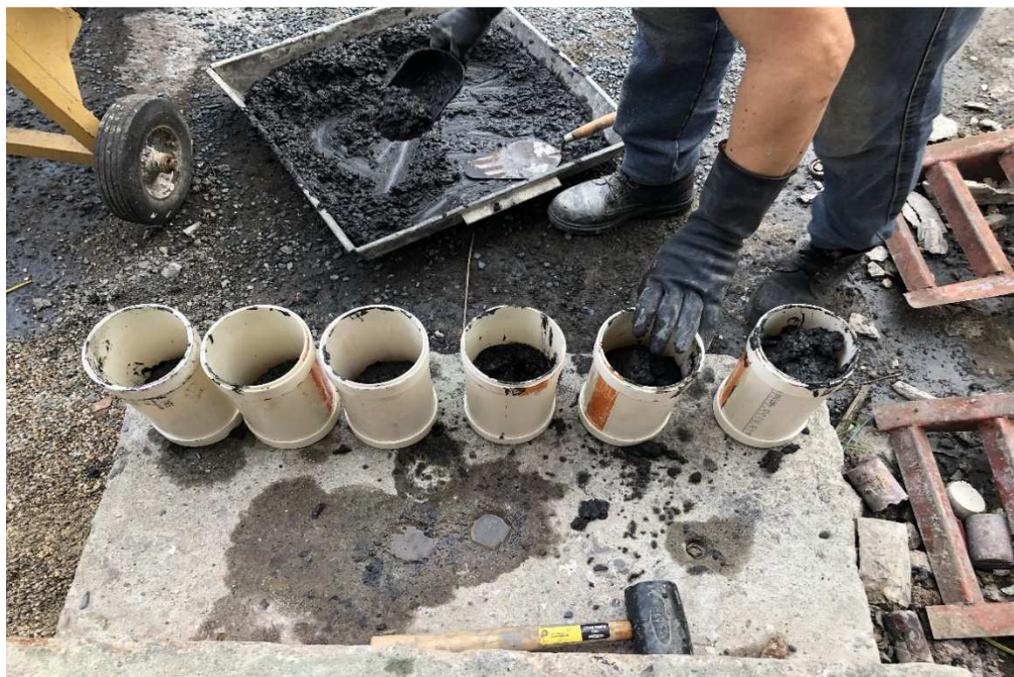


Ilustración 17: Llenado de cilindros. Fuente: Autor



Ilustración 18: Golpes con varilla de acero a la mezcla para quitar aire.

Fuente: Autor



Ilustración 19: Golpes con martillo de goma. Fuente: Autor



Ilustración 20: Se debe enrazar la última capa. Fuente: Autor



Ilustración 21: Cilindros de hormigón simple y hormigón con CBCA. Fuente: Autor

7. Luego de 24 horas se desmoldan los cilindros



Ilustración 22: Desmolde de cilindro de hormigón con CBCA. Fuente: Autor



Ilustración 23: Cilindros, luego de desmoldarlos. Fuente: Autor

8. Se colocan marcas a cada grupo de cilindros para diferenciarlos al momento de realizar el ensayo de resistencia a compresión.

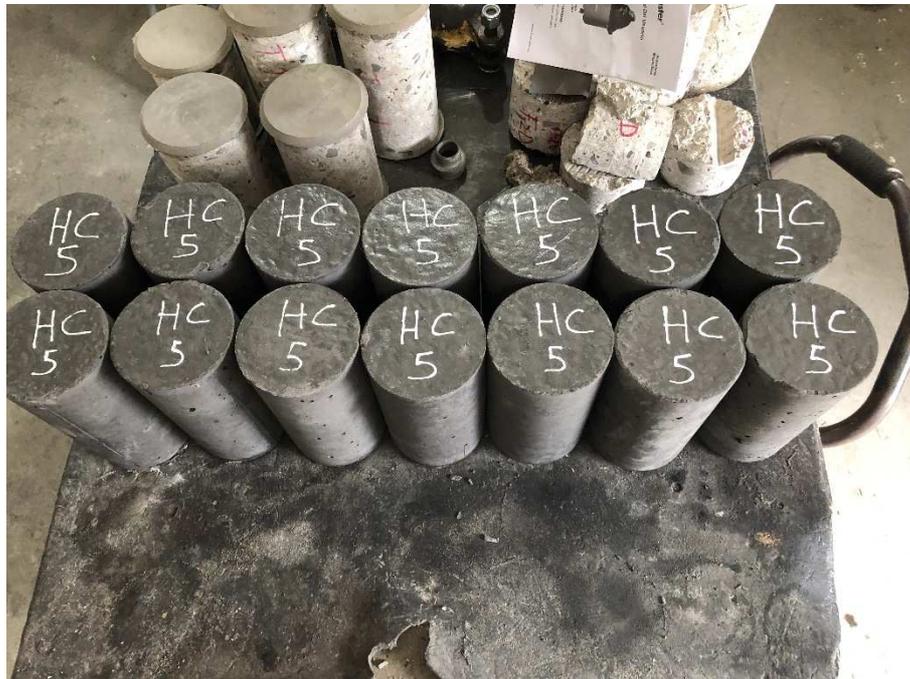


Ilustración 24: Nomenclatura hormigón con CBCA. Fuente: Autor



Ilustración 25: Nomenclatura hormigón simple. Fuente: Autor

9. Posteriormente se los coloca en una piscina de curado. Es importante que los cilindros estén en un lugar seguro, para evitar todo tipo de factor externo que pueda dañar las mezclas, se hizo la adecuación de una bodega en el CEINVES para el almacenamiento de los cilindros en una piscina de curado.



Ilustración 26: Adecuación de bodega para almacenamiento de cilindros en piscina de curado. Fuente: Autor

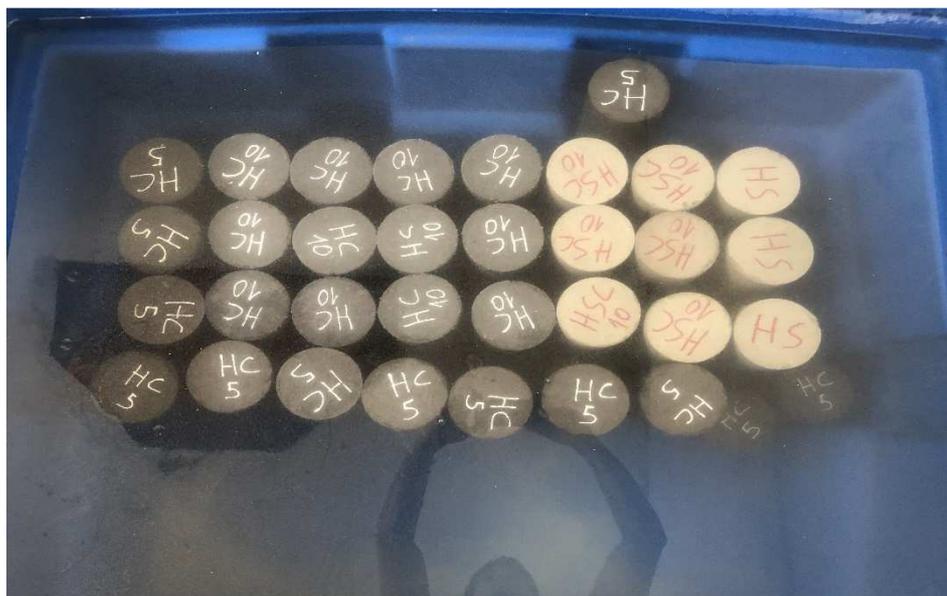


Ilustración 27: Cilindros en piscina de curado. Fuente: Autor

3.8 Procedimiento absorción de agua en las mezclas

Se realizó el ensayo de absorción de agua en el hormigón según la norma ASTM C 642 para determinar el porcentaje de absorción en las mezclas.

3.8.1 Absorción de probetas secadas en el horno

1. Se toma la probeta de la piscina de curado



Ilustración 28: Probetas tomadas de la piscina de curado. Fuente: Autor

2. Se procede a meter probeta en el horno por 24 horas a una temperatura de 105°C, para poder extraer el contenido de agua en la mezcla.



Ilustración 29: Probetas en el horno a 105 °C. Fuente: Autor

3. Pasadas las 24 horas, se saca del horno el material seco y se procede a pesarlos con la balanza digital. Este sería el peso seco al horno

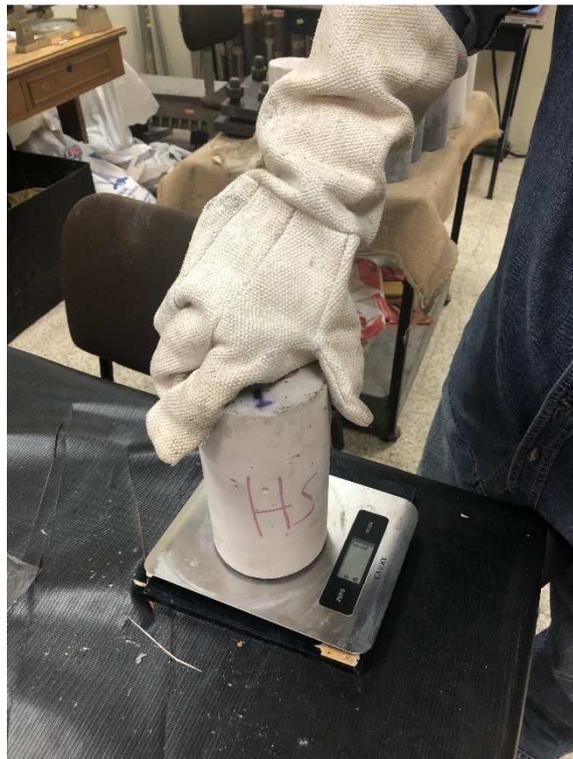


Ilustración 30: Pesaje de probeta secada al horno. Fuente: Autor

4. Se ingresa las probetas nuevamente en la piscina de curado, ya que se quiere saturar todos los poros. Se dejarán posarlas durante 24 horas sumergidas en agua.

5. Luego de 24 horas, se toma la probeta de la piscina de curado, se escurre cuidadosamente el agua. El exceso de agua, se lo puede secar con toallitas de papel.
6. Se procede a pesar la probeta y ese peso seria el peso saturado superficialmente seco.



Ilustración 31: Pesaje probeta saturada superficialmente seca. Fuente: Autor

El porcentaje de absorción se lo calcula de con la siguiente ecuación:

W_{SH} = Estado Seco al Horno

W_{SSS} = Estado Saturado Superficialmente Seco

$$\% \text{Absorción} = \frac{W_{SSS} - W_{SH}}{W_{SH}} * 100$$

3.9 Procedimiento para ensayo a compresión

El proceso se realizó de acuerdo a la norma ASTM C 39.

1. Se toma la probeta de la piscina de curado
2. Se toma el peso, se mide el diámetro y altura de la probeta



Ilustración 32: Medición de diámetro de la probeta. Fuente: Autor

3. Se coloca el cilindro en la prensa para comenzar el ensayo
4. En el lado más rugoso se coloca neopreno para que los resultados sean correctos
5. El ensayo se lo realiza aplicando una velocidad a la prensa (250-450 Kpa/seg)



Ilustración 33: Probeta en la prensa. Fuente: Autor

6. El resultado del ensayo se muestra en la prensa una vez que la probeta se rompe



Ilustración 34: Rotura de probeta. Fuente: Autor

7. La máquina de ensayo muestra un valor que equivale a la fuerza que soporta la probeta a compresión en KN, con ese valor y el valor del área de la sección transversal del cilindro se calcula la resistencia a compresión de esa muestra.
8. Se realiza el mismo procedimiento para los 4 tipos de mezcla y se comparan sus resultados.



Ilustración 35: Probetas ensayadas en la máquina de compresión. Fuente: Autor

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Análisis de laboratorio de la ceniza de bagazo de caña de azúcar

El análisis químico de la ceniza de bagazo de caña de azúcar lo realizó el Dr. Jorge Fuentes en los laboratorios de la ESPOL, se requería un análisis de contenido de óxido de silicio para determinar si puede el material ser considerado como puzolana. El laboratorio solicitó que se llevara varias muestras, para poder tener una muestra representativa y poder determinar un promedio. A continuación los resultados:

Tabla 2. Análisis de SiO₂ en cenizas

| | | |
|-------------------|-------------------|---------------------------|
| Laboradorista: | Dr. Jorge Fuentes | Ingreso: 08 de abril/2019 |
| Solicitado por: | Sr. Eduardo Vélez | Salida: 07 de mayo/2019 |
| Tipo de material: | Muestra # 1 | |
| Parámetro | Unidad | Ceniza de bagazo caña |
| SiO ₂ | % | 62,9 |

Nota: Elaborado por Dr. Jorge Fuentes

De acuerdo a los resultados presentados se llega a la conclusión de que las cenizas obtenidas del ingenio San Carlos para el presente trabajo tienen un 62,9% de SiO₂ (sílice) en su composición química, gracias a esto se puede clasificar al material como puzolánico, ya que varios autores afirman que el porcentaje mínimo de sílice en un material para ser considerado como puzolana es 25%.

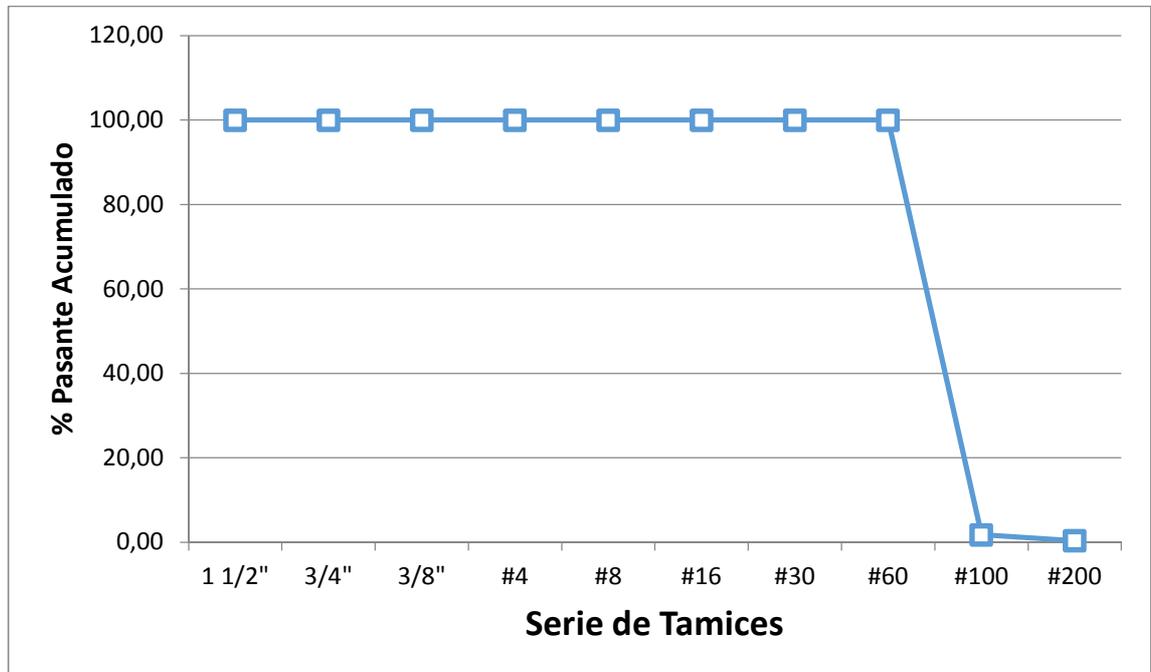
4.2 Granulometría de la CBCA

Tabla 3. Granulometría de la CBCA

| TAMIZ No. | PESO (g) RETENIDO PARCIAL | % RETENIDO PARCIAL | % RETENIDO ACUMULADO | % PASANTE ACUMULADO |
|------------|---------------------------|--------------------|----------------------|---------------------|
| 1 1/2" | 0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 3/4" | 0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 3/8" | 0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| #4 | 0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| #8 | 0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| #16 | 0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| #30 | 0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| #60 | 0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| #100 | 491 | 98,20 | 98,20 | 1,80 |
| #200 | 7 | 1,40 | 99,60 | 0,40 |
| FONDO | 2 | 0,40 | 100,00 | |
| Peso Total | 500 | M.F.= | 1,98 | |

Fuente: Autor

Gráfico 1. Granulometría CBCA



Fuente: Elaboración propia

Luego de realizar el ensayo de granulometría, se observa que es un material fino, que pudiera tener alta capacidad de absorción por sus elevadas superficies específicas, además se sabe como regla general que dependiendo del radio de las partículas, se aumenta la velocidad de reacción, factor que podría ayudar dada su condición puzolánica.

4.3 Dosificación de hormigones

El método de dosificación fue experimental como ya se mencionó anteriormente, fue proporcionado por el Ing. Luis Octavio Yépez Roca. Se realizaron 4 mezclas para poder comparar los resultados. La dosificación para 1m³ de hormigón fue la siguiente:

Tabla 4. Dosificación cilindros de control de hormigón simple

| Material | Volumen de 1/m ³ | |
|-----------------|-----------------------------|-------------------|
| Agregado grueso | 1020,31 | kg/m ³ |
| Agregado fino | 612,18 | kg/m ³ |
| Cemento | 408,13 | kg/m ³ |
| Agua | 159,38 | lt/m ³ |
| A/c | 0,39 | |

Fuente: Autor

Con esta dosificación se procedió a realizar las probetas cilíndricas de 10x20 cm de hormigón simple, para sus respectivos ensayos de resistencia a la compresión simple y absorción de agua en la mezcla para evaluar sus características permeables.

Tabla 5. Dosificación cilindros de Hormigón con aditivo sin ceniza

| Material | Volumen de 1/m ³ | |
|----------------------------|-----------------------------|-------------------|
| Agregado grueso | 1011,44 | kg/m ³ |
| Agregado fino | 606,85 | kg/m ³ |
| Cemento | 404,58 | kg/m ³ |
| Agua | 169,11 | lt/m ³ |
| Aditivo plastocrete 161-HE | 8 | lt/m ³ |
| A/c | 0,42 | |

Fuente: Autor

Con esta dosificación se procedió a realizar las probetas cilíndricas de 10x20 cm de hormigón simple con aditivo Sika plastocrete 161-HE, para sus respectivos ensayos de resistencia a la compresión simple y absorción de agua en la mezcla para evaluar sus características permeables.

Tabla 6. Dosificación cilindros de hormigón con 5% de CBCA

| Material | Volumen de 1/m ³ | |
|----------------------------|-----------------------------|-------------------|
| Agregado grueso | 1006,65 | kg/m ³ |
| Agregado fino | 603,98 | kg/m ³ |
| Cemento | 402,67 | kg/m ³ |
| Ceniza | 19,93 | kg/m ³ |
| Agua | 162,78 | lt/m ³ |
| Aditivo plastocrete 161-HE | 3,98 | lt/m ³ |
| A/c | 0,40 | |

Fuente: autor

Con esta dosificación se procedió a realizar las probetas cilíndricas de 10x20 cm de hormigón con 5% de CBCA como adición porcentual del cemento Portland y aditivo Sika plastocrete 161-HE, para sus respectivos ensayos de resistencia a la compresión simple y absorción de agua en la mezcla para evaluar sus características permeables.

Tabla 7. Dosificación cilindros de hormigón con 10% de CBCA

| Material | Volumen de 1/m ³ | |
|----------------------------|-----------------------------|-------------------|
| Agregado grueso | 993,35 | kg/m ³ |
| Agregado fino | 596 | kg/m ³ |
| Cemento | 397,35 | kg/m ³ |
| Ceniza | 39,33 | kg/m ³ |
| Agua | 166,1 | lt/m ³ |
| Aditivo plastocrete 161-HE | 7,87 | lt/m ³ |
| A/c | 0,42 | |

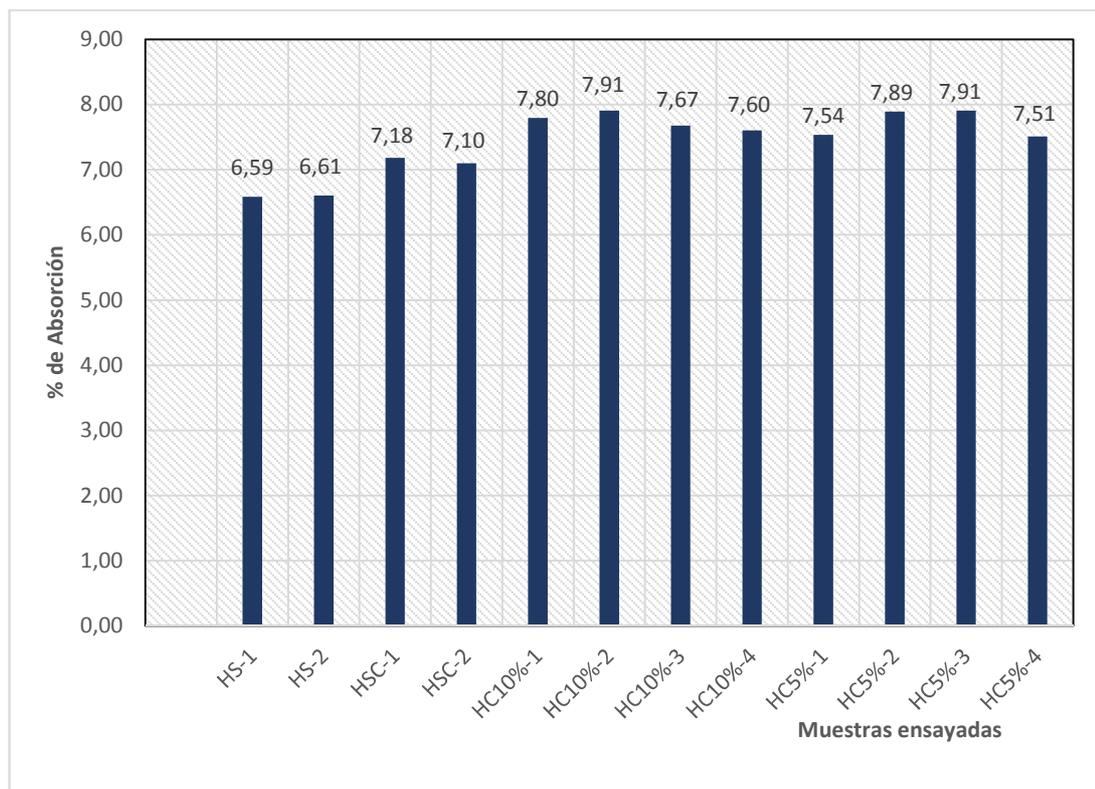
Fuente: autor

Con esta dosificación se procedió a realizar las probetas cilíndricas de 10x20 cm de hormigón con 10% de CBCA como adición porcentual del cemento Portland y aditivo Sika plastocrete 161-HE, para sus respectivos ensayos de resistencia a la compresión simple y absorción de agua en la mezcla para evaluar sus características permeables.

4.4 Análisis de laboratorio a los cilindros de hormigón elaborados

Con los resultados de porcentaje de absorción pasados los 28 días se procedió a realizar un cuadro de comparación para observar mejor los resultados.

Gráfico 2. Comparación porcentaje de absorción pasados los 28 días



Fuente: Autor

Como se puede observar en el gráfico 2. Las probetas de hormigón con 10% y 5% de CBCA como adición porcentual del cemento Portland en la mezcla presentan resultados similares siendo estas dos, los de mayor porcentaje de absorción. Sin embargo realizando un promedio por tipo de probetas ensayadas, la muestra que presenta mayor porcentaje absorción es la HC10% con un 7,75%.

4.4.1 Porcentaje de absorción de cilindros de hormigón pasados 28 días de su elaboración.

A continuación se presenta un resumen de los datos obtenidos para el ensayo de absorción en la mezcla pasados los 28 días de moldeo.

Tabla 8. Porcentaje de absorción de cilindros de hormigón pasados los 28 días

| Muestra | Elemento | Fecha Moldeo | Fecha Ensayo | Días | Diámetro mm | Altura mm | Peso SSS (g) | Peso seco (g) | % de absorción |
|---------|---|--------------|--------------|------|-------------|-----------|--------------|---------------|----------------|
| HS-1 | Hormigón simple | 03/04/2019 | 08/05/2019 | 35 | 104,00 | 202,00 | 4273 | 4009 | 6,59 |
| HS-2 | | 03/04/2019 | 08/05/2019 | 35 | 104,00 | 202,00 | 4277 | 4012 | 6,61 |
| HSC-1 | Hormigón + plastificante | 03/04/2019 | 08/05/2019 | 35 | 104,00 | 202,00 | 4194 | 3913 | 7,18 |
| HSC-2 | | 03/04/2019 | 08/05/2019 | 35 | 104,00 | 202,00 | 4224 | 3944 | 7,10 |
| HC10%-1 | Hormigón+ plastificante+ 10 % de CBCA | 03/04/2019 | 08/05/2019 | 35 | 104,00 | 202,00 | 4203 | 3899 | 7,80 |
| HC10%-2 | | 03/04/2019 | 08/05/2019 | 35 | 104,00 | 202,00 | 4204 | 3896 | 7,91 |
| HC10%-3 | | 03/04/2019 | 08/05/2019 | 35 | 104,00 | 202,00 | 4223 | 3922 | 7,67 |
| HC10%-4 | | 03/04/2019 | 08/05/2019 | 35 | 104,00 | 202,00 | 4260 | 3959 | 7,60 |
| HC5%-1 | Hormigón+ plastificante+ 5 % de CBCA | 04/04/2019 | 08/05/2019 | 34 | 104,00 | 202,00 | 4209 | 3914 | 7,54 |
| HC5%-2 | | 04/04/2019 | 08/05/2019 | 34 | 104,00 | 202,00 | 4197 | 3890 | 7,89 |
| HC5%-3 | | 04/04/2019 | 08/05/2019 | 34 | 104,00 | 202,00 | 4190 | 3883 | 7,91 |
| HC5%-4 | | 04/04/2019 | 08/05/2019 | 34 | 104,00 | 202,00 | 4224 | 3929 | 7,51 |

Nota: LABORATORIO DE ESTRUCTURAS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

CEINVES

PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

ASTM C 642

FECHA: 13-05-2019

PROYECTO: CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA MEJORAR RESISTENCIA Y PERMEABILIDAD DEL HORMIGÓN

Fuente: Autor



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

4.4.2 Resistencia a la compresión de las probetas pasados 28 días de su elaboración

A continuación se presenta un resumen de los datos obtenidos para el ensayo de compresión simple en la mezcla pasados los 28 días de moldeo.

Tabla 9. Resistencia a la compresión de las probetas pasados los 28 días de su elaboración

| Muestra | Elemento | Fecha Moldeo | Fecha Ensayo | Días | Diámetro mm | Altura mm | Peso g | Densidad Kg/m ³ | Carga KN | Resistencia Kg/cm ² |
|---------|---|--------------|--------------|------|-------------|-----------|--------|----------------------------|----------|--------------------------------|
| HS-1 | Hormigón simple | | | | | | 4009 | 2336,30 | 212,67 | 255,2 |
| HS-2 | | | | | | | 4012 | 2338,05 | 213,7 | 256,52 |
| HSC-1 | hormigón + plastificante | | | | | | 3913 | 2280,35 | 210,7 | 252,92 |
| HSC-2 | | | | | | | 3944 | 2298,42 | 209,4 | 251,36 |
| HC10%-1 | hormigón+ plastificante+ 10 % de CBCA | 03/04/2019 | | 35 | | | 3899 | 2272,19 | 199,8 | 239,83 |
| HC10%-2 | | | 08/05/2019 | | 104,00 | 202,00 | 3896 | 2270,45 | 196,7 | 236,11 |
| HC10%-3 | | | | | | | 3922 | 2285,60 | 206 | 247,28 |
| HC10%-4 | | | | | | | 3959 | 2307,16 | 199,5 | 239,47 |
| HC5%-1 | hormigón+ plastificante+ 5 % de CBCA | | | | | | 3914 | 2280,93 | 194,6 | 233,6 |
| HC5%-2 | | | | | | | 3890 | 2266,95 | 198,2 | 237,91 |
| HC5%-3 | | 04/04/2019 | | 34 | | | 3883 | 2262,87 | 200 | 240,07 |
| HC5%-4 | | | | | | | 3929 | 2289,68 | 204,6 | 245,6 |

Nota: LABORATORIO DE ESTRUCTURAS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
CEINVES

Resistencia a la compresión pasados los 28 días

ASTM C 39

FECHA: 13-05-2019

PROYECTO: CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA MEJORAR RESISTENCIA Y PERMEABILIDAD DEL HORMIGÓN

Fuente: Autor



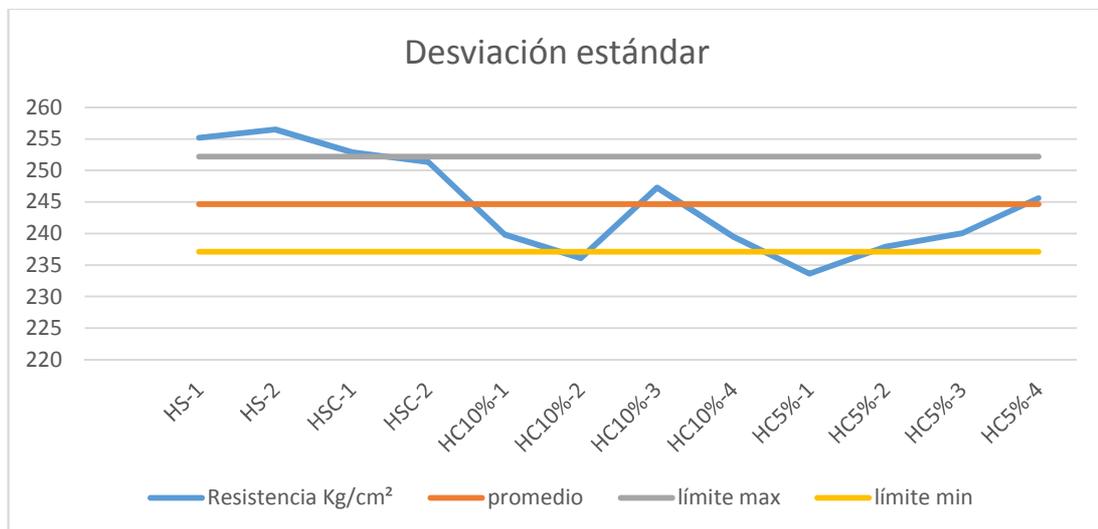
UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

Gráfico 3. Resistencia de las probetas de hormigón pasados los 28 días de su elaboración



Fuente: Autor

Gráfico 4. Desviación Estándar probetas de hormigón pasados los 28 días de su elaboración



Fuente: Autor

Luego de haber realizado el ensayo de resistencia a compresión simple, se puede observar que las resistencia de todas las probetas son similares, si bien es cierto la resistencia de los especímenes con ceniza no son mayores a los del hormigón

convencional, sin embargo no hay mucha diferencia, esto quiero decir que se puede añadir cenizas de bagazo de caña de azúcar, para corroborar con esta hipótesis, se debe ensayar las probetas a 90 y 120 días respectivamente para obtener resultados concluyentes y el valor adecuado de adición de CBCA, dado que varios autores afirman que los materiales puzolánicos se demoran un tiempo en reaccionar aproximadamente de 90 a 120 días como ya se mencionó anteriormente.

4.4.3 Porcentaje de absorción de cilindros de hormigón pasados 90 días de su elaboración.

A continuación se presenta un resumen de los datos obtenidos para el ensayo de absorción en la mezcla pasados los 90 días de moldeo.

Tabla 10. Porcentaje de absorción de cilindros de hormigón pasados los 90 días

| Muestra | Elemento | Fecha Moldeo | Fecha Ensayo | Días | Diámetro mm | Altura mm | Peso SSS (g) | Peso seco (g) | % de absorción |
|---------|------------------|--------------|--------------|------|-------------|-----------|--------------|---------------|----------------|
| HS-1 | Hormigón simple | 03/04/2019 | 03/07/2019 | 91 | 104,00 | 202,00 | 4285 | 4038 | 6,12 |
| HSC-1 | hormigón + | 03/04/2019 | 03/07/2019 | 91 | 104,00 | 202,00 | 4189 | 3978 | 5,30 |
| HSC-2 | plastificante | 03/04/2019 | 03/07/2019 | 91 | 104,00 | 202,00 | 4215 | 3993 | 5,56 |
| HC10%-1 | hormigón+ | 03/04/2019 | 03/07/2019 | 91 | 104,00 | 202,00 | 4227 | 4072 | 3,81 |
| HC10%-2 | plastificante+ | 03/04/2019 | 03/07/2019 | 91 | 104,00 | 202,00 | 4127 | 3994 | 3,33 |
| HC10%-3 | 10 % de CBCA | 03/04/2019 | 03/07/2019 | 91 | 104,00 | 202,00 | 4214 | 4035 | 4,44 |
| HC10%-4 | | 03/04/2019 | 03/07/2019 | 91 | 104,00 | 202,00 | 4202 | 4003 | 4,97 |
| HC5%-1 | hormigón+ | 04/04/2019 | 03/07/2019 | 90 | 104,00 | 202,00 | 4149 | 3954 | 4,93 |
| HC5%-2 | plastificante+ 5 | 04/04/2019 | 03/07/2019 | 90 | 104,00 | 202,00 | 4261 | 4080 | 4,44 |
| HC5%-3 | % de CBCA | 04/04/2019 | 03/07/2019 | 90 | 104,00 | 202,00 | 4144 | 3946 | 5,02 |
| HC5%-4 | | 04/04/2019 | 03/07/2019 | 90 | 104,00 | 202,00 | 4160 | 3966 | 4,89 |

Nota: LABORATORIO DE ESTRUCTURAS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

CEINVES

PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

ASTM C 642

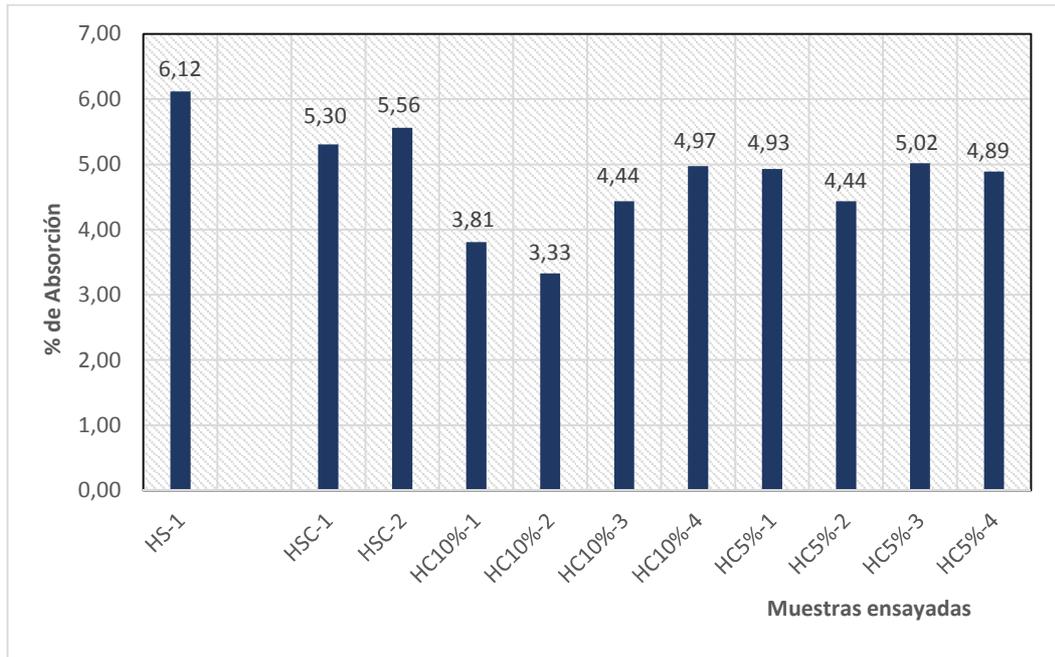
FECHA: 03-07-2019

PROYECTO: CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA MEJORAR RESISTENCIA Y PERMEABILIDAD DEL HORMIGÓN



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

Gráfico 5. Comparación porcentaje de absorción pasados los 90 días



Fuente: Autor

Los resultados obtenidos muestran que las probetas con 10% de ceniza de bagazo de caña de azúcar, presenta un menor porcentaje de absorción que las otras probetas, esto es indicativo de que la muestra ha desarrollado impermeabilidad, debiéndose al cierre gradual de los poros. Gracias a la prolongación de los días de curado algunas muestras redujeron su porcentaje absorción al agua aproximadamente el 50%. Esto quiere decir que con un curado prolongado, la adición de CBCA conduce a la reducción de vacíos permeables.

4.4.4 Resistencia a la compresión de las probetas pasados 90 días de su elaboración

A continuación se presenta un resumen de los datos obtenidos para el ensayo de compresión simple en la mezcla pasados los 90 días de moldeo.

Tabla 11. Resistencia a la compresión de las probetas pasados 90 días de su elaboración

| Muestra | Elemento | Fecha Moldeo | Fecha Ensayo | Días | Diámetro mm | Altura mm | Peso g | Densidad Kg/m ³ | Carga KN | Resistencia Kg/cm ² |
|---------|---------------------------------------|--------------|--------------|------|-------------|-----------|--------|----------------------------|----------|--------------------------------|
| HS-1 | Hormigón simple | 03/04/2019 | | 93 | | | 4285 | 2497,14 | 214,4 | 257,36 |
| HSC-1 | hormigón + plastificante | 03/04/2019 | | 93 | | | 4189 | 2441,19 | 213,6 | 256,4 |
| HSC-2 | | 03/04/2019 | | 93 | | | 4215 | 2456,35 | 219,6 | 263,61 |
| HSC-3 | | 03/04/2019 | | 93 | | | 4174 | 2432,45 | 218,7 | 262,52 |
| HC10%-1 | hormigón+ plastificante+ 10 % de CBCA | 03/04/2019 | | 93 | | | 4202 | 2448,77 | 257,5 | 309,10 |
| HC10%-2 | | 03/04/2019 | | 93 | | | 4227 | 2463,34 | 262,2 | 314,74 |
| HC10%-3 | | 03/04/2019 | | 93 | | | 4206 | 2451,10 | 253,7 | 304,54 |
| HC10%-4 | | 03/04/2019 | 05/07/2019 | 93 | 104,00 | 202,00 | 4214 | 2455,76 | 260,8 | 313,06 |
| HC10%-5 | | 03/04/2019 | | 93 | | | 4127 | 2405,06 | 255,3 | 306,46 |
| HC10%-6 | | 03/04/2019 | | 93 | | | 4216 | 2456,93 | 258,3 | 310,06 |
| HC5%-1 | hormigón+ plastificante+ 5 % de CBCA | 04/04/2019 | | 92 | | | 4194 | 2444,11 | 283,3 | 340,07 |
| HC5%-2 | | 04/04/2019 | | 92 | | | 4245 | 2473,83 | 281,9 | 338,39 |
| HC5%-3 | | 04/04/2019 | | 92 | | | 4310 | 2511,71 | 280 | 336,11 |
| HC5%-4 | | 04/04/2019 | | 92 | | | 4261 | 2483,15 | 279,8 | 335,87 |
| HC5%-5 | | 04/04/2019 | | 92 | | | 4239 | 2470,33 | 294,6 | 353,63 |
| HC5%-6 | | 04/04/2019 | | 92 | | | 4283 | 2495,97 | 297,4 | 357,00 |

Nota: LABORATORIO DE ESTRUCTURAS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

CEINVES

RESISTENCIA A COMPRESION DE CILINDROS DE HORMIGÓN

ASTM C 39

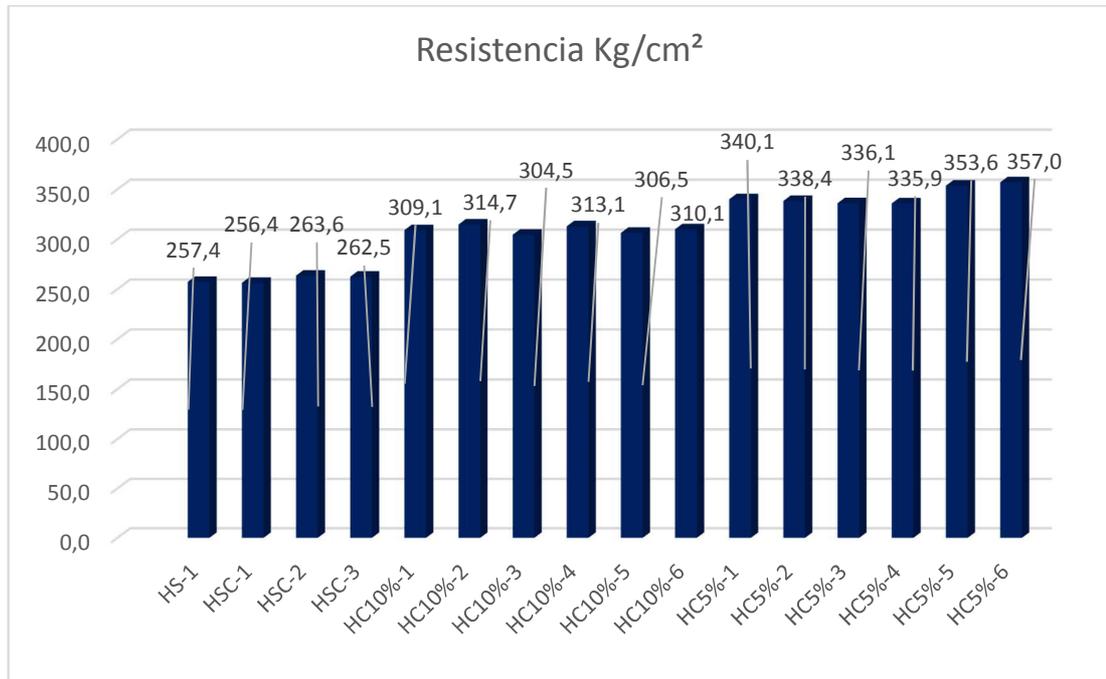
FECHA: 07-07-2019

PROYECTO: CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA MEJORAR RESISTENCIA Y PERMEABILIDAD DEL HORMIGÓN



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

Gráfico 6. Resistencia de las probetas de hormigón pasados los 90 días de su elaboración



Fuente: Autor

Gráfico 7. Desviación Estándar probetas de hormigón pasados los 90 días de su elaboración



Fuente: Autor

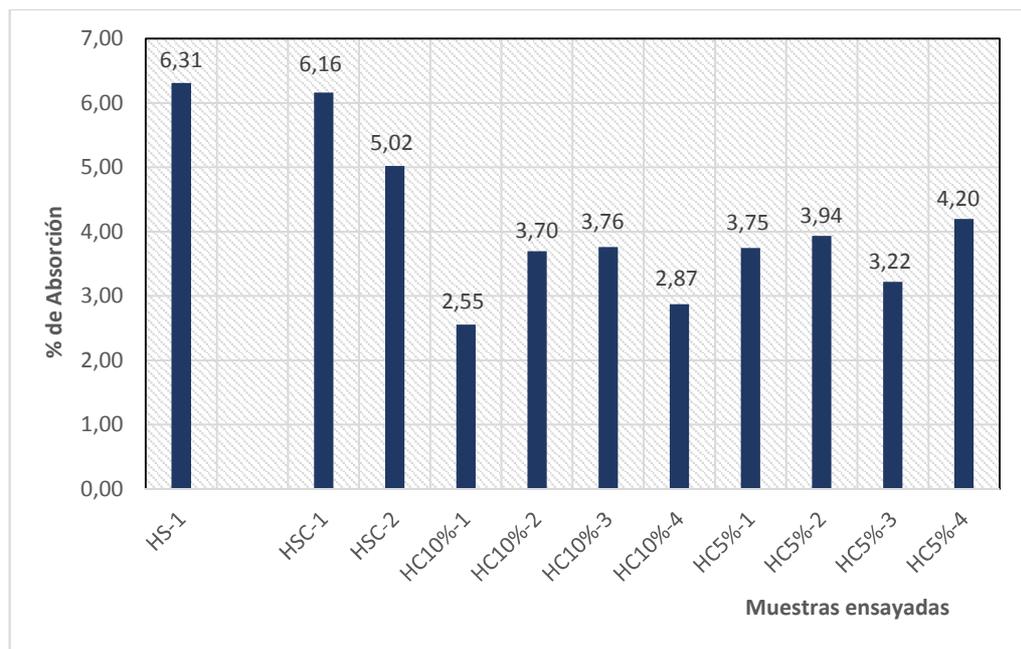
Luego de haber realizado el ensayo de resistencia a compresión simple, se puede apreciar que las resistencias de las probetas con contenido de CBCA han incrementado notablemente con respecto al hormigón normal. Las probetas con 10% de CBCA aumentaron aproximadamente un 30% de resistencia con respecto a los de 28 días, pero en las probetas de 5% de CBCA ha existido un mayor aumento de resistencia de aproximadamente el 40% con respecto a los resultados de los 28 días.

4.4.5 Porcentaje de absorción de cilindros de hormigón pasados 120 días de su elaboración.

A continuación se presenta un resumen de los datos obtenidos para el ensayo de absorción en la mezcla pasados los 120 días de moldeo.

En el gráfico 8, se presenta un resumen con los porcentajes de absorción.

Gráfico 8. Comparación porcentaje de absorción pasados los 120 días



Fuente: Autor

Se puede observar que la absorción de agua, se redujo notablemente en las muestras con CBCA, sin embargo las que poseen 10% de CBCA en su composición muestran mejores características impermeables, esto es debido a lo que se mencionó anteriormente, es decir se produce gracias al cierre de poros, así se comprueba el tardío efecto de la reacción puzolánica.

Tabla 12. Porcentaje de absorción de cilindros de hormigón pasados los 120 días

| Muestra | Elemento | Fecha Moldeo | Fecha Ensayo | Días | Diámetro mm | Altura mm | Peso SSS (g) | Peso seco (g) | % de absorción |
|---------|---|--------------|--------------|------|-------------|-----------|--------------|---------------|----------------|
| HS-1 | Hormigón simple | | | | | | 4295 | 4040 | 6,31 |
| HSC-1 | hormigón + plastificante | | | | | | 4151 | 3910 | 6,16 |
| HSC-2 | | 03/04/2019 | | 121 | | | 4184 | 3984 | 5,02 |
| HC10%-1 | hormigón+ plastificante+ 10 % de CBCA | | | | | | 4217 | 4112 | 2,55 |
| HC10%-2 | | | 02/08/2019 | | 104,00 | 202,00 | 4094 | 3948 | 3,70 |
| HC10%-3 | | | | | | | 4082 | 3934 | 3,76 |
| HC10%-4 | | | | | | | 4157 | 4041 | 2,87 |
| HC5%-1 | hormigón+ plastificante+ 5 % de CBCA | | | | | | 4155 | 4005 | 3,75 |
| HC5%-2 | | 04/04/2019 | | 120 | | | 4199 | 4040 | 3,94 |
| HC5%-3 | | | | | | | 4263 | 4130 | 3,22 |
| HC5%-4 | | | | | | | 4296 | 4123 | 4,20 |

Nota: LABORATORIO DE ESTRUCTURAS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

CEINVES
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

ASTM C 642

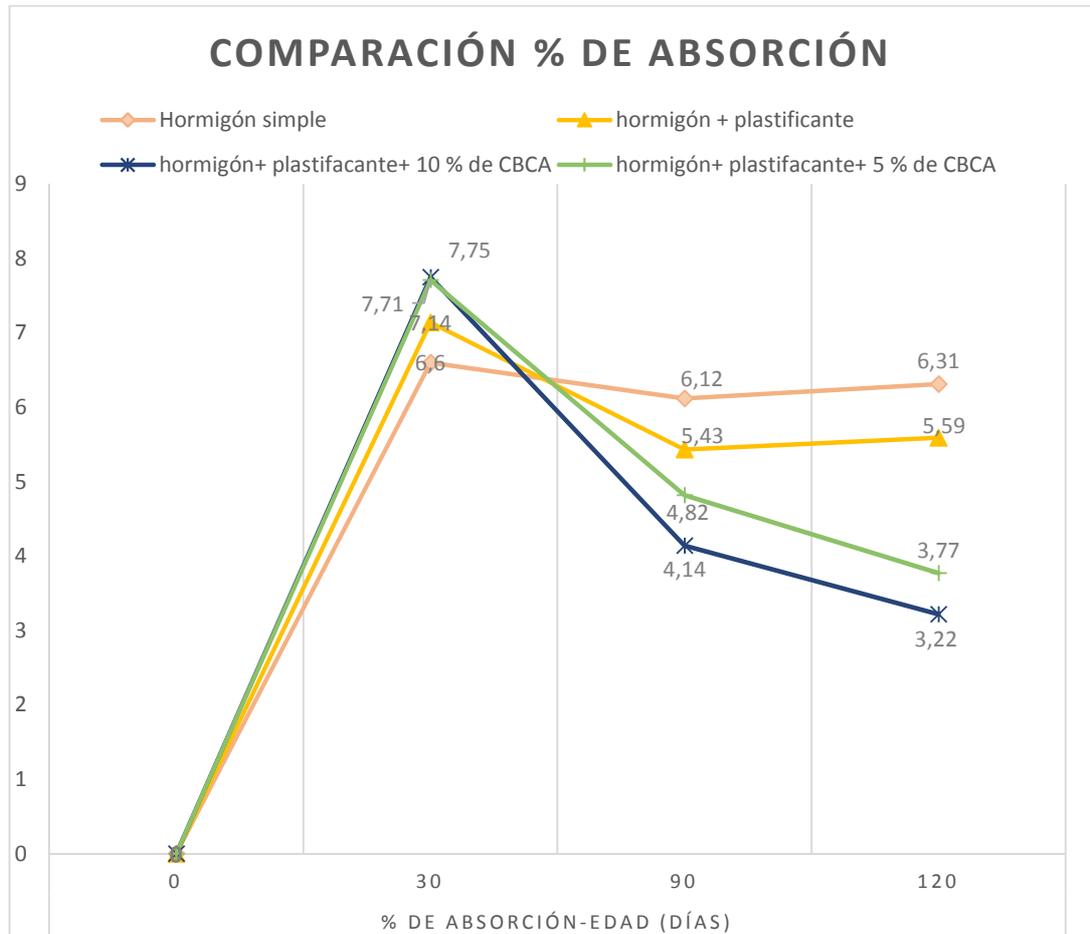
FECHA: 02-08-2019

PROYECTO: CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA MEJORAR RESISTENCIA Y PERMEABILIDAD DEL HORMIGÓN



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

Gráfico 9. Comparación muestras de hormigón edad - % de absorción



Fuente: Autor

Los resultados son satisfactorios, como se puede observar en el gráfico 9. Las muestras con % de CBCA en su composición, han reducido la absorción de agua cerca del 50% a los 120 días de curado, esto quiere decir que se tiene un hormigón más impermeable, siendo la mezcla con 10% de CBCA la más óptima para esta característica.

4.4.6 Resistencia a la compresión de las probetas pasados 120 días de su elaboración

A continuación se presenta un resumen de los datos obtenidos para el ensayo de compresión simple en la mezcla pasados los 120 días de moldeo.

Tabla 13. Resistencia a la compresión de las probetas pasados 120 días de su elaboración

| Muestra | Elemento | Fecha Moldeo | Fecha Ensayo | Días | Diámetro mm | Altura mm | Peso g | Densidad Kg/m ³ | Carga KN | Resistencia Kg/cm ² |
|---------|--|--------------|--------------|------|-------------|-----------|--------|----------------------------|----------|--------------------------------|
| HS-1 | Hormigón simple | 03/04/2019 | | 121 | | | 4267 | 2486,65 | 212 | 254,48 |
| HSC-1 | hormigón + plastificante | 03/04/2019 | | 121 | | | 4154 | 2420,80 | 211,8 | 254,24 |
| HSC-2 | | 03/04/2019 | | 121 | | | 4253 | 2478,49 | 212,4 | 254,96 |
| HC10%-1 | hormigón+ plastificante+ 10 % de CBCA | 03/04/2019 | | 121 | | | 4222 | 2460,43 | 256,4 | 307,78 |
| HC10%-2 | | 03/04/2019 | | 121 | | | 4227 | 2463,34 | 258,4 | 310,18 |
| HC10%-3 | | 03/04/2019 | 02/08/2019 | 121 | 104,00 | 202,00 | 4176 | 2433,62 | 255,7 | 306,94 |
| HC10%-4 | | 03/04/2019 | | 121 | | | 4181 | 2436,53 | 255,5 | 306,70 |
| HC5%-1 | hormigón+ plastificante+ 5 % de CBCA | 04/04/2019 | | 120 | | | 4193 | 2443,53 | 283,8 | 340,67 |
| HC5%-2 | | 04/04/2019 | | 120 | | | 4182 | 2437,12 | 282,9 | 339,59 |
| HC5%-3 | | 04/04/2019 | | 120 | | | 4297 | 2504,13 | 292,3 | 350,87 |
| HC5%-4 | | 04/04/2019 | | 120 | | | 4259 | 2481,99 | 297,8 | 357,48 |

Nota: LABORATORIO DE ESTRUCTURAS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

CEINVES
RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

ASTM C 39

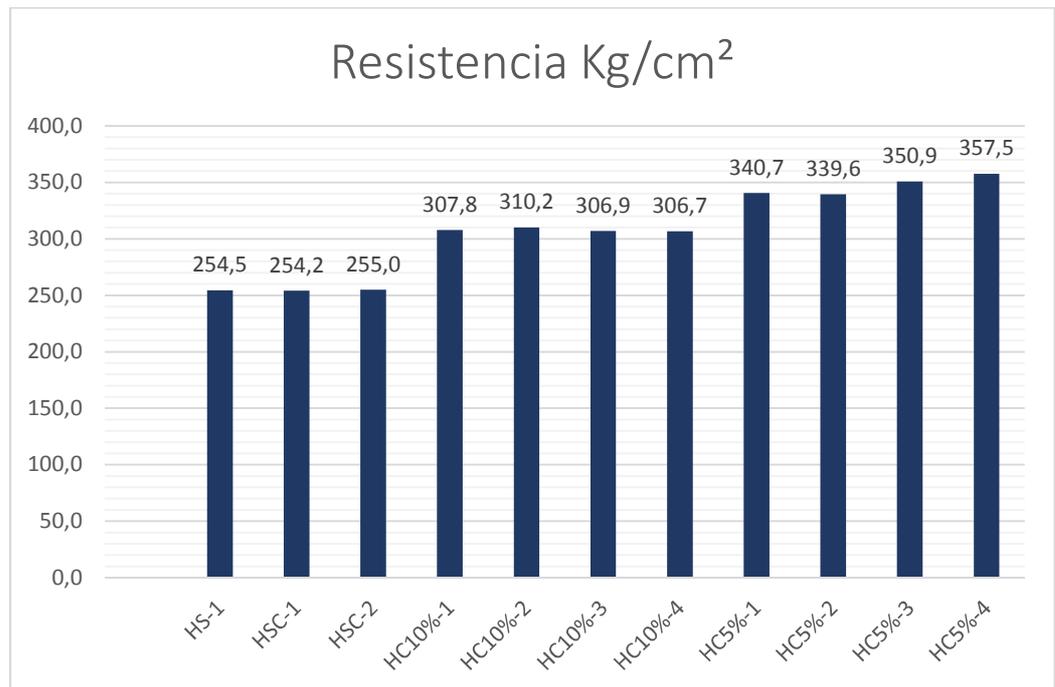
FECHA: 02-08-2019

PROYECTO: CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA MEJORAR RESISTENCIA Y PERMEABILIDAD DEL HORMIGÓN



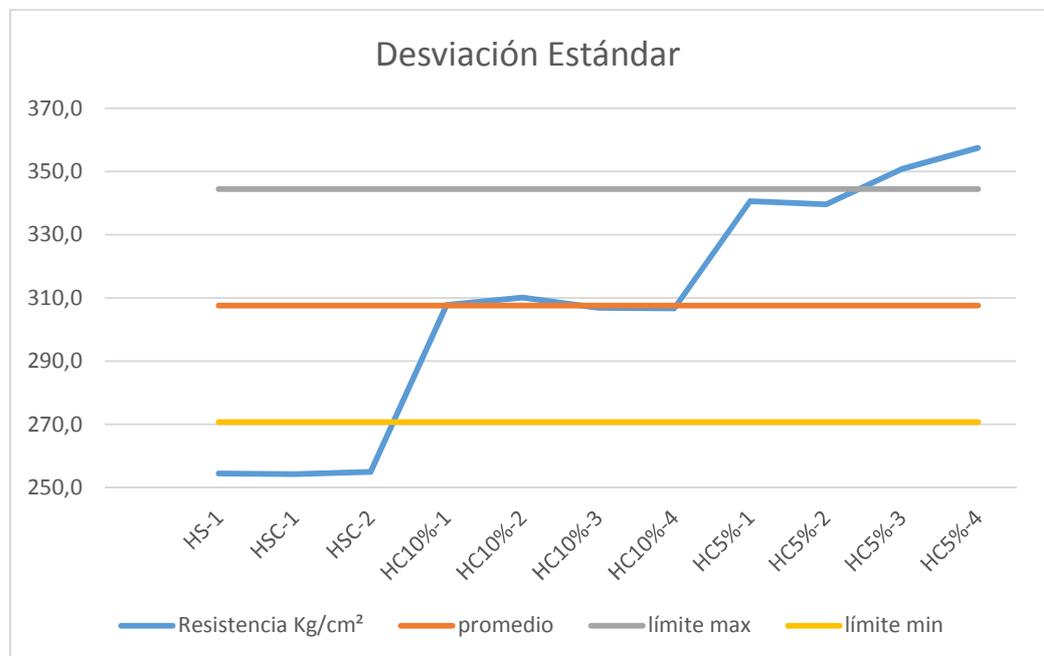
UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

Gráfico 10. Resistencia de las probetas de hormigón pasados los 120 días de su elaboración



Fuente: Autor

Gráfico 11. Desviación Estándar probetas de hormigón pasados los 120 días de su elaboración

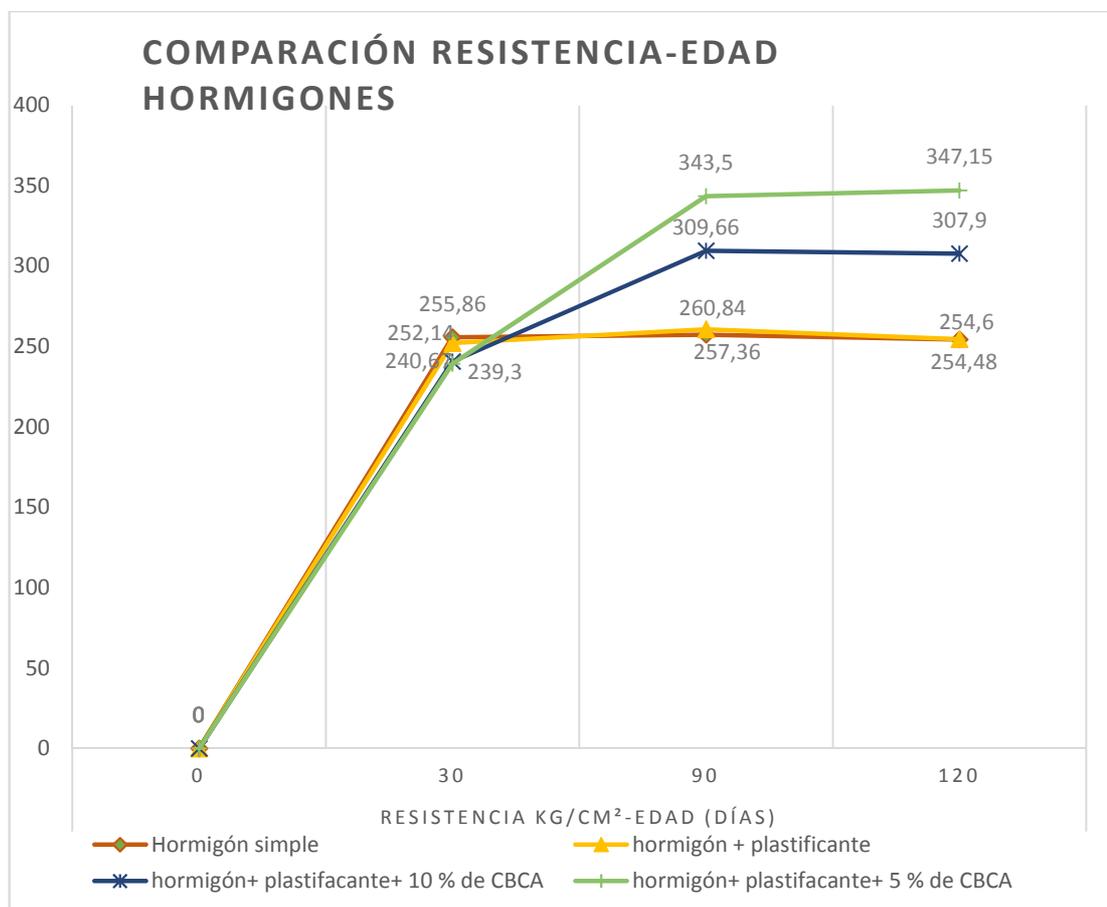


Fuente: Autor

Los resultados de los ensayos de resistencia a los 120 días, muestran el efecto que produce la inclusión de ceniza en las muestras, la resistencia es muy superior comparando los especímenes con CBCA en su composición y los de hormigón normal, algo muy importante es que la resistencia no se ha reducido con respecto a los 90 días, en cuanto a los resultados de resistencia se puede concluir que el contenido óptimo es del 5% de CBCA como adición porcentual del volumen de cemento Portland.

A continuación se presenta un gráfico comparando las resistencias vs edad de los hormigones ensayados:

Gráfico 12. Comparación muestras de hormigón edad - resistencia



Fuente: Autor

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Una vez finalizado este trabajo de investigación, se afirma que es posible añadir porcentualmente cenizas de bagazo de caña de azúcar en las mezclas de hormigón, ya que se demostró a través de ensayos y resultados que la CBCA ayuda a mejorar sus características mecánicas como lo son: aumento de resistencia e impermeabilización del conglomerado. Esto se debe al elevado contenido de sílice en la ceniza, la cual una vez mezclada con la cal del cemento activa sus características puzolánicas.

Es importante recalcar que los resultados tanto de resistencia y absorción de agua, son similares en las mezclas de hormigón común y hormigón con CBCA en los primeros 30 días. A los 90 días de curado se empieza a tener mejoras en cuanto a los resultados, esto se debe a que se forman reacciones puzolánicas, que van cerrando gradualmente los poros en el hormigón y hacen que este desarrolle impermeabilidad.

Es interesante observar que las mezclas con CBCA redujeron los valores de absorción de agua considerablemente, a los 90 días de curado las probetas con 5% de CBCA redujeron los valores de absorción de agua en un 37% y las de 10% de CBCA se redujo a un 46% con respecto a los valores de 30 días de curado. También se observa que aumentando los días de curado se reducen más los valores de absorción de agua, en un 51% para las mezclas con 5% de CBCA y un 58% de reducción para las mezclas con 10% de CBCA, con respecto a los resultados de los 30 días.

La resistencia a la compresión del hormigón alcanza valores equivalentes a los de los especímenes de control a los 30 días de curado. A partir de los 90 días de curado la resistencia en las mezclas con contenido de CBCA aumenta. En los hormigones con 10% de CBCA aumentó la resistencia un 28% con respecto a los valores de resistencia a los 30 días de curado, mientras que a los 120 días la resistencia permanece en los mismos valores no hubo aumento significativo. Por otro lado, en las mezclas con 5% de CBCA existe un aumento de resistencia considerable a los 90 días de curado, la resistencia aumentó 41% con respecto a la resistencia de 30 días de curado, y aumentó a 45% en los 120 días de curado.

Alcanzando un valor en promedio de 347 kg/cm². Es decir un aumento del 36% de resistencia con respecto a las probetas de control que alcanzaron una resistencia en promedio de 254 kg/cm². El aumento de resistencia puede deberse al contenido de sílice, la finura, acomodo de partículas, el área de superficie específica, el grado de reactividad de la CBCA y la reacción puzolánica entre hidróxido de calcio y sílice reactiva presente en CBCA en el medio alcalino.

Se deberá realizar un seguimiento a este desarrollo tecnológico que comenzó con una propuesta, ya que ha dado grandes resultados que pueden ayudar a la industria cementera a mejorar las características de sus productos y también, ayudar al medio ambiente en la reducción de explotación de materiales primarios y procesos nocivos para el planeta, además implementar la ceniza de bagazo de caña a los hormigones aporta ventajas físicas y mecánicas al conglomerado.

En posteriores investigaciones se debe estudiar el contenido óptimo de adición porcentual en volumen del cemento Portland, dado que en los hormigones de 5% de CBCA la resistencia fue mayor, pero si se busca un hormigón más impermeable el hormigón con 10% de CBCA es el óptimo según los resultados obtenidos.

Se podría implementar la CBCA en hormigón para construcciones de obras marítimas, obras de gran cantidad de hormigón (masivas) como lo son: presas, cimentaciones de alto desplante, muros portantes, etc.; y hormigones en general, donde se puede fabricar hormigones ultra resistentes e impermeables con menores costos.

5.2 Recomendaciones

Para la obtención de resultados más efectivos, se recomienda establecer un sistema de control que se inicie desde la obtención de la materia prima, realizando un control de calidad de la CBCA a utilizar en las mezclas, es decir: antes, durante y después del proceso de calcinación del bagazo de la caña de azúcar, el mismo que se debería realizar en hornos con temperatura controlada e intervalos de tiempo constantes, descartando luego posibles desechos e impurezas que no se hayan calcinado totalmente, así se podría aumentar el porcentaje de sílice y tener un producto en excelentes condiciones.

Se recomienda realizar un estudio de factibilidad para analizar la industrialización y comercio de la CBCA en empaques de similar tamaño a los del cemento en el mercado. Para la industria de la construcción la inclusión de este producto reduciría costos.

Para futuros trabajos de investigación, se recomienda seguir estudiando la adición de la CBCA en el hormigón, con porcentajes entre 5 y 10%, y obtener el contenido óptimo, ya que con 5% de CBCA como adición porcentual en volumen de cemento se logró mejores resultados en resistencia y para resultados de impermeabilización de la mezcla el contenido óptimo fue de 10% de CBCA.

A través de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil en trabajo conjunto con los departamentos de construcción del medio, se recomienda investigar la implementación de la CBCA como material de construcción, como por ejemplo en el uso de este en obras marítimas y obras de gran cantidad de hormigón (masivas), además de elaboración de elementos prefabricados, tales como bloques y ladrillos.

REFERENCIAS

- Agencia Iberoamericana para la Difusión de la Ciencia Y la Tecnología [DICYT]. (2014). *Bagazo de caña, posible componente de concreto hidráulico*. Recuperado de <http://www.dicyt.com/noticias/bagazo-de-cana-posible-componente-de-concreto-hidraulico>
- Calleja, J. (1982). Hormigón con bajo contenido de cemento y hormigón con sustitución parcial de cemento. *Materiales de Construcción*, 32(188), 3-19. <https://doi.org/10.3989/mc.1982.v32.i188.988>
- Calleja, J. (1983). Adiciones y cementos con adiciones. *Materiales de Construcción*, 33(190-191), 25-52. <https://doi.org/10.3989/mc.1983.v33.i190-191.969>
- Cordeiro, G., Toledo Filho, R., Tavares, L., & de Moraes Rego Fairbairn, E. (2009). *Ultrafine Grinding of Sugar Cane Bagasse ash for Application as Pozzolanitic Admixture in Concrete* (Vol. 39). <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2008.11.005>
- Coyasamín, Oscar. (2016). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL, CON HORMIGÓN ADICIONADO CON CENIZAS DE CÁSCARA DE ARROZ (CCA) Y HORMIGÓN ADICIONADO CON CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR (CBC)*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, Ambato.
- Dopico, J. J., Martirena Hernandez, F., Day, R. L., Middendorf, B., Gehrke, M., & Martinez, L. (2008). Desarrollo de hormigones con aglomerante cal-puzolana fina como material cementicio suplementario. *Revista ingeniería de construcción*, 23(3), 171-178. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732008000300005>

Duda, W. H. (1977). *Manual tecnológico del cemento*. Reverte.

Edison. (s. f.). El renacimiento del cemento natural de los Estados Unidos. Recuperado 17 de abril de 2019, de Magazines & Newsletters / ASTM Standardization News en español website: <https://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/Q106/q106edison.html>

Ganesan, K., Rajagopal, K., & Thangavel, K. (2007). Evaluation of bagasse ash as supplementary cementitious material. *Cement and Concrete Composites*, 29(6), 515-524. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2007.03.001>

Hernández, A. (2011, agosto 17). Adriano Hernández: Proceso de fabricación del Cemento. Recuperado 22 de abril de 2019, de Adriano Hernández website: <http://concretoulsacancunadrianohernandez.blogspot.com/2011/08/proceso-de-fabricacion-del-cemento.html>

Moraes, J., Akasaki, J., Tashima, M., Soriano, L., Borrachero, M., & Payá, J. (2017). Utilización de la ceniza de la paja de caña de azúcar (CPC) como puzolana en sustituciones parciales del cemento Portland. *Revista de la Asociación Española de materiales compuestos*, 2(1), 6-9. Recuperado de <http://revista.aemac.org/>

Perles, P. (2003). *Hormigón armado*. Nobuko.

Polzinetti, A. (2010). *Cemento Portland*.

Prashant, O., & Vyawahare, M. (2013). Utilization of Bagasse Ash as a Partial Replacement of Fine Aggregate in Concrete. *Procedia Engineering*, 51(3), 25-59. Recuperado de <https://pdf.sciencedirectassets.com/278653/1-s2.0-S1877705813X00025/1-s2.0-t>

revista química del cemento. (s. f.). Recuperado de <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/viewFile/5537/5533>

- Richardson, I. G., & Groves, G. W. (1997). The structure of the calcium silicate hydrate phases present in hardened pastes of white Portland cement/blast-furnace slag blends. *Journal of Materials Science*, 32(18), 4793-4802. <https://doi.org/10.1023/A:1018639232570>
- Rosales. (2012). *GEOLOGÍA Y CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE PUZOLANAS DE LA ZONA ORIENTAL DE GUATEMALA* (UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA). Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3364_C.pdf
- Ruskulis. (2009). Puzolanas: Introducción. *Practical Action, Latin America*, 6. Recuperado de <http://answers.practicalaction.org/our-resources/item/puzolanas-introducci%C3%B3n>
- Salazar, Alejandro. (2002). *Síntesis de la Tecnología del concreto, una manera de entender los materiales*. [Científico]. Recuperado de Corporación Construir website: <file:///D:/Desktop/TESIS/Puzolanas.pdf>
- Sanjuán Barbudo, M. Á., & Chinchón Yepes, S. (2004). *Introducción a la fabricación y normalización del cemento Portland*. Recuperado de <http://public.ebib.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=5192658>
- Soria, Francisco. (1983). Las puzolanas y el ahorro energético en los materiales de construcción. *Materiales de Construcción*, 33(190-91), 65-83. Recuperado de <http://materconstrucc.revistas.csic.es>
- Srinivasan,R. (2010). Experimental Study on Bagasse Ash in Concrete. *International Journal for Service Learning in Engineering*, 5(2), 60-66. Recuperado de <file:///D:/Downloads/2992-Article%20Text-5350-1-10-20101019.pdf>
- Structuralia. (s. f.). La importancia del curado del hormigón y los distintos métodos para realizarlo adecuadamente. Recuperado 11 de agosto de 2019, de

<https://blog.structuralia.com/la-importancia-del-curado-del-hormigon-y-los-distintos-metodos-para-realizarlo-adecuadamente>

Vidal, Torres, González, D., Janneth, Luis. (2014). CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA PARA ELABORACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN: ESTUDIO PRELIMINAR. *Momento*, 48(E),

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Vélez García, Eduardo Isaac** con C.C: # **1104114853** autor del trabajo de titulación: "**Cenizas de bagazo de caña de azúcar para mejorar resistencia y permeabilidad del hormigón**" previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 11 de Septiembre de 2019

f. _____

Nombre: **Vélez García, Eduardo Isaac**

C.C: **1104114853**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

| | | | |
|--|---|---|-----------|
| TEMA Y SUBTEMA: | "CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA MEJORAR RESISTENCIA Y PERMEABILIDAD DEL HORMIGÓN" | | |
| AUTOR(ES) | Eduardo Isaac Vélez García | | |
| REVISOR(ES)/TUTOR(ES) | Luis Octavio Yépez Roca | | |
| INSTITUCIÓN: | Universidad Católica de Santiago de Guayaquil | | |
| FACULTAD: | Facultad de Ingeniería | | |
| CARRERA: | Ingeniería Civil | | |
| TÍTULO OBTENIDO: | Ingeniero Civil | | |
| FECHA DE PUBLICACIÓN: | 11 de Septiembre de 2019 | No. DE PÁGINAS: | 90 |
| ÁREAS TEMÁTICAS: | Tecnología de hormigón, Hormigón con ceniza de bagazo de caña de azúcar, Sustitución del cemento. | | |
| PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS: | Puzolanas, adición en el hormigón, cenizas de bagazo de caña de azúcar, sílice, impermeabilidad y resistencia, tiempo de reactividad | | |
| RESUMEN/ABSTRACT: | <p>El presente trabajo de investigación se realizó con un material que podría traer ventajas al hormigón. Se utilizó ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA), obteniendo resultados positivos adicionando 5% y 10% de CBCA del volumen de cemento utilizado en la mezcla. Los especímenes fueron ensayados a las edades de 30, 90 y 120 días. A los 30 días de curado los resultados obtenidos fueron similares tanto como absorción de agua y resistencia en las mezclas de CBCA en comparación con las de control. Las mezclas con CBCA redujeron los valores de absorción de agua considerablemente, a los 90 días de curado, especialmente con 10% de CBCA alcanzando una reducción de absorción de agua del 58% con respecto a los 30 días de curado. En resistencia a compresión, el porcentaje de adición óptimo fue el de 5% de CBCA, a los 90 días de curado, la resistencia aumentó 41% con respecto a la resistencia de 30 días de curado, y aumentó a 45% en los 120 días de curado. Alcanzando un valor en promedio de 347 kg/cm². Es decir un aumento del 36% de resistencia con respecto a las probetas de control que alcanzaron una resistencia en promedio de 254 kg/cm². El aumento de resistencia y comportamiento impermeable puede deberse al contenido de sílice, la finura, acomodo de partículas, el área de superficie específica, el grado de reactividad de la CBCA y la reacción puzolánica entre hidróxido de calcio y sílice reactiva presente en CBCA en el medio alcalino.</p> | | |
| ADJUNTO PDF: | <input checked="" type="checkbox"/> SI | <input type="checkbox"/> NO | |
| CONTACTO CON AUTOR/ES: | Teléfono: +593-98-4197438 | E-mail: eduardo_velez_13@hotmail.com | |
| CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):: | Nombre: Clara Glas Cevallos | | |
| | Teléfono: +593-4 -2206956 | | |
| | E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec | | |
| SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA | | | |
| Nº. DE REGISTRO (en base a datos): | | | |
| Nº. DE CLASIFICACIÓN: | | | |
| DIRECCIÓN URL (tesis en la web): | | | |