



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**ADICIÓN DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR COMO PUZOLANA PARA  
MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO**

**Raúl Arturo Ramírez Ramírez**

Asesorado por el Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Guatemala, octubre de 2020



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ADICIÓN DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR COMO PUZOLANA PARA  
MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**RAÚL ARTURO RAMÍREZ RAMÍREZ**

ASESORADO POR LA INGA. DILMA YANET MEJICANOS JOL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2020



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

|            |   |
|------------|---|
| DECANA     | Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada   |
| VOCAL I    | Ing. José Francisco Gómez Rivera        |
| VOCAL II   | Ing. Mario Renato Escobedo Martínez     |
| VOCAL III  | Ing. José Milton de León Bran           |
| VOCAL IV   | Br. Christian Moisés de la Cruz Leal    |
| VOCAL V    | Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez         |

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

|            |   |
|------------|---|
| DECANO     | Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada     |
| EXAMINADOR | Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz |
| EXAMINADOR | Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco        |
| EXAMINADOR | Ing. Jorge Alberto Martínez Cruz          |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez           |



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **ADICIÓN DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR COMO PUZOLANA PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 30 de octubre de 2018.

**Raúl Arturo Ramírez Ramírez**







Guatemala, 24 de abril de 2020

Ingeniero  
Wuillian Ricardo Yon Chavarría  
Área de Materiales y Construcciones Civiles  
COORDINADOR

Ingeniero Yon Chavarría

Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación: **ADICIÓN DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR COMO PUZOLANA PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO**, elaborado con el estudiante universitario **Raúl Arturo Ramírez Ramírez**, quien contó con la asesoría de la suscrita.

Considerando que el trabajo desarrollado por el estudiante universitario Ramírez Ramírez, satisface los requisitos exigidos en el reglamento de graduación, por lo cual recomiendo su aprobación.

Atentamente,

*"Id y enseñad a todos"*

Inga. Civil Dilma Yanet Mejicanos Jol  
Col. 5947  
ASESORA





Guatemala  
29 de mayo del 2020

Ingeniero  
Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Director Escuela Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Polanco.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación: **ADICIÓN DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR COMO PUZOLANA PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil **Raúl Arturo Ramírez Ramírez**, quien contó con la asesoría de la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la ingeniería nacional y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el tramite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Civil William Ricardo Yon Chavarría  
Jefe Del Departamento de Materiales y Construcciones Civiles

/bbdeb





Guatemala, 24 de septiembre de 2020  
DEIC-TG-EIC-009-2020/paap

El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de la Asesora Ingeniera Dilma Yanet Mejicanos Jol y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ingeniero Wuilliam Ricardo Yon Chavarría, al trabajo de graduación del estudiante Raúl Arturo Ramírez Ramírez, **ADICIÓN DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR COMO PUZOLANA PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
**Director Escuela Ingeniería Civil**



Interesado  
Asesora  
Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles





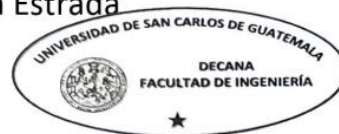
DTG. 275.2020.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **ADICIÓN DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR COMO PUZOLANA PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO**, presentado por el estudiante universitario: **Raúl Arturo Ramírez Ramírez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada  
Decana



Guatemala, octubre de 2020

AACE/asga





## **ACTO QUE DEDICO A:**

|                        |   |
|------------------------|---|
| <b>Dios</b>            | Por la vida, su amor y darme la sabiduría para tomar buenas decisiones.   |
| <b>San Judas Tadeo</b> | Por interceder siempre por mí ante Dios, y por ayudarme a entrar y a salir de la universidad.   |
| <b>Mis padres</b>      | Jaime Ramírez Farfán e Ingrid Damaris Ramírez Juárez. Por su amor y sacrificio, por nunca dejarme solo, este logro te lo dedico a ti mama; que has luchado día a día por nosotros, sacrificando todo por mí, que este orgullo para ti sea una muestra del orgullo que yo siento por ti. |
| <b>Mis abuelos</b>     | Felipe Raúl Ramírez Cano y María Petrona Juárez. Por su amor, por siempre cuidar de mí y por darme su ejemplo de lucha.   |
| <b>Mi familia</b>      | Tías, tíos, primas y primos, por su apoyo incondicional y siempre estar al pendiente de mí.   |
| <b>Mi novia</b>        | Zarahí Alejandra Monterroso Barrios, gracias por estar aquí, por tu amor, paciencia y apoyo. Sin ti no lo hubiera logrado. Siempre juntos.  |

**Mis suegros**

David Alfredo Monterroso Alfaro y Mirna Aracely Barrios de Monterroso, por abrirme las puertas de su casa como un hijo más y darme su amor y apoyo.

**Mis amigos**

A todos, por las risas, gracias por siempre creer en mí y brindarme su amistad y apoyo en cada paso de mi carrera.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

|  |   |
|--|---|
| <b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>  | Por darme la dicha de pertenecer a tan Magna academia y darme esta oportunidad.   |
| <b>Facultad de Ingeniería</b>                  | Por abrirme sus puertas y brindarme la sabiduría necesaria para desarrollarme como ingeniero.   |
| <b>Centro de Investigaciones de Ingeniería</b> | Por darme el apoyo y espacio para la realización de ensayos para la elaboración de este trabajo de graduación.  |
| <b>Escuela de Ingeniería Civil</b>             | Por su labor con cada uno de los estudiantes y a los catedráticos por su tiempo, enseñanza y experiencias que nos dan noción de lo que nos espera fuera de sus aulas. |
| <b>Cementos Progreso</b>                       | Por brindarme su apoyo en la realización de ensayos, para la elaboración de este trabajo de graduación.   |
| <b>Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol</b>         | Por su amistad, consejos, paciencia y colaboración en la concepción de la idea y elaboración de este trabajo de graduación.   |

**Ing. Julio César Álvarez  
Guillén**

Por su amistad, apoyo en la obtención del material y colaboración en la elaboración de este trabajo de graduación.

**Personal del Centro de  
Investigaciones de  
Ingeniería**

Por su colaboración en la realización de ensayos y asesoría para la elaboración de este trabajo de graduación.

## ÍNDICE GENERAL

|  |      |
|--|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....           | V    |
| LISTA DE SÍMBOLOS .....                | VII  |
| GLOSARIO .....                         | IX   |
| RESUMEN.....                           | XIII |
| OBJETIVOS.....                         | XV   |
| HIPÓTESIS.....                         | XVII |
| INTRODUCCIÓN .....                     | XIX  |
| <br>                                   |      |
| 1. MARCO TEÓRICO.....                  | 1    |
| 1.1. Antecedentes.....                 | 1    |
| 1.2. Caña de azúcar .....              | 5    |
| 1.3. Producción de azúcar.....         | 6    |
| 1.3.1. Proceso agrícola.....           | 6    |
| 1.3.1.1. La siembra.....               | 7    |
| 1.3.1.2. Manejo de la plantación.....  | 7    |
| 1.3.1.3. La cosecha .....              | 8    |
| 1.3.1.4. Transporte .....              | 9    |
| 1.3.2. Proceso industrial .....        | 10   |
| 1.3.2.1. Extracción del jugo .....     | 11   |
| 1.3.2.2. Purificación del jugo.....    | 11   |
| 1.3.2.3. Concentración del jugo .....  | 12   |
| 1.3.2.4. Cristalización .....          | 12   |
| 1.3.2.5. Centrifugación y secado ..... | 13   |
| 1.3.2.6. Envasado.....                 | 13   |
| 1.4. Bagazo de caña de azúcar.....     | 15   |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 1.5.    | Ceniza de bagazo de caña de azúcar .....                                    | 16 |
| 1.6.    | Propiedades de la ceniza de bagazo de caña de azúcar .....                  | 17 |
| 1.6.1.  | Proceso de calcinación .....  | 18 |
| 1.6.2.  | Componentes químicos.....   | 19 |
| 1.7.    | Usos alternos de la ceniza de bagazo de caña.....                           | 20 |
| 1.8.    | Ensayos de laboratorio de acuerdo a normas nacionales vigentes.....         | 20 |
| 1.9.    | Pruebas de control de calidad para los materiales.....                      | 21 |
| 1.9.1.  | Análisis completos para agregados.....                                      | 22 |
| 1.9.2.  | Abrasión para agregado grueso .....   | 23 |
| 1.9.3.  | Ataque de sulfatos a los agregados .....                                    | 23 |
| 1.9.4.  | Fluorescencia por rayos X para la ceniza de bagazo de caña.....             | 23 |
| 1.9.5.  | Análisis de la ceniza de bagazo de caña de azúcar para uso en concreto..... | 24 |
| 1.10.   | Diseños de mezcla para concreto .....                                       | 24 |
| 1.10.1. | Diseño teórico .....  | 25 |
| 1.10.2. | Diseño práctico.....  | 25 |
| 1.11.   | Pruebas de desempeño para concreto fresco.....                              | 25 |
| 1.11.1. | Asentamiento NTG 41052.....   | 26 |
| 1.11.2. | Temperatura NTG 41053 .....   | 26 |
| 1.11.3. | Masa unitaria NTG 41017 h5 .....  | 26 |
| 1.11.4. | Contenido de aire NTG 41017 h17.....  | 27 |
| 1.11.5. | Muestreo de cilindros NTG 41060.....  | 27 |
| 1.11.6. | Velocidad de endurecimientoNTG 41053.....                                   | 27 |
| 1.12.   | Pruebas mecánicas para concreto endurecido .....                            | 28 |
| 2.      | DESARROLLO EXPERIMENTAL.....  | 29 |
| 2.1.    | Metodología .....   | 29 |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 2.1.1.   | Tipo de investigación .....                             | 29 |
| 2.1.2.   | Variables.....  | 30 |
| 2.2.     | Maquinaria y equipo .....                               | 32 |
| 2.2.1.   | Máquina Universal .....                                 | 32 |
| 2.2.2.   | Máquina de los Ángeles .....                            | 33 |
| 2.3.     | Materiales.....   | 33 |
| 2.3.1.   | Cemento hidráulico.....                                 | 33 |
| 2.3.2.   | Agregado fino .....                                     | 34 |
| 2.3.3.   | Agregado grueso .....                                   | 35 |
| 2.3.4.   | Ceniza de bagazo de caña de azúcar .....                | 35 |
| 2.4.     | Datos obtenidos.....                                    | 36 |
| 2.4.1.   | Control de calidad para los materiales.....             | 36 |
| 2.4.1.1. | Agregado fino .....                                     | 36 |
| 2.4.1.2. | Agregado grueso .....                                   | 36 |
| 2.4.1.3. | Ceniza de bagazo de caña de<br>azúcar.....              | 37 |
| 2.4.2.   | Diseños de mezcla para concreto.....                    | 37 |
| 2.4.3.   | Desempeño del concreto fresco .....                     | 38 |
| 2.4.4.   | Comportamiento mecánico del concreto<br>endurecido..... | 38 |
| 2.5.     | Cálculos efectuados .....                               | 39 |
| 2.5.1.   | Control de calidad para los materiales.....             | 39 |
| 2.5.2.   | Diseños de mezcla para concreto.....                    | 39 |
| 2.5.3.   | Desempeño del concreto fresco .....                     | 40 |
| 2.5.4.   | Comportamiento mecánico del concreto<br>endurecido..... | 41 |
| 2.6.     | Resultados.....   | 41 |
| 2.6.1.   | Control de calidad para los materiales.....             | 42 |
| 2.6.2.   | Diseños de mezcla para concreto.....                    | 44 |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 2.6.3. | Desempeño del concreto fresco.....   | 46 |
| 2.6.4. | Comportamiento mecánico del concreto<br>endurecido.....                              | 47 |
| 3.     | ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS .....   | 51 |
| 3.1.   | Procesamiento de resultados.....   | 51 |
| 3.1.1. | Comportamiento del concreto fresco.....  | 51 |
| 3.1.2. | Comportamiento del concreto endurecido.....  | 52 |
| 3.2.   | Comparación de resultados .....  | 52 |
| 3.3.   | Propiedades del concreto con sustitución de ceniza de<br>bagazo de caña.....         | 56 |
| 3.4.   | Ventajas y desventajas .....   | 57 |
| 3.5.   | Usos y aplicaciones del concreto con sustitución de ceniza<br>de bagazo de caña..... | 58 |
|        | CONCLUSIONES.....  | 59 |
|        | RECOMENDACIONES .....  | 63 |
|        | BIBLIOGRAFÍA.....  | 65 |
|        | APÉNDICES.....   | 69 |
|        | ANEXOS.....  | 87 |



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1.  | Caña de azúcar.....   | 5  |
| 2.  | Diagrama de proceso agrícola.....                                 | 9  |
| 3.  | Diagrama de proceso industrial (parte 1).....                     | 13 |
| 4.  | Diagrama de proceso industrial (parte 2).....                     | 14 |
| 5.  | Bagazo de caña de azúcar.....                                     | 15 |
| 6.  | Ceniza de bagazo de caña de azúcar.....                           | 16 |
| 7.  | Modificaciones del bagazo de caña a través de la calcinación..... | 17 |
| 8.  | Cemento hidráulico.....   | 34 |
| 9.  | Agregado fino.....  | 34 |
| 10. | Agregado grueso.....  | 35 |
| 11. | Ceniza de bagazo de caña de azúcar.....                           | 35 |
| 12. | Fraguado de mezclas de concreto.....                              | 55 |
| 13. | Resistencia a la compresión de mezclas de concreto.....           | 56 |

## TABLAS

|      |   |    |
|------|---|----|
| I.   | Estudios con ceniza de bagazo de caña en Asia.....                | 2  |
| II.  | Estudios con ceniza de bagazo de caña en América.....             | 3  |
| III. | Estudios con ceniza de bagazo de caña en Centro América.....      | 4  |
| IV.  | Componentes químicos de la ceniza.....                            | 18 |
| V.   | Características del agregado fino.....                            | 42 |
| VI.  | Características del agregado grueso.....                          | 43 |
| VII. | Composición química de la ceniza de bagazo de caña de azúcar..... | 44 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| VIII. | Resultados del diseño de mezcla .....                      | 45 |
| IX.   | Resultados del desempeño del concreto fresco .....         | 46 |
| X.    | Resultados del tiempo de fraguado del concreto .....       | 47 |
| XI.   | Resultados del desempeño del concreto endurecido .....     | 48 |
| XII.  | Resultados de la reactividad potencial álcali-sílice ..... | 49 |
| XIII. | Comparación de resultados .....                            | 53 |

## LISTA DE SÍMBOLOS

| <b>Símbolo</b>           | <b>Significado</b>                                    |
|--------------------------|---|
| <b>HP</b>                | Caballo de fuerza (Unidad de potencia)                |
| <b>cm</b>                | Centímetro  |
| <b>°C</b>                | Grado Celsius   |
| <b>kg</b>                | Kilogramo   |
| <b>kg/m<sup>2</sup></b>  | Kilogramo por centímetro cuadrado (Unidad de presión) |
| <b>kg/cm<sup>3</sup></b> | Kilogramo por centímetro cubico (Unidad de densidad)  |
| <b>kg/m<sup>3</sup></b>  | Kilogramo por metro cubico (Unidad de densidad)       |
| <b>lb</b>                | Libras  |
| <b>L</b>                 | Litros  |
| <b>L/m<sup>3</sup></b>   | Litros por metro cubico                               |
| <b>mm</b>                | Milímetro   |
| <b>MF</b>                | Módulo de finura                                      |
| <b>%</b>                 | Porcentaje  |
| <b>plg</b>               | Pulgada   |
| <b>SSS</b>               | Saturada de superficie seca                           |
| <b>psi</b>               | Unidad de presión libra-fuerza/pulgada <sup>2</sup>   |



## GLOSARIO

|                    |  |
|--------------------|--|
| <b>Aglutinante</b> | Es un material que se utiliza para hacer uniones de elementos en las construcciones, mediante reacciones químicas en presencia de agua y aire.   |
| <b>Alúmina</b>     | Es óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ), que se encuentra en la naturaleza puro y cristalizado, su presencia en mayor cantidad dentro de un material, indica que podría tratarse de una puzolana. |
| <b>Alzadoras</b>   | Es una máquina utilizada para recoger la caña de azúcar y colocarla dentro de las jaulas.  |
| <b>ASTM</b>        | Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.  |
| <b>Bachada</b>     | Es la cantidad de mezcla de concreto que se elabora para un peso o volumen específico dentro de una cantidad de tiempo.  |
| <b>Bagazo</b>      | Es el material resultante de algunos frutos luego de haber extraído el jugo, por medio de un molino. Comúnmente utilizado como combustible natural para producir vapor.                      |

|                       |   |
|-----------------------|---|
| <b>Centrifugado</b>   | Es un método por medio del cual se separan los sólidos de los líquidos de acuerdo a su densidad, por medio de una fuerza giratoria.                     |
| <b>CETEC</b>          | Centro Tecnológico de Cementos Progreso.  |
| <b>Clarificador</b>   | Es una máquina capaz de separar los sólidos en suspensión de los líquidos, por medio de la gravedad.  |
| <b>COGUANOR</b>       | Comisión Guatemalteca de Normas   |
| <b>Cristalización</b> | Es un proceso químico por medio del cual los iones, átomos o moléculas provenientes de un líquido, establecen enlaces hasta formar una red cristalina.  |
| <b>Decantación</b>    | Es un método físico utilizado para la separación de sólidos y líquidos, por medio de su densidad, ocupando este último la parte superior de la mezcla.  |
| <b>Esquejes</b>       | Es un trozo de tallo de una planta, el cual se introduce dentro de la tierra para que nazca una nueva planta de la misma especie.                       |
| <b>Flotación</b>      | Es un proceso fisicoquímico empleado en tres fases (sólido-líquido-gaseoso) con el fin de separar los sólidos que se encuentran dentro de los líquidos. |

|                       |   |
|-----------------------|---|
| <b>Gramíneas</b>      | Familia de plantas herbáceas a la cual pertenece la caña de azúcar.   |
| <b>Maceración</b>     | Es el proceso de extracción sólido-líquido, mediante el cual se extrae la sacarosa de la caña de azúcar con la ayuda de agua caliente.  |
| <b>Meladura</b>       | Es el jarabe resultante de la extracción del 75 % de agua del jugo de caña de azúcar.   |
| <b>Rastrojo</b>       | Son los residuos de tallos y hojas dentro del terreno donde fue cultivado el maíz.  |
| <b>Sílice</b>         | El óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), es un material muy duro, que se encuentra en la mayoría de rocas. Su presencia en mayor cantidad dentro de un material, indica que podría tratarse de una puzolana. |
| <b>Tachos</b>         | Es el equipo utilizado para realizar la cristalización de la meladura.  |
| <b>Tándem</b>         | Es un grupo de componentes que trabajan entre sí.   |
| <b>Trabajabilidad</b> | Es la medida de la facilidad o de la dificultad de colocación, consolidación y acabado del concreto.  |
| <b>Trapiches</b>      | Es un molino utilizado para extraer el jugo de determinados frutos de la tierra, como la aceituna o la caña de azúcar.  |

**Yemas**

Son las estructuras que se encargan del crecimiento del tallo de algunas plantas, como la caña de azúcar.



## RESUMEN

En Guatemala existen 12 ingenios que son los mayores productores de azúcar del país, los cuales cuentan con un proceso de producción muy parecido, utilizando el desecho bagazo de caña de azúcar como combustible dentro de calderas para generar energía eléctrica. Como resultado de este proceso, se obtiene la ceniza de bagazo de caña de azúcar que actualmente es utilizada como abono.

Por lo que se presenta el trabajo de investigación concerniente al análisis del uso de la ceniza de bagazo de caña de azúcar producida en Guatemala como sustituto porcentual del cemento en mezclas de concreto. Con el fin determinar si la mezcla es capaz de mejorar las características y propiedades del concreto, dándole un uso estructural en la construcción.

Para llevar a cabo esta investigación primero se realizaron estudios para determinar si la ceniza cumplía los requisitos para considerarse una puzolana, para luego realizar mezclas de concreto utilizando diferentes porcentajes de sustitución de ceniza, evaluando su comportamiento al compararlas con una mezcla patrón que no contenía ceniza. Para cada una de las mezclas elaboradas se realizaron los ensayos de concreto fresco, tiempo de fraguado, resistencia a la compresión y para la mezcla con sustitución de ceniza que tuvo un mejor comportamiento, se realizó un análisis de determinación de la reactividad potencial álcali-sílice. Todos los ensayos se realizaron de acuerdo a las especificaciones establecidas dentro de las normas COGUANOR y ASTM.

Los resultados obtenidos muestran que las mezclas con sustitución de ceniza de bagazo de caña de azúcar presentan menos trabajabilidad que la mezcla patrón, proporcionalmente al aumento del porcentaje de sustitución y en consecuencia una disminución de la resistencia al llegar a la trabajabilidad adecuada. También se muestra en los resultados, que la mezcla con sustitución de ceniza de bagazo de caña de azúcar que tuvo un mejor comportamiento es potencialmente reactiva generando aumento de volumen. Todos estos resultados muestran que las mezclas con sustitución de ceniza de bagazo de caña de azúcar no deben utilizarse para concretos estructurales.

# OBJETIVOS

## General

Adicionar la ceniza de bagazo de caña de azúcar como puzolana para mejorar las propiedades mecánicas del concreto.

## Específicos

1. Delimitar las características químicas de la puzolana (ceniza de bagazo de caña de azúcar).
2. Diseñar mezclas de concreto adicionando ceniza de bagazo de caña de azúcar como puzolana.
3. Determinar las características y propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, adicionando 5 %, 10 %, 15 % y 20 % de ceniza de bagazo de caña de azúcar como puzolana.
4. Establecer el tiempo de fraguado del concreto utilizando ceniza de bagazo de caña de azúcar como puzolana.
5. Precisar y comparar las propiedades mecánicas del concreto con adición de ceniza de bagazo de caña de azúcar como puzolana, para establecer el porcentaje adecuado que permita una mejora.



## **HIPÓTESIS**

Conociendo el porcentaje ideal de sustitución de ceniza de bagazo de caña de azúcar producida en Guatemala por cemento, se puede mejorar el comportamiento estructural de las mezclas de concreto.

### **Hipótesis nula:**

El concreto con sustitución de ceniza de bagazo de caña de azúcar por cemento NO presenta mejor comportamiento estructural que el concreto tradicional, por ser potencialmente reactivo.

### **Hipótesis alternativa:**

El concreto con sustitución de ceniza de bagazo de caña de azúcar por cemento presenta un mejor comportamiento estructural que el concreto tradicional, pero con menos trabajabilidad.



## INTRODUCCIÓN

Una de las grandes problemáticas del mundo entero es la contaminación, que es la presencia de elementos o sustancias indeseables en el ambiente, que al presentarse en grandes cantidades, resultan dañinas para la salud y bienestar de los pobladores. Las industrias son una de las principales causas de contaminación en el mundo, los residuos provenientes de algunos de sus procesos no son tratados antes de ser desechados, lo que provoca una alteración en el ambiente.

En el mejor de los casos, los desechos causantes de contaminación pueden ser reciclados al darles un uso alternativo, disminuyendo así su cantidad final. El reciclaje se da con materiales como papel, plástico, vidrio y orgánicos, estos últimos son regularmente utilizados como abono, pero también existe la posibilidad de reciclarlos de otra manera como, por ejemplo, dentro de la construcción, si estos desechos contienen algún mineral en específico, como se puede leer en el catálogo de materiales de construcción apropiados.)

En la construcción el material más utilizado es el concreto, que es una mezcla de cemento, agregados fino y grueso, agua y en algunas ocasiones, aditivos. En este punto, se evalúan los desechos orgánicos, ya que dándoles un tratamiento y dependiendo de su contenido mineral, al finalizar el proceso pueden ser usados como puzolanas. Este tratamiento no es más que una calcinación a diferentes temperaturas, dependiendo del desecho, para convertirlos en ceniza y así poder agregarlos al concreto para mejorar alguna de sus propiedades, dando como resultado el reciclaje y al mismo tiempo obtener un material de mayor desempeño en la construcción.





# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1. Antecedentes

Existen distintos proyectos que buscan reutilizar desechos orgánicos, usándolos en mezclas de concreto, previo a una calcinación. Las cenizas obtenidas de esta calcinación, de acuerdo a su composición química pueden identificarse como puzolanas artificiales (debido a que son resultado de diversos procesos industriales y agrícolas), si llegan a contener sílice o alúmina. Esto de acuerdo a lo descrito el catálogo de materiales de construcción apropiados.

Las puzolanas pueden sustituir al cemento en un 15 % a 40 % en mezclas de concreto, ofreciendo ciertas ventajas dependiendo de la composición química, como, por ejemplo: mayor resistencia al ataque de sulfatos y cloruros, bajo calor de hidratación e incremento en la resistencia a la compresión.

Actualmente se están realizando estudios a nuevos materiales para ser usados como puzolanas, como por ejemplo: la cascarilla de arroz, el rastrojo de maíz y la ceniza de bagazo de caña de azúcar. Los cuales son desechos orgánicos, que luego de una calcinación a temperaturas adecuadas, su ceniza puede llegar a ser identificada como una puzolana artificial, la cual en base a ensayos de laboratorio se logran determinar los beneficios a las mezclas de concreto; brindando una resistencia mayor de la esperada, al ser comparada con un concreto estructural. Tomando como base lo descrito en la tesis. A continuación, se presentan algunos de los estudios realizados a la ceniza de bagazo de caña:

Tabla I. **Estudios con ceniza de bagazo de caña en Asia**

| Año  | Trabajo   | Autor                | País      | Resultados   |
|------|---|----------------------|-----------|--|
| 2007 | Evaluation of bagasse ash as supplementary cementitious material  | K. Ganesan           | INDIA     | Hasta un 20 % de cemento Portland puede ser sustituido por ceniza de bagazo sin tener ningún efecto adverso en las propiedades del hormigón. Las ventajas de la adición de ceniza son mayor resistencia a compresión y una apreciable disminución en la penetración de cloruros. |
|      |   | K. Rajagopal         |           |  |
|      |   | K. Thangavel         |           |  |
| 2009 | Utilization of bagasse ash as a pozzolanic material in concrete   | Nuntachai Chusilp    | Tailandia | La ceniza de bagazo es un material puzolánico apto para ser utilizado en el hormigón. La adición de ceniza mejora la resistencia, permeabilidad y evolución del calor en el hormigón. Además, el porcentaje de sustitución óptimo a utilizarse es de 20 %.                       |
|      |   | Chai Jaturapitakkul  |           |  |
|      |   | Kraiwood Kiattikomol |           |  |
| 2012 | Utilization of bagasse ash in high-strength concrete  | Sumereng Rukzon      | Tailandia | Es posible producir hormigón de alta resistencia con la adición de la ceniza de bagazo finamente molida. La incorporación de 30 % de CBCA disminuye las penetraciones de cloruro y mejora la resistencia a compresión del hormigón.  |
|      |   | Prinya Chindaprasit  |           |  |
| 2013 | Use of increasing amounts of bagasse ash waste to produce self-compacting concrete by adding limestone powder waste | Gritsada Sua-iam     | Tailandia | La trabajabilidad es adecuada para hormigones con sustituciones hasta 40 % de ceniza y polvo de caliza por árido fino, sin embargo, por los resultados obtenidos en la resistencia a compresión, la sustitución óptima es otra vez de un 20 %.                                   |
|      |   | Natt Makul           |           |  |

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. Estudios con ceniza de bagazo de caña en América

| Año  | Trabajo   | Autor                                | País   | Resultados  |
|------|---|--------------------------------------|--------|---|
| 2007 | Aglomerante puzolánico formado por cal y ceniza de paja de caña de azúcar: La influencia granulométrica de sus componentes en la actividad aglomerante. | L. Martínez Rodríguez                | CUBA   | Las características físicas, químicas y estructurales de la ceniza de paja de azúcar y la cal contribuyen en la interacción entre ellas, en presencia de agua, obteniendo una capacidad cementicia. |
|      |   | R. Quintana Puchol                   |        |   |
|      |   | J.F. Martirena Hernández             |        |   |
| 2009 | Caracterización electroquímica de concreto modificados con CBCA   | Ing. Orlando Gonzales Martínez       | México | La mezcla más eficiente que presentó velocidades de corrosión menores y mejor comportamiento, fue en la que se sustituyó 10 % de cemento por CBCA.  |
| 2011 | Comportamiento mecánico y físico del mortero a base de CBCA como árido en aplanados en muros  | Arq. Uriel Hernández Jaén            | México | La resistencia a la compresión disminuye considerablemente con el uso de CBCA como árido y también se reduce la densidad aparente a causa de la porosidad resultante.                               |
| 2015 | Utilización de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) como sustituto porcentual del cemento en la elaboración de ladrillos de concreto            | Bach. Jara Rodríguez Ruth Haydee     | Perú   | Se determinó que el uso de CBCA no es el ideal para la elaboración de ladrillo, sin embargo, se obtuvieron resultados similares a las unidades patrón con el uso del 10 % de CBCA.                  |
|      |   | Bach. Palacios Ambrocio Roció Denise |        |   |

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Estudios con ceniza de bagazo de caña en Centro América**

| Año  | Trabajo  | Autor                                | País           | Resultados  |
|------|--|--------------------------------------|----------------|---|
| 2013 | Influencia de la ceniza de bagazo de caña de azúcar proveniente del Ingenio Monte Rosa sobre las propiedades físico-mecánicas y de durabilidad de morteros de cemento Tipo GU. | Juniet Rebeca<br>Gaitan Arevalo      | Nicaragua      | Para la elaboración de morteros el porcentaje óptimo es un 15 % o menos de Cemento Portland por CBCA. Se recomienda pulverizar la CBCA y evaluar el uso de superplastificantes, ya que la demanda de agua es mayor por la porosidad del CBCA. |
|      |  | Belkiss<br>Jessenia Torrez<br>Rivas  |                |   |
| 2016 | Estudio del empleo de cenizas producidas en ingenios azucareros, como sustituto parcial de Cemento Portland en el diseño de mezclas de concreto.                               | Alvarado<br>Arévalo, José<br>Nelson  | El<br>Salvador | El cemento puede ser sustituido entre un 10 % y 15 % por ceniza en mezclas de concreto, para ser usado estructuralmente, debido a que la resistencia adquirida es mayor a la especificada.  |
|      |  | Andrade<br>Portillo, Juan<br>Antonio |                |   |
|      |  | Hernández<br>Zelaya, Herson<br>Noé   |                |   |

Fuente: elaboración propia.

Estos son solo algunos de los estudios que se han realizado sobre la ceniza de bagazo de caña de azúcar en los países mencionados. Sin embargo, existen otros países como Brasil, Colombia, Honduras, que también han llevado a cabo estudios a la ceniza, encontrando diferencias importantes en la composición química, que varía dependiendo del lugar de su cultivo y la manera en que fue calcinado su bagazo, provocando diversos resultados.

## **1.2. Caña de azúcar**

Es una planta que pertenece a la familia de las gramíneas, llamada científicamente *Saccharum officinarum*, crece predominantemente en las regiones tropicales y subtropicales.

Conforme al registro más antiguo, su origen como tal data del año 1000 antes de Cristo al sureste de Asia, en India. Sin embargo, existen vestigios que la ubican en los años 4500 antes de Cristo en Nueva Guinea como un tipo de césped, que luego con la ayuda de los antiguos navegantes fue llevada a Borneo, Sumatra y a la India.

La caña de azúcar llega a Guatemala junto a Cristóbal Colon en el siglo XVI, fue entonces cuando empezó el cultivo de forma artesanal. Para el año 1587 ya existían los primeros trapiches en el Valle de Guatemala, pero no fue hasta el año de 1591 que se documentó la existencia del primer ingenio.

El crecimiento en el cultivo de la caña de azúcar e importancia de la agroindustria, llevaron a la creación de la Asociación de azucareros de Guatemala ASAZGUA el 17 de septiembre de 1957. Esto permitió a los ingenios pasar de simples trapiches a modernas fábricas capaces de albergar la mejor tecnología; ubicando a Guatemala como el cuarto exportador de azúcar a nivel mundial, el segundo en Latinoamérica y el tercero con la mayor productividad en el mundo.

Figura 1. **Caña de azúcar**



Fuente: Agricultureros. Red de especialistas en agricultura. *Nuevo método para detectar royas en la caña de azúcar.* [www.agricultureros.com/nuevo-metodo-para-detectar-royas-en-cana-de-azucar/](http://www.agricultureros.com/nuevo-metodo-para-detectar-royas-en-cana-de-azucar/). Consulta: 18 de febrero de 2019.

### **1.3. Producción de azúcar**

El proceso comienza en el campo en donde se cultiva y cosecha la caña de azúcar, luego es llevada al ingenio, donde se cristaliza el jugo a través de procesos que involucran diferentes disciplinas profesionales, dando como resultado el azúcar.

Las operaciones se desarrollan por medio de dos procesos operativos principales que son: agrícola e industrial.

#### **1.3.1. Proceso agrícola**

Incluye desde la preparación de la tierra donde se realizará la siembra de la caña de azúcar, hasta su entrega al ingenio. Es decir; en este proceso se procura cubrir labores como la siembra, el manejo de la plantación, la cosecha y el transporte.

Todas estas actividades deben estar manejadas con base en un cronograma de actividades de acuerdo al lugar y región en donde se planea cultivar la caña, ya que la temperatura, el clima y el tipo de suelo son factores que influyen directamente la calidad de la caña y posteriormente la calidad del azúcar.

#### **1.3.1.1. La siembra**

Consiste en la adecuación de tierras, preparación de suelos y cultivo de esquejes, que deben tener entre 6 a 9 meses de edad y provenir de cultivos cuidados y sanos. La siembra se realiza en primavera y otoño.

- La adecuación de tierras. Es el proceso de establecer, de acuerdo a la topografía del terreno, la distribución, forma y el tamaño de los lotes en donde se cultivará la caña.
- Preparación de suelos. Esta es la etapa donde se adecúa el suelo para recibir la semilla.
- Cultivo. Se colocan 15 yemas por metro lineal. Estas deben ser aptas para la zona.

#### **1.3.1.2. Manejo de la plantación**

La caña de azúcar tiene un crecimiento rápido al comienzo del verano, pero su maduración tarda aproximadamente de 12 a 14 meses. Mientras esto sucede se debe tener un buen manejo de la plantación que se divide en control de malezas, fertilización, riego, control de plagas y aplicación de inhibidores de floración.

- Control de malezas. Se evita el nacimiento de malezas, ya que compiten por luz, agua y nutrientes con la caña.
- Fertilización. Se proveen nutrientes a la caña para su adecuado crecimiento y desarrollo, siendo el principal elemento el Nitrógeno.
- Riego. Se suministra agua de manera artificial al suelo para mantener en condiciones adecuadas la caña.
- Control de plagas. Se reducen las poblaciones de insectos que sean capaces de causar daño en el cultivo, por medio de labores agronómicas.
- Aplicación de inhibidores de floración. Esto permite que la caña crezca mucho más de lo normal sin producir floración.

### **1.3.1.3. La cosecha**

Se lleva a cabo cuando la caña de azúcar se encuentra en su maduración máxima. Para este proceso se tiene que quemar toda la plantación de caña para eliminar toda maleza que impida su corte.

Para el proceso de cosecha se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Planificación. La cosecha se planifica de acuerdo a la edad, variedad, condiciones climáticas y disponibilidad de riego de cada caña, que permitirá localizar efectivamente concentraciones de azúcar.
- Tipo. Se elige entre cosecha granel, mecanizada y tramos o maletas.
- Madurantes. La caña de azúcar es inducida a madurar químicamente, para incrementar su rendimiento y tener el control de su crecimiento.
- Pre cosecha. Se construye una curva de madurez de caña, con el fin de organizar de manera correcta que lote de cultivo cosechar. Para esto se



extrae una muestra por cada 3,5 hectáreas de lote y se hacen muestreos cada 30, 14 y 7 días antes del corte.

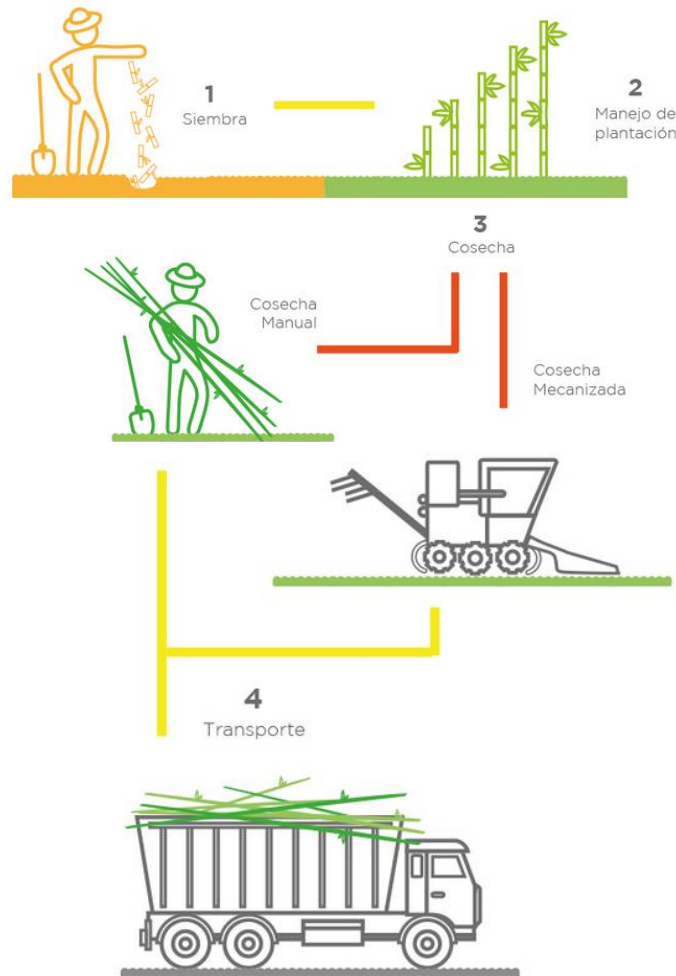
- Corte. Este se puede hacer de forma manual o mecanizada.

#### **1.3.1.4. Transporte**

Esta es la última labor que se debe realizar en el proceso agrícola, luego del corte, la caña es transportada hacia el ingenio para comenzar el proceso industrial. El transporte se puede dividir en 2 fases:

- Alce de caña. La caña se recoge del suelo por medio de alzadoras para colocarla en una jaula. La importancia de este proceso es la correcta colocación de la caña, para maximizar el volumen por jaula, de manera que se debe ejecutar una metodología previamente establecida.
- Transporte. La caña se transporta por medio de las jaulas de metal las cuales son remolcadas por camiones con capacidad de generar 300 HP. Uno de estos camiones puede llevar desde 2 hasta 5 jaulas, todo dependiendo de las condiciones en que se encuentren las carreteras.

Figura 2. **Diagrama de proceso agrícola**



Fuente: Ingenio Pantaleón. *Proceso agrícola, la cosecha de caña de azúcar*.[www.pantaleon.com/procesos/proceso-agricola/](http://www.pantaleon.com/procesos/proceso-agricola/). Consulta: 18 de febrero de 2019.

### 1.3.2. **Proceso industrial**

Empieza por la recepción de la caña en el ingenio y continúa con la preparación de la misma para la extracción de jugos, posteriormente se pasa a la clarificación de estos y la concentración de los mismos, luego se procede a

realizar, la cristalización, el centrifugado y secado, para finalizar con el empaque.

### **1.3.2.1. Extracción del jugo**

La caña de azúcar se somete a compresión en los rodillos del molino, lo cual genera la expulsión del contenido de líquido dentro de los tallos. Se consideran satisfactorias aquellas extracciones, entre 58 % a 63 %, es decir; cuando se obtienen de 580 a 630 kilogramos de jugo por tonelada de caña.

- La caña de azúcar es llevada a la planta y seguidamente es descargada en mesas transportadoras para pasar a las picadoras y desfibradoras, las cuales cortan la caña y la dividen en pequeños trozos facilitando la extracción de jugo en los molinos.
- Un tándem de molinos se encarga de extraer todo el jugo posible que contenga la caña.
- Se lleva a cabo el proceso de maceración, el cual consiste en agregar agua caliente para obtener la máxima cantidad de sacarosa.
- Los residuos de la molienda (bagazo de caña) son enviados a secarse para ser utilizados como combustible dentro de hornos, para la generación de vapor y posteriormente de energía.

### **1.3.2.2. Purificación del jugo**

En esta etapa se procede a eliminarlas impurezas gruesas contenidas en el jugo, físicamente por procedimientos de decantación y flotación, térmicamente calentando el jugo y bioquímica con aglutinantes, como se describe a continuación:

- El jugo obtenido debe ser colado, para lo cual se calienta, logrando sedimentar los sólidos insolubles, separándolos del jugo claro.
- El jugo claro queda en la parte superior del clarificador mientras que los sólidos son llevados hacia filtros rotatorios al vacío que permiten la recuperación de su contenido de sacarosa.

### **1.3.2.3. Concentración del jugo**

Terminada la etapa de purificación de jugo, se inicia con esta nueva etapa, por medio de la evaporación del agua contenida en el jugo, se genera un aumento de azúcares en el jugo restante:

- El jugo claro se envía al tándem de evaporación para ser concentrado hasta que se convierta en meladura.
- La meladura se purifica en los clarificadores antes de ser llevada a los tachos.

### **1.3.2.4. Cristalización**

La finalidad de remover el agua del jugo de caña de azúcar es generar estabilidad y crecimiento de cristales de azúcar dentro de los tachos. En estos debe mantenerse un punto de concentración de sacarosa o índice de sobresaturación viable para la transformación de azúcar en estado líquido a estado sólido (cristales).

- Dentro de los tachos se lleva a cabo la cristalización, donde un solo operador se encarga de realizar este proceso, tomando en cuenta el tamaño del cristal, coeficiente de variación y consumo energético de

vapor. Todo esto para producir una masa cocida conformada por cristales de azúcar y miel.

#### **1.3.2.5. Centrifugación y secado**

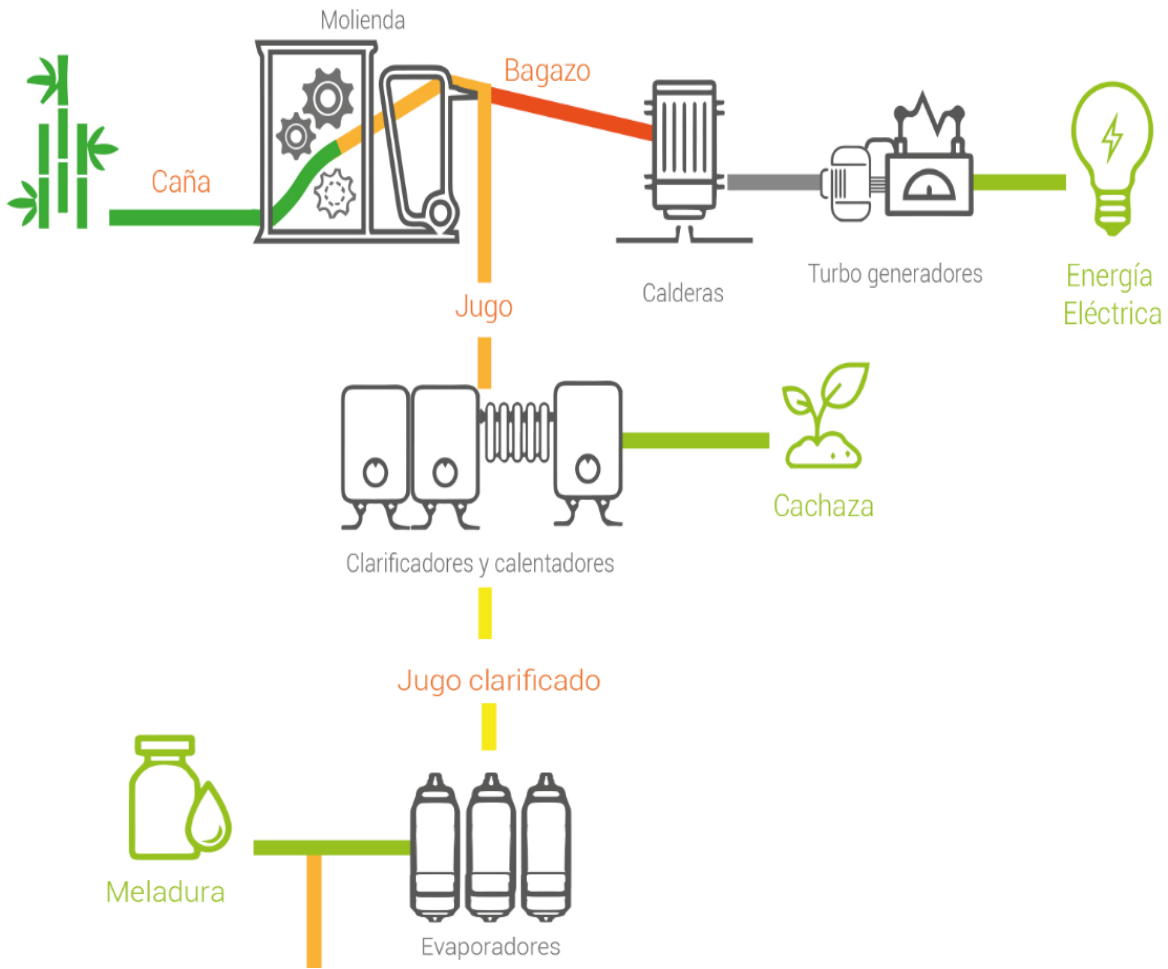
En esta etapa se separa la miel y los cristales de azúcar por medio de centrífugas, luego de esto los cristales son enviados a la refinería y posteriormente al secado. Para finalizar este proceso se clasifica el azúcar según el tamaño del cristal y se almacena en silos para su posterior envasado.

- La masa cocida pasa a centrifugas de alta velocidad que separan los cristales de azúcar, por medio de lavado son retirados los residuos de miel y el azúcar pasa a ser secada, utilizando aire caliente y luego es enfriada.
- Se clasifica el azúcar según el tamaño del cristal y se almacena en silos para su posterior envasado.
- La miel se retira de este proceso, para ser utilizada como materia prima para la creación de alcohol.

#### **1.3.2.6. Envasado**

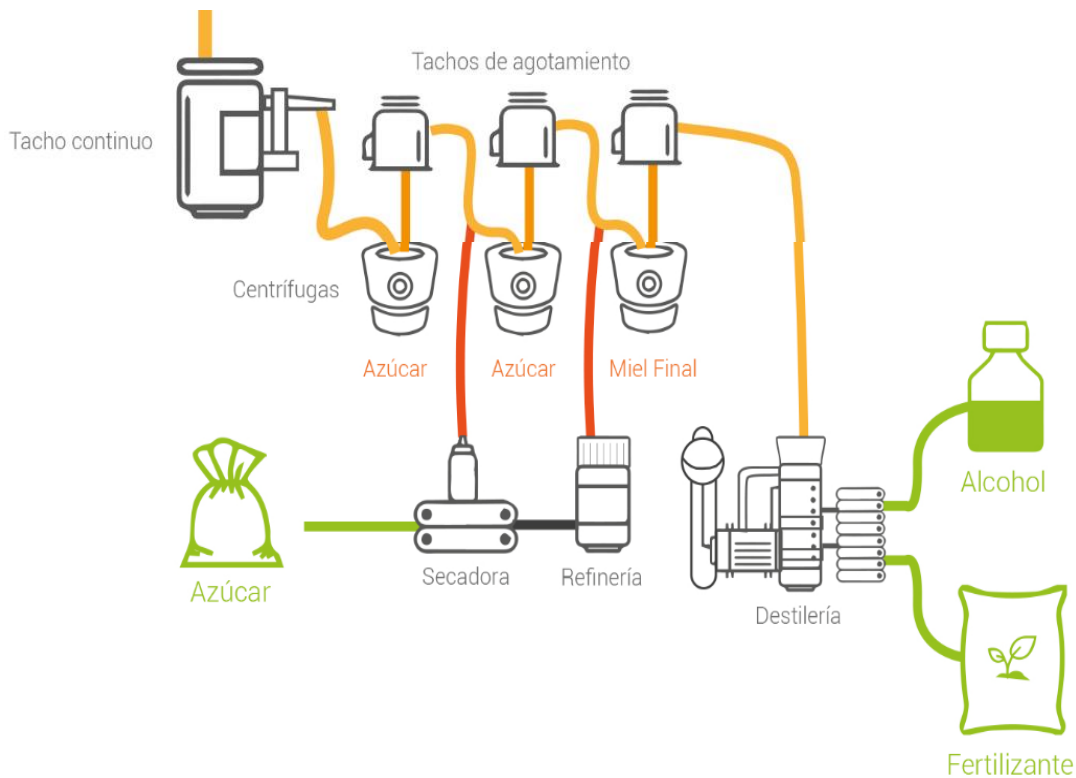
El azúcar refinado se envasa en presentación de 4 500, 2 000, 2 500 gramos, así como 1 arroba y 1 quintal, para su posterior venta.

Figura 3. Diagrama de proceso industrial (parte 1)



Fuente: Ingenio Pantaleón. *Proceso industrial, transformando recursos responsablemente*.  
[www.pantaleon.com/procesos/proceso-agricola/](http://www.pantaleon.com/procesos/proceso-agricola/). Consulta: 18 de febrero de 2019.

Figura 4. Diagrama de proceso industrial (parte 2)



Fuente: Ingenio Pantaleón. *Proceso industrial, transformando recursos responsablemente*. [www.pantaleon.com/procesos/proceso-agricola/](http://www.pantaleon.com/procesos/proceso-agricola/). Consulta: 18 de febrero de 2019.

#### 1.4. Bagazo de caña de azúcar

El bagazo de caña de azúcar es un material fibroso con alto contenido de humedad, granulométrica y estructuralmente heterogéneo. Se obtiene como el residuo que deja la extracción de jugo de la caña de azúcar por medio de la molienda.

Luego de obtener el bagazo, se almacena hasta llegar a un porcentaje inferior del 30 % de humedad para ser utilizado en hornos como combustible.

Este es el uso regular que se le da a este residuo, sin embargo actualmente se le busca otros usos como por ejemplo materia prima para hacer papel.

Figura 5. **Bagazo de caña de azúcar**



Fuente: Residuos profesional. *Residuos de la caña de azúcar para producir papel reciclado, películas y geles.* [www.residuosprofesional.com/bagazo-cana-azucar-papel-reciclado/](http://www.residuosprofesional.com/bagazo-cana-azucar-papel-reciclado/). Consulta: 18 de febrero de 2019.

### **1.5. Ceniza de bagazo de caña de azúcar**

Es lo que resulta luego de incinerar el bagazo de caña de azúcar en hornos para la generación de vapor y energía eléctrica. La ceniza es un residuo agrícola de base inorgánica rico en sílice y alúmina con propiedades puzolánicas, dependiendo de la temperatura de combustión.

La ceniza de bagazo de caña de azúcar es utilizada mayormente en la agricultura como abono natural para la misma caña de azúcar. Últimamente,



luego de muchos estudios evaluando su uso como puzolana, se le está tratando de dar mayor aprovechamiento en la construcción. Sabiendo que el bagazo representa entre un 37 % a 42 % el volumen de la caña, es mucho el material que se puede obtener, porque la mayoría de ingenios en el país utilizan el bagazo de caña como combustible en sus hornos.

Figura 6. **Ceniza de bagazo de caña de azúcar**



Fuente: Universidad Central del Ecuador, Santiago Larco. *Cenizas de bagazos de caña de azúcar*. [www.cenizasdebagazosdecanadeazucar.blogspot.com/](http://www.cenizasdebagazosdecanadeazucar.blogspot.com/). Consulta: 18 de febrero de 2019.






### **1.6. Propiedades de la ceniza de bagazo de caña de azúcar**

La ceniza de bagazo de caña de azúcar, dependiendo de su proceso de calcinación y de sus componentes químicos puede tener propiedades puzolánicas, aprovechables en el campo de la construcción.

### 1.6.1. Proceso de calcinación

El proceso de calcinación consiste en quemar el bagazo en hornos para la generación de vapor que posteriormente se convertirá en energía eléctrica. De este proceso se obtiene como residuo la ceniza y es aquí en donde se define qué tipo de ceniza será la resultante de acuerdo con la temperatura (360 °C a 800 °C) y período de quema.

Figura 7. **Modificaciones del bagazo a través de la calcinación**

|   |   |
|---|---|
|    | A 100°C se presenta una pérdida inicial de masa, resultante de la evaporación de agua absorbida.  |
|   | A 350°C inicia una ignición del material mas volátil, aquí es donde inicia la quema del bagazo.   |
|  | Entre 400°C a 500°C el carbón residual y los óxidos se forman, se observa una pérdida más importante de masa. Después de esta etapa la ceniza se convierte en amorfa, rica en sílice. |
|  | El uso de temperaturas por arriba de los 700°C puede llevar a la formación de cuarzos, y niveles aún más elevados de temperatura, pueden crear otras formas cristalinas.              |
|  | Encima de los 800°C, es sílice presente en la ceniza del bagazo de caña de azúcar es esencialmente cristalino.  |

Fuente: JARA, Ruth. y PALACIOS, Rocio. Tesis *Utilización de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) como sustituto porcentual del cemento en la elaboración de ladrillos de concreto*. p. 37.

De acuerdo con un estudio realizado en 2012 llamado Effect of calcined red mud addition on the hydration of portland cement por Riveiro, D.V. la temperatura ideal de calcinación del bagazo de caña de azúcar debe ser 600 °C para que la ceniza resultante tenga alto contenido de sílice.

### 1.6.2. Componentes químicos

La composición de la ceniza es fundamentalmente SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Pero esta varía según la edad de la caña, el tipo de suelo y la cantidad de fertilizantes. Por lo que depende de la región de donde sea obtenida.

Tabla IV. Componentes químicos de la ceniza

| Compuesto Químico                    | Ubicación |        |        |        |           |          |
|--------------------------------------|-----------|--------|--------|--------|-----------|----------|
|                                      | México    | Cuba   | India  | Brasil | Tailandia | Colombia |
| SiO <sub>2</sub>                     | 72,74     | 82,70  | 64,15  | 78,34  | 64,88     | 76,40    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>       | 5,26      | 3,40   | 9,05   | 8,55   | 6,40      | 5,80     |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>       | 3,92      | 1,10   | 5,62   | 3,61   | 2,63      | 4,50     |
| TiO <sub>2</sub>                     | 0,32      | -      | -      | -      | -         | -        |
| CaO                                  | 7,99      | 3,00   | 8,14   | 2,15   | 10,69     | 3,30     |
| MgO                                  | 2,78      | 3,50   | 2,85   | -      | 1,55      | 2,30     |
| SO <sub>3</sub>                      | 0,13      | -      | -      | -      | 1,56      | -        |
| K <sub>2</sub> O                     | 3,47      | -      | 1,35   | 3,46   | -         | 4,20     |
| Na <sub>2</sub> O                    | 0,84      | -      | 0,92   | 0,12   | -         | 1,10     |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>        | 1,59      | 1,70   | -      | -      | -         | -        |
| K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O | -         | 4,60   | -      | -      | -         | -        |
| Perdidas                             | 100,00    | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00    | 100,00   |

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior se indican los porcentajes de los compuestos que contiene la ceniza de bagazo de caña de azúcar, en algunos de los diferentes países donde ha sido centro de estudio.

### **1.7. Usos alternos de la ceniza de bagazo de caña**

Se ha estudiado el uso de la ceniza de bagazo de caña de azúcar como agregado fino en mezclas de concreto, pero los resultados no fueron los mejores, únicamente se le puede dar este uso, si se le añade a la mezcla polvo de piedra caliza. También se estudió su uso en mezclas para elaborar unidades de mampostería, obteniendo resultados no satisfactorios, al evaluar su resistencia a la compresión.

Sin embargo, los estudios donde la ceniza llega a sustituir en porcentaje al cemento en mezclas de concreto, han dado muy buenos resultados. Las mezclas que poseen sustitución de ceniza de bagazo de caña de azúcar de un 10 % a 20 % aumentan su resistencia a la compresión, disminuyen su permeabilidad presentando una apreciable disminución en la penetración de sales y cloruros, así como una mejora en la evolución del calor dentro de la mezcla. Por lo que se pueden realizar concretos de alta resistencia, estructurales y posiblemente resistentes a los sulfatos.

### **1.8. Ensayos de laboratorio de acuerdo a normas nacionales vigentes**

La Comisión Guatemalteca de Normas COGUANOR, es el organismo nacional de normalización, adscrito al Ministerio de Economía, según Ley del Sistema Nacional de la Calidad decreto 78-2005 del Congreso de la República. Esta comisión es la encargada de la elaboración, aprobación, publicación y difusión de normas técnicas nacionales, así como la adopción de normas técnicas regionales e internacionales a través de los comités técnicos de normalización CTN. Por lo que, de acuerdo al proceso de ensayos, se utilizaron las siguientes normas:

- NTG 41007 - Agregados para concreto. Especificaciones.
- NTG 41010 h21 - Método de ensayo. Método de ensayo. Determinación de la resistencia al desgaste del agregado grueso de tamaño mayor de 19 mm ( $\frac{3}{4}$  plg) por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles.
- NTG 41010 H14 - Método de ensayo. Determinación de la reactividad potencial álcali-sílice en los agregados. Método de la barra de mortero.
- NTG 41052 - Determinación del asentamiento del concreto hidráulico.
- NTG 41053 - Método de ensayo. Determinación del tiempo de fraguado de mezclas de concreto por su resistencia a la penetración.
- NTG 41060 - Práctica para la elaboración y curado de especímenes de ensayo de concreto en el laboratorio.
- NTG 41017 h1 - Método de ensayo. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.

### **1.9. Pruebas de control de calidad para los materiales**

Todos los materiales que se utilicen deberán cumplir con las especificaciones que establece la normativa de COGUANOR. Por esta razón, todos los materiales que se propongan deberán ser examinados y ensayados para su aceptación.

### **1.9.1. Análisis completos para agregados**

Se debe hacer un análisis a los agregados con el fin de garantizar su calidad para que la mezcla de concreto y el resultado final no sea afectado por los mismos.

- **Granulometría.** Este análisis se realiza con el fin de identificar los porcentajes de cada tamaño de partículas presentes en el material. Se debe verificar que tenga una graduación adecuada dentro de los límites establecidos en la normativa, con el fin de evitar excesivas cantidades de partículas que conlleven, por ejemplo, a utilizar mucha más agua de la necesaria.
- **Masa unitaria.** Es la relación entre la masa del material y un volumen ocupado por el mismo, se analiza de dos maneras: suelta y apisonada, con el fin de conocer el consumo de agregados por peso y volumen para hacer un diseño de mezcla adecuado.
- **Gravedad específica.** Se utiliza para calcular el volumen ocupado por el agregado en mezclas, así como también los vacíos en el agregado. Este debe estar dentro de los límites establecidos en la normativa para poder utilizar el material en diseños de mezcla.
- **Absorción.** Es el incremento de la masa debido al agua, sin incluir la que está en la superficie, esto debido a la procedencia del material o a la forma de sus partículas. Se debe conocer este dato para saber si se necesitará más o menos agua dentro de la mezcla para que no se vea afectada la resistencia del concreto.

- Impurezas orgánicas en agregado fino. Este análisis se utiliza para determinar la presencia de compuestos orgánicos dañinos, que bajan la resistencia a compresión del concreto y afecta la hidratación del cemento, presentes en los agregados finos.

### **1.9.2. Abrasión para agregado grueso**

Es un índice de calidad del agregado grueso, porque tiene efectos de impacto y fricción. Este procedimiento se lleva a cabo utilizando la máquina de Los Ángeles. La realización de este ensayo es esencial debido a que la baja resistencia al desgaste puede aumentar la cantidad de finos en el concreto durante el mezclado, lo que puede ocasionar una demanda mucho mayor de agua a la establecida en la relación agua/cemento y por consiguiente cambia el diseño original y provoca disminución de resistencia en el concreto endurecido.

### **1.9.3. Ataque de sulfatos a los agregados**

Los agregados deben ser analizados para evaluar su comportamiento con los sulfatos por medio del ensayo de resistencia a disgregación a los sulfatos, utilizando sulfato de sodio o sulfato de magnesio. Las consecuencias del ataque de sulfatos producen degradación por expansión y fisuración, reducción en la resistencia mecánica y pérdida de adherencia entre la pasta y las partículas de los agregados.

### **1.9.4. Fluorescencia por rayos X para la ceniza de bagazo de caña**

La técnica de Fluorescencia de Rayos X se basa en el estudio de las emisiones de fluorescencia generadas después de la excitación de una muestra

mediante la irradiación con un haz de rayos X procedente de un tubo de rayos X o de una fuente radiactiva. La radiación incide sobre la muestra excitando los átomos presentes en la misma, que emiten a su vez radiación característica denominada fluorescencia de rayos X. Esta técnica cumple con las especificaciones de la norma ASTM C 114 – 05. Por medio de este ensayo se obtendrá la composición química de la muestra de ceniza de bagazo identificando su capacidad de ser utilizada como puzolana.

#### **1.9.5. Análisis de la ceniza de bagazo de caña de azúcar para uso en concreto**

La ceniza de bagazo de caña de azúcar puede ser usada en mezclas de concreto cuando se presente en ella actividad puzolánica y esta depende de algunos parámetros como: el tamaño de las partículas, la temperatura de calcinación, naturaleza cristalina y la composición química. Por lo que si la muestra de ceniza analizada de acuerdo a la fluorescencia por rayos X da como resultado que la ceniza tiene altos contenidos de sílice, se pueden comparar los resultados con los obtenidos en otros países con el fin de establecer posibles causas al diferir los resultados obtenidos por los ensayos de ceniza de bagazo de caña de azúcar producida en Guatemala con los obtenidos en los estudios anteriores.

#### **1.10. Diseños de mezcla para concreto**

Proporcionar o diseñar una mezcla de concreto consiste en determinar las cantidades de materiales que hay que emplear en la mezcla para obtener un concreto adecuado para un uso determinado, considerando siempre la cantidad de agua libre, que es muy importante para conservar las propiedades del concreto.



### **1.10.1. Diseño teórico**

Se debe determinar la resistencia y trabajabilidad requeridas, los datos de relación agua/cemento y la cantidad aproximada de agua libre para alcanzar la trabajabilidad y resistencia real.

Luego se calcula el cemento, los agregados (de acuerdo a su módulo de finura y tamaño máximo del agregado). Para determinar por volumen absoluto o volumen de sólidos, las cantidades de material necesarios, por último se convierten estos volúmenes a pesos.

### **1.10.2. Diseño práctico**

Tomando como base el diseño teórico se procede a crear una masada de prueba para comprobar si la mezcla tiene las características deseadas y las cantidades previstas de material. Por lo general, se deben hacer ajustes a las proporciones con el fin de tener la consistencia y plasticidad de acuerdo con la trabajabilidad diseñada, con los resultados de las características físicas de los agregados.

## **1.11. Pruebas de desempeño para concreto fresco**

Las pruebas de desempeño para concreto fresco ayudan a verificar si el concreto cumple con la calidad especificada por las normas. Estas pruebas se deben realizar en un tiempo no mayor de 15 minutos con muestras representativas.

### **1.11.1. Asentamiento NTG 41052**

El ensayo de revenimiento (asentamiento) es utilizado para medir la consistencia del concreto, que es la capacidad del concreto de fluir. El revenimiento es considerado un indicador de trabajabilidad. Siempre se debe producir el concreto para que tenga trabajabilidad, consistencia y plasticidad adecuadas con las condiciones de la obra. Para una dada proporción de cemento y agregados, sin aditivos, cuanto mayor es el revenimiento, más agua contiene y es más trabajable la mezcla, pero menos resistente.

### **1.11.2. Temperatura NTG 41053**

Este ensayo permite medir la temperatura de mezclas de concreto recién mezclado, la variable medida representa la temperatura al tiempo de ensayo y puede no ser indicativa de la temperatura del concreto recién mezclado a un tiempo posterior.

La temperatura debe tomarse debido al control que debe hacerse al concreto por el calor de hidratación y esta debe estar entre 10 y 35 °C. El termómetro debe meterse en la mezcla de concreto alrededor de 2 a 5 minutos para que la temperatura este regulada.

### **1.11.3. Masa unitaria NTG 41017 h5**

La masa unitaria o masa volumétrica del concreto fresco se expresa en kilogramos por metro cúbico. Se utiliza junto con la masa total de la revoltura para calcular el rendimiento, que es el volumen del concreto fresco producido en una mezcla, normalmente expresado en metros cúbicos. El procedimiento consiste en llenar un recipiente de dimensiones conocidas, con tres capas de

concreto, apisonadas 25 veces. Para luego pesar el recipiente más el concreto y restar por último el peso del recipiente.

#### **1.11.4. Contenido de aire NTG 41017 h17**

Se determina por medio del método de presión. Regularmente en el concreto se tienen contenidos de aire de entre 1 % y 3 %, sin embargo, para su estudio se tiene un rango de 1 % – 7 %, siendo 7% un concreto muy liviano dependiendo de los agregados y de su porosidad.

#### **1.11.5. Muestreo de cilindros NTG 41060**

Las probetas a ensayar dependerán de los ensayos a realizar y serán elaborados de acuerdo a las variables que involucren. Las edades de ensayo usadas normalmente son 7 y 28 días para ensayos de resistencia a compresión, o 14 y 28 días para ensayos de resistencia a la flexión. En este caso, se realizarán 2 probetas para cada edad (3, 7, 28 y 56 días), de cada una de las mezclas. Se le tomarán medidas a las probetas para descartar los que no cumplan con las especificaciones de la norma, así también serán evaluados visualmente para aceptar o rechazar su uso.

#### **1.11.6. Velocidad de endurecimiento NTG 41053**

El uso de ceniza volante, escoria granulada de alto horno, molida u otra ceniza, normalmente retarda el tiempo de fraguado. El grado de retardo depende de diversos factores, tales como la cantidad de cemento Portland, la demanda de agua; el tipo, la reactividad y el porcentaje de escoria o puzolana y la temperatura del concreto. Es por eso que se debe obtener este valor por medio de un ensayo de resistencia a la penetración.

## **1.12. Pruebas mecánicas para concreto endurecido**

Para controlar la calidad del concreto endurecido la resistencia a la compresión es el parámetro principal, sin embargo existen otros parámetros como la resistencia a flexión y la relación de agua/cemento.

- Esfuerzo de compresión en cilindros de concreto NTG 41017 h1. El esfuerzo que soportan los cilindros bajo carga de compresión será la medida de resistencia que tenga el concreto dependiendo del material de fabricación, proporción, forma de mezclar, tipo de bachada, temperatura, llenado, proceso de curado y edad de los mismos. Por medio de este estudio verifica la calidad del concreto realizado, es aquí en donde se podrá observar como aumenta o disminuye la resistencia a la compresión de las diferentes mezclas de concreto con adición de ceniza de bagazo de caña de azúcar.

## **2. DESARROLLO EXPERIMENTAL**

### **2.1. Metodología**

La metodología se dividirá en dos partes, de acuerdo al enfoque que se le dará a la investigación: el tipo de investigación y las variables a investigar. Dentro de estas secciones se definirá el propósito de la investigación y los métodos a utilizar para obtener resultados que se puedan analizar para aceptar o descartar el uso de la ceniza de bagazo de caña de azúcar producida en Guatemala, en el concreto.

#### **2.1.1. Tipo de investigación**

El tipo de investigación definido es experimental, debido a que se realizarán varias pruebas para poder llegar a obtener resultados reales y poder concluir al respecto. Por ser la primera vez que se realiza esta investigación dentro del país, se harán diferentes dosificaciones de ceniza de bagazo de caña de azúcar como puzolana en concreto, que debe llegar como mínimo a una resistencia de concreto estándar usando menos cantidad de cemento.

Se estudiará la composición química del bagazo de caña de azúcar producido en Guatemala. Con base en la Norma ASTM C311 Métodos de ensayo. Muestreo y ensayo de ceniza volante de carbón y de puzolanas naturales utilizadas como adiciones

Se procede a diseñar una mezcla apta para la sustitución de ceniza de bagazo de caña de azúcar como puzolana, para la cual se deben hacer ensayos a los componentes según la siguiente normativa de COGUANOR:

- NTG-41007 - Agregados para Concreto. Especificaciones.
- NTG 41010 h20/h21 - Método de ensayo. Determinación de la resistencia al desgaste, del agregado grueso, por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles.
- NTG-41010 – Método de ensayo. Determinación de la reactividad potencial álcali-sílice en los agregados. Método de la barra de mortero.

Realizados los ensayos se procederá a diseñar la mezcla, según el método del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII), con el fin de elaborar una muestra por cada sustitución (3 sustituciones), además de la muestra para el concreto ideal que servirá de parámetro comparativo. Por cada muestra se harán ensayos de resistencia a 3, 7, 28 y 56 días, para los cuales se utilizarán 2 cilindros por edad respectivamente.

### **2.1.2. Variables**

Al tener todas las probetas se harán los ensayos para conocer el comportamiento del concreto con sustitución de ceniza como puzolana, en donde se procederá a evaluar las siguientes variables:

- Dosificación. La proporción a utilizar con base en los antecedentes, se harán con sustituciones de ceniza por cemento en un 5 %, 10 %, 15 % y 20 %, para determinar el porcentaje ideal a sustituir, según estudios realizados en otros países.

- Temperatura. Se verificará la temperatura del concreto fresco mediante un termómetro, en grados centígrados. Con base en la Norma NTG 41053 Medición de la temperatura del concreto hidráulico recién mezclado.
- Asentamiento. Se evaluará el asentamiento en pulgadas. Con base en la Norma NTG 41052 Determinación del asentamiento del concreto hidráulico.
- Endurecimiento. Se evaluará el endurecimiento del concreto con un ensayo de penetración con resultados en psi. Con base en las normas NTG 41017 h12 Método de ensayo. Determinación del tiempo de fraguado de mezclas de concreto por su resistencia a la penetración y NTG 41017 h18 Método de ensayo. Determinación de la resistencia a la penetración del concreto endurecido.
- Resistencia. Se espera que para las distintas proporciones, las probetas de concreto con sustitución de ceniza de bagazo de caña de azúcar como puzolana, logren tener una resistencia a la compresión adecuada. Con base en las normas: NTG 41017 h1 (1ª. Revisión) Método de ensayo. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto) y NTG 41060 Práctica para la elaboración y curado de especímenes de ensayo de concreto en el laboratorio.

Por último, se determinarán las propiedades mecánicas del concreto utilizando la ceniza de bagazo de caña de azúcar como puzolana, con base en los resultados obtenidos en todos los ensayos con las diferentes muestras. Se utilizarán tablas comparativas y gráficos que permitan verificar de mejor manera estas propiedades.

## **2.2. Maquinaria y equipo**

La maquinaria y equipo utilizados deben cumplir con respecto a la normativa establecida. Para el caso de la máquina universal de acuerdo a la Norma NTG 41045 y para la máquina de Los Ángeles de acuerdo a la Norma NTG 41010 h20.

### **2.2.1. Máquina Universal**

Es una máquina capaz de realizar distintos tipos de ensayos destructivos en un mismo marco de carga. Cuenta con diferentes accesorios que sirven para implementar diferentes ensayos por medio de sistemas mecánicos, dentro de estos ensayos se tienen: tensión, compresión y algunos tipos de flexión.

Algunos aspectos que se deben tomar en cuenta al utilizar una máquina universal, con respecto a lo establecido en las normas son los siguientes:

- Debe estar calibrada para brindar la exactitud necesaria en todos los ensayos tomando como error máximo  $\pm 1$  % de la carga indicada.
- Debe contar con un sistema motorizado que aplique carga continuamente sin generar impacto y un indicador de la carga.
- Debe contar con espacio suficiente para poder colocar la probeta de ensayo y algún dispositivo de calibración elástico.
- Debe contar con bloques de apoyo que cumpla con la normativa. Hechos de acero con caras endurecidas y como mínimo 3 % más grande que el diámetro del espécimen ensayado.
- Debe contar con separadores que cumplan con la normativa.



### **2.2.2. Máquina de los Ángeles**

Algunos aspectos que se deben tomar en cuenta al utilizar la máquina de Los Ángeles, con respecto a lo establecido en las normas son los siguientes:

- Debe mantener una velocidad periférica uniforme.
- Debe contar con una pestaña removible dentro del tambor, de tal forma que el plano centrado entre las caras planas del tambor, coincida con el plano axial.
- Se deben utilizar esferas de acero con diámetro promedio de 46,8 mm y con una masa entre 390 y 445 gramos.
- Dentro del interior del tambor no debe existir ningún saliente que interrumpa la trayectoria de la muestra o de las esferas de acero.
- El tambor debe rotar con el eje en posición horizontal con un error máximo del 1 % de pendiente.

### **2.3. Materiales**

Todos los materiales deben cumplir con las especificaciones que establece la normativa de COGUANOR. Por esta razón, estos materiales fueron adquiridos en lugares donde se garantiza su calidad, para ser analizados y ensayados para su aceptación.

#### **2.3.1. Cemento hidráulico**

El cemento hidráulico está compuesto principalmente de óxido de calcio (CaO), dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>), óxido de aluminio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), óxido de hierro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y trióxido de azufre (So<sub>3</sub>). Otorgándole al cemento la propiedad de fraguar y endurecer en presencia del agua. En conjunto con los demás

materiales se forma el concreto, que a medida de sea hidratado continuará volviéndose más duro y resistente. Se pretende que la puzolana, ceniza de bagazo de caña de azúcar contribuya a que aumente la resistencia al entrar en contacto con el agua y reaccionar con los componentes del cemento.

Figura 8. **Cemento hidráulico**



Fuente: elaboración propia.

### 2.3.2. **Agregado fino**

Se utilizará arena de río como agregado fino, adquirido en Agregados de Guatemala, S.A. (AGRECA), garantizando la calidad del producto adquirido.

Figura 9. **Agregado fino**



Fuente: elaboración propia.

### 2.3.3. Agregado grueso

Se utilizará roca triturada como agregado grueso. Adquirido en Agregados de Guatemala, S.A. (AGRECA), garantizando la calidad del producto adquirido.

Figura 10. **Agregado grueso**



Fuente: elaboración propia.

### 2.3.4. Ceniza de bagazo de caña de azúcar

La ceniza de bagazo de caña de azúcar fue obtenida por medio de una donación de un ingenio guatemalteco.

Figura 11. **Ceniza de bagazo de caña de azúcar**



Fuente: elaboración propia.

## **2.4. Datos obtenidos**

Dentro de esta sección se mencionarán los datos que se obtendrán por medio de los ensayos realizados y su importancia dentro de la investigación.

### **2.4.1. Control de calidad para los materiales**

La calidad del concreto depende principalmente de sus agregados, porque representan la mayor parte de su composición. Por esta razón, es de gran interés conocer las características físicas de los agregados a utilizar, por medio de ensayos, para que cumplan con las especificaciones y se encuentren dentro de los límites establecidos en las normas.

#### **2.4.1.1. Agregado fino**

Se realizó un ensayo de análisis completo del agregado fino, con la colaboración del laboratorio CETEC, para obtener sus características. Este ensayo brinda los siguientes resultados: granulometría, densidad relativa, densidad aparente compactada, densidad aparente suelta, densidad aparente húmeda, porcentaje de absorción, contenido de humedad, contenido de materia orgánica y módulo de finura. Datos que serán utilizados para aceptar o descartar el agregado y elaborar el diseño de mezcla teórico.

#### **2.4.1.2. Agregado grueso**

Se realizó un ensayo de análisis completo del agregado grueso, con la colaboración del laboratorio CETEC, para obtener sus características. Este ensayo brinda los siguientes resultados: granulometría, densidad relativa, densidad aparente compactada, densidad aparente suelta, porcentaje de

absorción y módulo de finura. También se realizó un ensayo de abrasión al agregado grueso, este brindará los resultados del porcentaje de desgaste y graduación. Datos que serán utilizados para aceptar o descartar el agregado y elaborar el diseño de mezcla teórico.

#### **2.4.1.3. Ceniza de bagazo de caña de azúcar**

Se realizó un análisis químico de la ceniza de bagazo de caña de azúcar producida en Guatemala con la colaboración del laboratorio CETEC, mediante fluorescencia de rayos x, obteniendo como resultado los porcentajes de cada uno de los componentes de la ceniza de bagazo de caña de azúcar, los cuales serán utilizados para determinar si se le puede considerar una puzolana.

Con la colaboración del laboratorio del CII, también se realizó el ensayo para la determinación de la finura de la ceniza de bagazo de caña de azúcar producida en Guatemala, por medio de lavado del material que pasa por el tamiz No. 200, con el fin asegurarse que las partículas de la ceniza sean compatibles con las partículas del cemento, para poder sustituirlo.

#### **2.4.2. Diseños de mezcla para concreto**

Se realizarán los diseños de mezcla para cada una de las diferentes sustituciones de ceniza de bagazo de caña de azúcar tomando en cuenta los resultados de los ensayos del agregado fino (densidad aparente suelta y compactada) y agregado grueso (granulometría, densidad aparente suelta y compactada). Así como datos de las tablas, utilizadas en el CII, para el diseño de mezcla. Se diseñará para una resistencia final de  $210 \text{ kg/cm}^2$  (3000 psi) con un asentamiento de 10 cm.

### **2.4.3. Desempeño del concreto fresco**

El concreto fresco debe ser semifluido y con capacidad de ser moldeado a mano. Debe tener una apariencia uniforme con una buena distribución de todos sus componentes. Se verificará su comportamiento por medio de los ensayos de: temperatura, porcentaje de vacíos, asentamiento y peso unitario. Para cada una de las mezclas que serán realizadas, de acuerdo a las especificaciones indicadas dentro de la normativa.

Luego de pasadas tres horas desde que el cemento de la mezcla estuvo en contacto con el agua se procederá a realizar el ensayo de penetración para establecer el tiempo de fraguado de cada una de las mezclas a realizar, conforme a las especificaciones establecidas dentro de la norma.

### **2.4.4. Comportamiento mecánico del concreto endurecido**

El concreto endurecido tiene la capacidad de soportar cargas y esfuerzos de compresión, por lo que para verificar su comportamiento se procederá a realizar ensayos de compresión a cada uno de los cilindros de concreto elaborados, para cada una de las mezclas establecidas, al llegar al tiempo indicado en la metodología (3, 7, 14, 28 y 56 días), con el fin de establecer la resistencia a la compresión de la mezcla realizada y el comportamiento que tuvo en el transcurso del tiempo; así como también el tipo de falla que tendrán los cilindros, brindará las posibles causas por las cuales se produjo. La ejecución de este ensayo será de acuerdo a las especificaciones establecidas dentro de la norma.

## **2.5. Cálculos efectuados**

Luego de efectuados ensayos y obtenido los datos, se procede a realizar los cálculos que permitan identificar el comportamiento de los elementos ensayados.

### **2.5.1. Control de calidad para los materiales**

De los ensayos realizados a los agregados se obtienen los resultados finales, por lo que no se efectúa ningún cálculo, realizando una comparación de algunas de las características de los agregados con los rangos establecidos dentro de la normativa para aceptar o rechazar el material.

Del mismo modo para la ceniza de bagazo de caña de azúcar se procede a realizar un análisis de sus componentes obtenidos por medio del ensayo químico, identificando los más importantes y verificando si posee la cantidad adecuada, para poder catalogar a la ceniza de bagazo de caña de azúcar producida en Guatemala, como una puzolana. Siendo el único cálculo, el porcentaje de ceniza de bagazo de caña de azúcar que pasa el tamiz No.200 para determinar su finura. De acuerdo a las especificaciones establecidas dentro de la norma.

### **2.5.2. Diseños de mezcla para concreto**

Obtenidas las características de los agregados y aceptando su uso, se procede a realizar los diseños de mezcla correspondientes a cada una de las variaciones de sustitución de ceniza de bagazo de caña de azúcar, propuestas anteriormente, utilizando las especificaciones establecidas y las tablas de diseño de mezcla del CII. Realizando el siguiente procedimiento:

- Determinación del tamaño máximo nominal del agregado grueso de acuerdo a la granulometría del material.
- Cálculo de la resistencia final con un factor de seguridad acuerdo a la calidad de los materiales a utilizar.
- Obtención de la cantidad de agua a utilizar con la ayuda de las tablas del método para el diseño de mezcla del CII, de acuerdo al asentamiento establecido y el tamaño máximo nominal del agregado grueso.
- Obtención de la relación agua/cemento a utilizar con la ayuda de las tablas del método para el diseño de mezcla del CII, de acuerdo a la resistencia final.
- Cálculo del peso del cemento a utilizar, con los datos obtenidos de la relación agua/cemento y la cantidad de agua.
- Cálculo del peso de los agregados a utilizar, con los datos obtenidos de la cantidad de agua, peso del cemento y peso final del concreto.
- Obtención del porcentaje del agregado fino a utilizar, con el dato del tamaño máximo nominal del agregado grueso.
- Cálculo del porcentaje del agregado grueso a utilizar, con el dato del porcentaje del agregado fino a utilizar.
- Se finaliza calculando el peso de los materiales para 1 metro cubico de mezcla, la proporción de teórica de la mezcla y el peso de los materiales para 1 saco de cemento.

### **2.5.3. Desempeño del concreto fresco**

Realizados los diseños de mezclas, se proceden a elaborar cada una de ellas, evaluando su comportamiento con los ensayos de concreto fresco ya definidos, dando como resultado los datos finales con la excepción del peso unitario, que se calcula de acuerdo a las especificaciones establecidas en la norma.



Para la determinación del tiempo de fraguado se procede de acuerdo a las especificaciones establecidas en la norma, los datos obtenidos por medio del ensayo, con el fin de identificar la hora de inicio y final del fraguado, de cada una de las mezclas de concreto. El procedimiento se realiza de la siguiente manera:

- Se realiza una gráfica evaluando el esfuerzo (psi) contra el tiempo transcurrido (minutos) para indicar el comportamiento del fraguado.
- Se analiza la gráfica con una línea de tendencia, que permita obtener la fórmula que representa su comportamiento.
- Se evalúa dentro de la fórmula el fraguado inicial (500 psi) y el fraguado final (4 000 psi) para obtener el tiempo transcurrido para llegar a estos valores de esfuerzo.

#### **2.5.4. Comportamiento mecánico del concreto endurecido**

Se realizan los ensayos de compresión de cilindros de concreto de acuerdo a las edades ya establecidas, para todas las mezclas realizadas. Para calcular el esfuerzo de compresión de cada uno de ellos. El procedimiento se realiza conforme a las especificaciones de norma.

#### **2.6. Resultados**

Luego de efectuados los cálculos se obtienen los resultados que serán analizados para obtener las conclusiones del comportamiento de todas las mezclas de concreto.

### 2.6.1. Control de calidad para los materiales

Los resultados del control de calidad de los agregados fino y grueso, luego de efectuado un ensayo completo, se presentan en las siguientes tablas.

Estas tablas representan las características necesarias para aceptar o rechazar los materiales de acuerdo a los límites establecidos dentro de la normativa.

Tabla V. **Características del agregado fino**

| Características del agregado fino                  |          |  |
|--|----------|--|
| Característica                                     | Cantidad | Observaciones                                |
| Densidad Relativa (SSS)                            | 2,51     | Rango 2,4-2,9                                |
| Densidad Aparente Compactada (kg/cm <sup>3</sup> ) | 1590     | Características físicas propias del material |
| Densidad Aparente Suelta (kg/cm <sup>3</sup> )     | 1480     |  |
| Densidad Aparente Húmeda (kg/cm <sup>3</sup> )     | 1340     |  |
| Absorción (%)                                      | 3,6      |  |
| Contenido de Humedad (%)                           | 4,9      |  |
| Materia Orgánica (No. Color)                       | 1        | Máximo No. 3                                 |
| Módulo de Finura (MF)                              | 3,45     | Rango 2,2-3,2                                |

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a los datos de la tabla anterior se puede decir que el material cumple con la mayoría de los rangos establecidos dentro de la normativa a excepción del módulo de finura, lo que indica que se tiene un material con mayor presencia de partículas gruesas, por lo que se puede aceptar el uso de este material solamente si se cuenta con la garantía del proveedor que estas características no afectaran el comportamiento de las mezclas ni la resistencia del concreto.

Tabla VI. **Características del agregado grueso**

| Características del agregado grueso                |          |  |
|--|----------|--|
| Característica                                     | Cantidad | Observaciones                                |
| Densidad Relativa (SSS)                            | 2,69     | Rango 2,4-2,9                                |
| Densidad Aparente Compactada (kg/cm <sup>3</sup> ) | 1550     | Características físicas propias del material |
| Densidad Aparente Suelta (kg/cm <sup>3</sup> )     | 1430     |  |
| Absorción (%)                                      | 0,9      |  |
| Pasa Tamiz No.200 (0,075mm) (%)                    | 1,1      | Máximo 1 %                                   |
| Módulo de Finura (MF)                              | 3,45     | No se menciona                               |
| Desgaste (Graduación B) (%)                        | 21       | Máximo 50 %                                  |

Fuente: elaboración propia.

En el caso del agregado grueso todas las características se encuentran dentro de los rangos establecidos en la norma. Por lo que se le da una aceptación al material para ser utilizado en mezclas de concreto.

Para la ceniza de bagazo de caña de azúcar, los ensayos realizados fueron: Determinación por lavado del material que pasa el tamiz No. 200, el cual brinda un dato de la finura del material y un análisis de composición química con el cual se acepta o rechaza la ceniza de bagazo de caña de azúcar producida en Guatemala como una puzolana.

Dentro de la composición química de la ceniza de bagazo de caña de azúcar se debe encontrar en un 70 % o más la presencia de estos tres compuestos (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y SiO<sub>2</sub>), para considerarla como una puzolana.

Así también la ceniza debe ser tan fina como el cemento de acuerdo a esto el material que pasa el tamiz No. 200 debe ser mucho mayor que el retenido para considerar la ceniza como un material extra fino.

Tabla VII. **Composición química de la ceniza de bagazo de caña de azúcar**

| Compuesto                      | Cantidad (%) | Observaciones  |
|--------------------------------|--------------|--|
| SiO <sub>2</sub>               | 64,34        | La suma de los 3 compuestos debe ser igual o mayor a 70 %          |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 13,32        |  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5,59         |  |
| K <sub>2</sub> O               | 3,55         | Compuestos que pueden resultar perjudiciales                       |
| Na <sub>2</sub> O              | 1,07         |  |
| % Retenido Tamiz #200          | 4,1          | El porcentaje debe ser mínimo para considerar una finura adecuada. |

Fuente: elaboración propia.

Tomando en cuenta las observaciones se puede catalogar a la ceniza de bagazo de caña de azúcar producida en Guatemala como una puzolana, porque su finura y composición química son las adecuadas. Sin embargo, se debe poner atención en el comportamiento que presenten, dentro de la mezcla de concreto, los compuestos identificados como perjudiciales.

### 2.6.2. Diseños de mezcla para concreto

Los resultados del procedimiento del diseño de mezcla son las proporciones de los materiales, el peso de los materiales para 1m<sup>3</sup>de concreto y el peso de los materiales para 1 saco de cemento.

Tabla VIII. **Resultados del diseño de mezcla**

| Material                   | Proporción | Para 1 m <sup>3</sup><br>(kg) | Para 1 Saco<br>(kg) |
|----------------------------|------------|-------------------------------|---------------------|
| Patrón 0 % de ceniza       |            |                               |                     |
| Cemento                    | 1,00       | 350,88                        | 42,50               |
| Ceniza                     | 0,00       | 0,00                          | 0,00                |
| A. Fino                    | 2,32       | 813,61                        | 66,59               |
| A. Grueso                  | 2,95       | 1 035,51                      | 87,71               |
| H2O (litros)               | 0,57       | 200,00                        | 24,23               |
| Sustitución 5 % de ceniza  |            |                               |                     |
| Cemento                    | 1,00       | 333,45                        | 42,50               |
| Ceniza                     | 0,05       | 17,55                         |                     |
| A. Fino                    | 2,44       | 813,56                        | 70,06               |
| A. Grueso                  | 3,11       | 1 035,44                      | 92,29               |
| H2O (litros)               | 0,60       | 200,00                        | 25,49               |
| Sustitución 10 % de ceniza |            |                               |                     |
| Cemento                    | 1,00       | 315,90                        | 42,50               |
| Ceniza                     | 0,11       | 35,10                         |                     |
| A. Fino                    | 2,58       | 813,56                        | 73,95               |
| A. Grueso                  | 3,28       | 1 035,44                      | 97,42               |
| H2O (litros)               | 0,63       | 200,00                        | 26,91               |
| Sustitución 15 % de ceniza |            |                               |                     |
| Cemento                    | 1,00       | 298,50                        | 42,50               |
| Ceniza                     | 0,18       | 52,65                         |                     |
| A. Fino                    | 2,73       | 813,56                        | 78,31               |
| A. Grueso                  | 3,47       | 1 035,44                      | 103,15              |
| H2O (litros)               | 0,67       | 200,00                        | 28,49               |

Fuente: elaboración propia.

Los diseños de mezcla fueron elaborados de acuerdo al método utilizado en el Centro de Investigaciones de Ingeniería/USAC y al tratar de llegar al mismo esfuerzo de compresión, la diferencia de estas sería solamente la variación en la cantidad de cemento y ceniza de bagazo de caña de azúcar.

### 2.6.3. Desempeño del concreto fresco

Los resultados obtenidos para evaluar el desempeño del concreto fresco son los resultados de las pruebas de laboratorio, añadiendo el resultado del cálculo del peso unitario de cada una de las mezclas.

Tabla IX. Resultados del desempeño del concreto fresco

| Ensayo                            | Cantidad | Rango                     |
|-----------------------------------|----------|---------------------------|
| <b>Patrón 0 % de ceniza</b>       |          |                           |
| Tempera (°C)                      | 20       | 10 °C – 35 °C             |
| Vacios (%)                        | 1,3      | 1 % - 7 %                 |
| Asentamiento (cm)                 | 19,5     | 8 cm - 12 cm              |
| P.U. (kg/m3)                      | 2 334    | 2 000 kg/m3 – 2 400 kg/m3 |
| <b>Sustitución 5 % de ceniza</b>  |          |                           |
| Tempera (°C)                      | 21       | 10 °C – 35 °C             |
| Vacios (%)                        | 1        | 1 % - 7 %                 |
| Asentamiento                      | 10       | 8 cm - 12 cm              |
| P.U. (kg/m3)                      | 2 361    | 2 000 kg/m3 – 2 400 kg/m3 |
| <b>Sustitución 10 % de ceniza</b> |          |                           |
| Tempera (°C)                      | 21,5     | 10 °C – 35 °C             |
| Vacios (%)                        | 1,5      | 1 % - 7 %                 |
| Asentamiento (cm)                 | 1        | 8 cm - 12 cm              |
| P.U. (kg/m3)                      | 2 350    | 2 000 kg/m3 – 2 400 kg/m3 |
| <b>Sustitución 15 % de ceniza</b> |          |                           |
| Tempera (°C)                      | 20       | 10 °C – 35 °C             |
| Vacios (%)                        | 1,3      | 1 % - 7 %                 |
| Asentamiento (cm)                 | 11       | 8 cm - 12 cm              |
| P.U. (kg/m3)                      | 2 283    | 2 000 kg/m3 – 2 400 kg/m3 |

Fuente: elaboración propia.

De esta manera, con la ayuda de la tabla anterior, se puede empezar a concluir acerca de las consecuencias que genera el uso de la ceniza de bagazo de caña de azúcar producida en Guatemala en mezclas de concreto.

Se realizó para cada una de las mezclas el ensayo para determinación del tiempo de fraguado en mezclas de concreto por su resistencia a la penetración, dando como resultados los tiempos de inicio y final de fraguado.

Tabla X. **Resultados del tiempo de fraguado del concreto**

| Mezcla                     | Tiempo de fraguado inicial (500 psi) | Tiempo de fraguado final (4 000 psi) |
|----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Patrón 0 % de ceniza       | 5 horas 39 minutos                   | 8 horas 3 minutos                    |
| Sustitución 5 % de ceniza  | 5 horas 44 minutos                   | 8 horas 28 minutos                   |
| Sustitución 10 % de ceniza | 4 horas 27 minutos                   | 6 horas 48 minutos                   |
| Sustitución 15 % de ceniza | 7 horas 2 minutos                    | 9 horas 6 minutos                    |

Fuente: elaboración propia.

Con la ayuda de la tabla anterior, se puede comenzar a concluir que el aumento de tiempo de fraguado es proporcional al aumento de sustitución de ceniza.

#### **2.6.4. Comportamiento mecánico del concreto endurecido**

Los resultados del comportamiento mecánico para cada una de las mezclas son los resultados del ensayo de compresión de cilindros, presentados en la siguiente tabla, comparándolos con el esfuerzo teórico.

Tabla XI. **Resultados del desempeño del concreto endurecido**

| Edad (días)                | Esfuerzo teórico (psi) | Esfuerzo promedio (psi) | Falla (tipo) |
|----------------------------|------------------------|-------------------------|--------------|
| Patrón 0 % de ceniza       |                        |                         |              |
| 3                          | 1 200,00               | 1 095,47                | 2            |
| 7                          | 1 950,00               | 1 493,27                | 2            |
| 28                         | 2 970,00               | 2 301,44                | 2            |
| 56                         | 3 240,00               | 2 943,84                | 2            |
| Sustitución 5 % de ceniza  |                        |                         |              |
| 3                          | 1 200,00               | 914,25                  | 2            |
| 7                          | 1 950,00               | 1 217,01                | 3            |
| 28                         | 2 970,00               | 1 993,06                | 3            |
| 56                         | 3 240,00               | 2 465,37                | 5            |
| Sustitución 10 % de ceniza |                        |                         |              |
| 3                          | 1 200,00               | 1 202,00                | 3            |
| 7                          | 1 950,00               | 1 578,37                | 3            |
| 28                         | 2 970,00               | 2 535,52                | 3            |
| 56                         | 3 240,00               | 2 950,93                | 3            |
| Sustitución 15 % de ceniza |                        |                         |              |
| 3                          | 1 200,00               | 716,01                  | 2            |
| 7                          | 1 950,00               | 919,83                  | 2            |
| 28                         | 2 970,00               | 1 635,52                | 2            |
| 56                         | 3 240,00               | 1 971,17                | 5            |

Fuente: elaboración propia.

Se puede observar que la mezcla que tuvo una resistencia parecida fue la mezcla con sustitución del 10 %, sin embargo, hay que comparar todos los resultados obtenidos.

Así mismo, después de efectuada la mayor parte de esta investigación, se toma la decisión de realizar un análisis de determinación de la reactividad



potencial álcali-sílice para la mezcla que se comportó de manera parecida a la mezcla patrón (mezcla de 5 % de sustitución).

Se realiza el ensayo por medio de método de las barras de mortero, elaboradas con 5 % de ceniza de bagazo de caña de azúcar en lugar de cemento. Las cuales No deben obtener una expansión mayor 0,2 % luego de los 16 días, para considerar la mezcla como no dañina.

Tabla XII. **Resultados de la reactividad potencial álcali-sílice**

| Barra No. | Lectura (-1) | Se sumerge en agua | Lectura (0) | Se sumerge en NaOH | Lectura (1) | Lectura 14 días después del día 0 | Aumento (%) |
|-----------|--------------|--------------------|-------------|--------------------|-------------|-----------------------------------|-------------|
| 1         | 7,272        |                    | 7,392       |                    | 7,368       | 7,392                             | 1,65        |
| 2         | 7,708        |                    | 7,810       |                    | 7,796       | 7,758                             | 0,65        |
| 3         | 5,186        |                    | 5,262       |                    | 5,282       | 5,306                             | 2,31        |
| 4         | 7,216        |                    | 7,310       |                    | 7,296       | 7,330                             | 1,58        |
| Promedio  | 6,845        | 6,944              | 6,936       | 6,947              | 1,55        |                                   |             |

Fuente: elaboración propia.

Se obtiene un resultado muy claro concluyendo que la sustitución de ceniza de bagazo de caña de azúcar resulta perjudicial para las mezclas de concreto generando una expansión mucho mayor que la máxima establecida dentro de las especificaciones de la norma.



### **3. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS**

Acá se analizarán los resultados obtenidos en los ensayos comparando cada una de las mezclas y se hará una evaluación del comportamiento de concreto con ceniza de bagazo de caña de azúcar.

#### **3.1. Procesamiento de resultados**

Se describirán los parámetros para analizar los resultados de los ensayos y cálculos realizados, para hacer una comparación de todo el comportamiento que tuvieron las mezclas de concreto realizadas a lo largo de esta investigación. Dividiendo el comportamiento en dos etapas:

- Comportamiento del concreto fresco. En donde se apreció una gran diferencia en el uso del agua, al utilizar la ceniza de bagazo de caña de azúcar buscando obtener el asentamiento correcto.
- Comportamiento del concreto endurecido. En donde resultó afectada la resistencia a compresión, por el uso de la ceniza, posiblemente a causa de incrementar el contenido de agua.

##### **3.1.1. Comportamiento del concreto fresco**

Los datos evaluados al concreto fresco en todas las mezclas de concreto fueron: temperatura, porcentaje de vacíos, asentamiento y peso unitario.

- Temperatura. La temperatura de las mezclas de concreto debe encontrarse dentro del siguiente rango: 10 °C – 35 °C.

- Porcentaje de vacíos. El porcentaje de vacíos indicará la cohesión entre los materiales que conforman la mezcla y el contenido de aire. El porcentaje varía dentro del rango: 1 % - 7 %.
- Asentamiento. El asentamiento debe ser igual al establecido en el diseño de mezcla de acuerdo con el uso del concreto con un rango de error de +- 2.
- Peso unitario. El peso unitario de las mezclas de concreto debe encontrarse dentro del siguiente rango: 2 000kg/m<sup>3</sup> – 2 400 kg/m<sup>3</sup>.

### **3.1.2. Comportamiento del concreto endurecido**

Los ensayos realizados al concreto endurecido fueron la determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto. Donde se toma como punto de comparación la resistencia a compresión de los cilindros elaborados con la mezcla patrón y se analiza si la resistencia a compresión de los cilindros fue mayor o menor con forme aumento el porcentaje de ceniza de bagazo de caña de azúcar utilizado.

### **3.2. Comparación de resultados**

Se evaluará si el comportamiento de los materiales y las mezclas de concreto fue el esperado haciendo una comparación de los resultados obtenidos en los ensayos que determinaron el comportamiento del concreto fresco, el fraguado y el comportamiento del concreto endurecido.

Tabla XIII. **Comparación de resultados**

| Mezcla                    | Concreto fresco           |          | Fraguado           |                    | Concreto endurecido |                   |
|---------------------------|---------------------------|----------|--------------------|--------------------|---------------------|-------------------|
|                           | Ensayo                    | Cantidad | Tiempo inicial     | Tiempo final       | Días                | Resistencia (psi) |
| Patrón 0% de ceniza       | Tempera (°C)              | 20       | 5 horas 39 minutos | 8 horas 3 minutos  | 3                   | 1 095,47          |
|                           | Vacíos (%)                | 1,3      |                    |                    | 7                   | 1 493,27          |
|                           | Asentamiento (cm)         | 19,5     |                    |                    | 28                  | 2 301,44          |
|                           | P.U. (kg/m <sup>3</sup> ) | 2334     |                    |                    | 56                  | 2 943,84          |
| Sustitución 5% de ceniza  | Tempera (°C)              | 21       | 5 horas 44 minutos | 8 horas 28 minutos | 3                   | 914,25            |
|                           | Vacíos (%)                | 1        |                    |                    | 7                   | 1 217,01          |
|                           | Asentamiento (cm)         | 10       |                    |                    | 28                  | 1 993,06          |
|                           | P.U. (kg/m <sup>3</sup> ) | 2361     |                    |                    | 56                  | 2 465,37          |
| Sustitución 10% de ceniza | Tempera (°C)              | 21,5     | 4 horas 27 minutos | 6 horas 48 minutos | 3                   | 1 202,00          |
|                           | Vacíos (%)                | 1,5      |                    |                    | 7                   | 1 578,37          |
|                           | Asentamiento (cm)         | 1        |                    |                    | 28                  | 2 535,52          |
|                           | P.U. (kg/m <sup>3</sup> ) | 2350     |                    |                    | 56                  | 2 950,93          |
| Sustitución 15% de ceniza | Tempera (°C)              | 20       | 7 horas 2 minutos  | 9 horas 6 minutos  | 3                   | 716,01            |
|                           | Vacíos (%)                | 1,3      |                    |                    | 7                   | 919,83            |
|                           | Asentamiento (cm)         | 11       |                    |                    | 28                  | 1 635,52          |
|                           | P.U. (kg/m <sup>3</sup> ) | 2283     |                    |                    | 56                  | 1 971,17          |

Fuente: elaboración propia.

- El concreto fresco tuvo un comportamiento adecuado en cuanto a su temperatura y su porcentaje de vacíos. El peso unitario de las mezclas se mantuvo dentro del rango, sin embargo, se da una disminución notable con la inclusión del 15 % de ceniza. Se determina que el problema se produjo en el asentamiento, la inclusión de la ceniza de bagazo de caña de azúcar dio como resultado el uso de mayor cantidad de agua.

Se le aplicó un litro más de agua a la mezcla patrón, sin embargo su asentamiento se quedó en 7,5 cm debiendo ser 10 cm por lo que se agregó otro litro, para un total de 2 litros más de agua. Con esto se sobrepasó el asentamiento requerido dando como resultado una mezcla muy fluida.

Para que la mezcla con sustitución del 5 % de ceniza de bagazo de caña de azúcar llegara al asentamiento requerido fueron necesarios 3,6 litros más que los establecidos en el diseño de mezcla, lo que indica que la presencia de la ceniza requiere mayor cantidad de agua para poder ser trabajable, esto puede deberse a la forma de las partículas que conforman la ceniza.

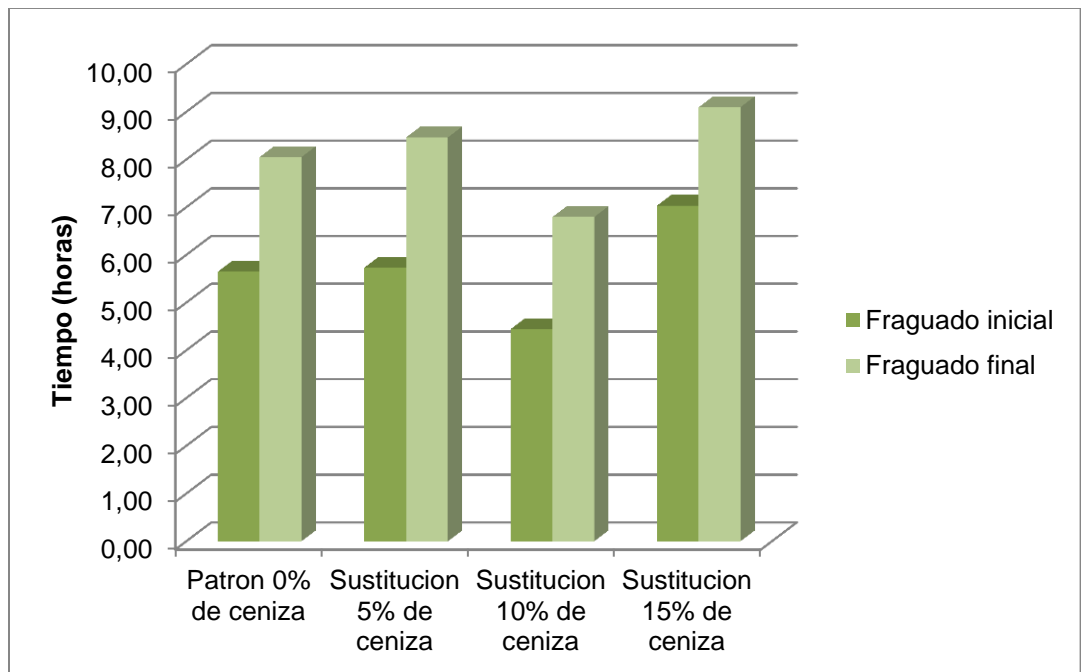
Para la mezcla con sustitución del 10 % de ceniza de bagazo de caña de azúcar se procuró utilizar la cantidad de agua resultante del diseño de mezcla aumentando la cantidad solamente un litro. Eso dio como resultado que el asentamiento de la mezcla fuera de 1 cm haciéndola poco trabajable.

Como ya se venía observando con las mezclas anteriores, la necesidad de utilizar mayor cantidad de agua era evidente, por lo que la mezcla con sustitución del 15 % de ceniza de bagazo de caña de azúcar fueron necesarios 7 litros más de agua para lograr tener el asentamiento requerido.

- El fraguado de las mezclas con sustitución de ceniza de bagazo de caña de azúcar fue más lento con forme se aumentaba el % sustitución, a excepción de la mezcla con 10 % de sustitución. Esto puede deberse a que a las otras mezclas se les añadió mayor cantidad de agua para que

llegaran a un asentamiento aceptable, lo que probablemente disminuyó su resistencia a la penetración. Mientras que la mezcla con 10 % de ceniza que no tuvo un asentamiento adecuado porque no se le agrego mayor cantidad de agua y tuvo un fraguado mucho mayor que la mezcla patrón.

Figura 12. **Fraguado de mezclas de concreto**



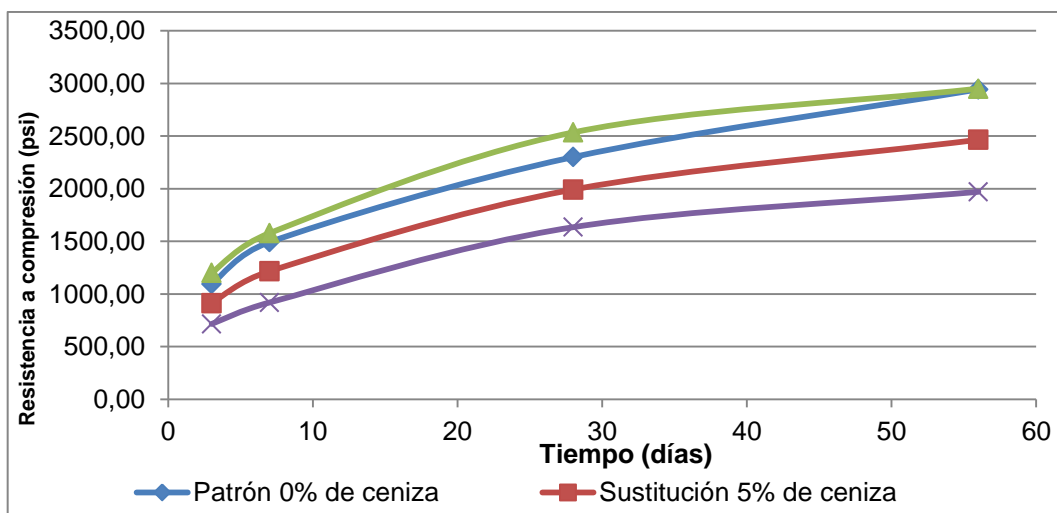
Fuente: elaboración propia.

- La mezcla patrón a pesar de haber tenido una cantidad mayor de agua de la necesaria queda a pocos psi de los diseñados. Mientras que la mezcla con 5 % de ceniza no estuvo tan cerca posiblemente por la excesiva cantidad de agua que necesitó para llegar al asentamiento adecuado.

La mezcla con sustitución del 10 % de ceniza de bagazo de caña de azúcar se comportó en cuanto a resistencia a compresión igual que la mezcla patrón, sin embargo, se resalta que a esta mezcla no se le añadió mayor cantidad de agua por lo que conservo su resistencia, pero su asentamiento no fue el adecuado.

Con forme se aumentó el porcentaje de ceniza de bagazo de caña de azúcar, se aumentó la cantidad de agua extra y se disminuyó la resistencia a compresión, lo cual es el caso de la sustitución del 15 % de ceniza.

Figura 13. **Resistencia a la compresión de mezclas de concreto**



Fuente: elaboración propia.

### 3.3. **Propiedades del concreto con sustitución de ceniza de bagazo de caña**

El concreto con sustitución de ceniza de bagazo de caña de azúcar producida en Guatemala no resultó de la manera esperada. A pesar de que su



comportamiento como concreto fresco fue bastante bueno cabe mencionar que se le añadió mayor cantidad de agua debido a la inclusión de la ceniza, esto provocó que se perdiera resistencia a compresión. Aunado a esto, los resultados del análisis de reactividad potencial álcali-sílice no fueron los mejores, ya que superó la expansión máxima.

Este comportamiento puede deberse a dos situaciones:

- La morfología de la ceniza de bagazo de caña de azúcar no es la adecuada para ser utilizada como una puzolana.
- El cemento utilizado no fue el adecuado porque ya contenía una cantidad puzolana que reaccionó con el hidróxido de calcio dentro de la mezcla dejando a la ceniza de bagazo de caña de azúcar reaccionar con sus propios componentes ( $K_2O$  y  $Na_2O$ ) que resultaron perjudiciales para la mezcla.

#### **3.4. Ventajas y desventajas**

El uso de la ceniza de bagazo de caña de azúcar como sustituto porcentual del cemento ayuda a disminuir el uso de este dentro de las mezclas, reciclando de esta manera la ceniza que es usada como abono. Las propiedades del concreto fresco se mantienen iguales a las de una mezcla sin ceniza de bagazo de caña de azúcar.

Por el momento las desventajas son mayores, mayor uso de agua, menor resistencia a compresión, posible expansión reactiva álcali-sílice. Sin embargo estas desventajas podrían disminuir, realizando otros análisis a la ceniza de

bagazo de caña de azúcar y procurando utilizar un cemento que aún no contenga alguna puzolana.

### **3.5. Usos y aplicaciones del concreto con sustitución de ceniza de bagazo de caña**

Lamentablemente aún no se puede decir que el concreto con sustitución de ceniza de bagazo de caña de azúcar producida en Guatemala, puede tener una aplicación estructural, se deben realizar más estudios y pruebas con otras muestras de ceniza para determinar su uso, tomando en cuenta los ensayos realizados dentro de este trabajo de graduación para poder avanzar aún más con la investigación.

## CONCLUSIONES

1. La ceniza de bagazo de caña de azúcar producida en Guatemala contiene en su mayoría óxido de silicio, seguido de óxido de aluminio y óxido de hierro, que en conjunto superan el 70 % de sus componentes por lo que se le puede considerar una puzolana. Sin embargo, se debe considerar que también contiene óxido de sodio y óxido de potasio los cuales en combinación con la sílice pueden resultar perjudiciales generando una reactividad álcali-sílice ocasionando posibles expansiones dentro del concreto.
2. Las mezclas de concreto fueron diseñadas de acuerdo al método del Centro de Investigaciones de Ingeniería y los ensayos realizados a los materiales fueron proporcionados por el Centro Tecnológico de Cementos Progreso. La diferencia entre los diseños radicó en el porcentaje de sustitución de ceniza de bagazo de caña de azúcar y la cantidad de agua utilizada. Se le añadió mayor cantidad de agua a las mezclas para lograr obtener el asentamiento establecido, esto pudo deberse a que el agregado fino presentaba un 14 % de retención de partículas en el tamiz No.4 (indicando mayor presencia de gruesos) y a la morfología de la ceniza de bagazo de caña de azúcar producida en Guatemala.
3. El concreto fresco con adición de ceniza de bagazo de caña de azúcar se comportó de manera correcta en todas las mezclas (exceptuando la mezcla con sustitución del 10 %), siendo analizados los datos de temperatura, porcentaje de vacíos, asentamiento y peso unitario. Sin

embargo, la mezcla que tuvo un mejor comportamiento, parecido a la mezcla patrón, fue la mezcla con sustitución del 5 %. Para evaluar el comportamiento del concreto endurecido se hicieron ensayos de resistencia a la compresión de cilindros para diferentes edades para cada una de las mezclas. Tomando como punto de comparación la mezcla patrón con 0 % de sustitución de ceniza la resistencia a compresión fue disminuyendo conforme se agregaba más ceniza. Por lo que a pesar de que la mezcla con sustitución del 10 % de ceniza igualó la resistencia, de la mezcla patrón se debe decir que la mejor mezcla fue la que tenía el 5 % de sustitución a pesar de no llegar a la resistencia esperada, porque a la mezcla con el 10 % de sustitución no se le agregó mayor cantidad de agua obteniendo un asentamiento inadecuado.

4. Tomando como punto de partida el tiempo de fraguado de la mezcla patrón con 0 % de sustitución de ceniza, el tiempo de fraguado fue aumentando conforme se le aumentó el porcentaje de sustitución de ceniza. Cabe mencionar que la mezcla con 10 % de ceniza tuvo un fraguado mucho más rápido que la mezcla patrón, sin embargo, esto puede deberse a la poca agua que contenía, por lo que la mezcla con 5 % de ceniza fue la que mejor se comportó en cuanto al tiempo de fraguado.
5. El concreto con adición de ceniza de bagazo de caña de azúcar producida en Guatemala no tuvo los resultados esperados ya que, al considerar a la ceniza como una puzolana, no generó ninguna aceleración en cuanto al tiempo de fraguado y la resistencia a la compresión no se igualó a la mezcla patrón. También se estableció que la ceniza resulta potencialmente reactiva al utilizarse en las mezclas de concreto. Todo esto podría deberse a que se utilizó un cemento UGC,

que ya contiene cierta cantidad de puzolana por lo que al estar en contacto la puzolana ceniza de bagazo de caña de azúcar ya no tuvo hidróxido de calcio, perteneciente al cemento, para poder obtener una buena reacción, dando como resultado que esta reaccionara con parte de sus componentes como el óxido de potasio y el óxido de cromo ocasionando una potencial reacción álcali-sílice dentro del concreto. Otra posible falla sería la morfología de la ceniza de bagazo de caña de azúcar, la cual depende de la temperatura a la cual fue calcinada por lo que si no fue la adecuada, el sílice que se pretendía estuviera en fase amorfa posiblemente estuvo ya en una fase cristalina ofreciendo una menor reacción como puzolana, dando como resultado que la ceniza actuara como un porcentaje más de agregado fino.



## RECOMENDACIONES

1. Continuarlos estudios sobre la ceniza de bagazo de caña de azúcar producida en Guatemala, para encontrar su implementación en el sector de la construcción, utilizando este trabajo como base para poder realizar estudios más a fondo.
2. Realizar una evaluación de las partículas que componen la ceniza de bagazo de caña de azúcar producida en Guatemala, para determinar si la sílice dentro de su composición química se encuentra en una fase amorfa, beneficiando su uso como puzolana.
3. Utilizar un cemento que no contenga puzolanas para futuras investigaciones, para que el hidróxido de calcio pueda actuar libremente dentro de la mezcla y combinarse de manera adecuada con la ceniza de bagazo de caña de azúcar o buscar otro tipo de caña de azúcar, que contenga otras características que puedan mejorar su unión con el cemento.





## BIBLIOGRAFÍA

1. Agriculturers. Red de especialistas en agricultura. *Nuevo método para detectar royas en la caña de azúcar*. [en línea]. <[www.agriculturers.com/nuevo-metodo-para-detectar-royas-en-cana-de-azucar/](http://www.agriculturers.com/nuevo-metodo-para-detectar-royas-en-cana-de-azucar/)>. [Consulta: 18 de febrero de 2019].
2. ALVARADO, José., ANDRADE, Juan; HERNANDEZ, Herson. *Estudio del empleo de cenizas producidas en ingenios azucareros como sustituto parcial del cemento portland en el diseño de mezclas de concreto*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de El Salvador, Facultad Multidisciplinaria Oriental. 2016. 286 p.
3. ALVAREZ, Julio. *Azúcar como aditivo retardante y modificador de resistencia para mezclas de concreto*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2017. 94 p.
4. CHÁVEZ, Arnulfo. *Estudio técnico-administrativo del proyecto: Comercialización del excedente de bagazo de caña de azúcar ingenio San Diego*. Trabajo de graduación de Licenciatura en Administración de Empresas. Universidad Rafael Landívar Guatemala, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. 2004. 91 p.
5. COSAYAMIN, Oscar. *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).* Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad Técnica de Ambato Ecuador, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. 2016. 77 p.

6. GAITÁN, Juniet; TORRÉZ, Belkiss. *Influencia de la ceniza de bagazo de caña de azúcar proveniente del ingenio Monte Rosa sobre las propiedades físico-mecánicas y de durabilidad de morteros de cemento tipo GU.* Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad Nacional de Nicaragua, Facultad de Ingeniería Química. 2013. 91 p.
7. GONZALES, Eduardo. *Empleo de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) como sustituto porcentual del agregado fino en la elaboración de concreto hidráulico.* Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad Veracruzana México, Facultad de Ingeniería Civil. 2011. 106 p.
8. HERNÁNDEZ, Uriel. *Comportamiento mecánico y físico del mortero a base de CBCA como árido en aplanados en muros.* Trabajo de graduación de Especialista en Construcción. Universidad Veracruzana México, Facultad de Ingeniería Civil. 2011. 100 p.
9. Ingenio Pantaleón. *Proceso agrícola, la cosecha de caña de azúcar.* [en línea]. <[www.pantaleon.com/procesos/proceso-agricola/](http://www.pantaleon.com/procesos/proceso-agricola/)>. [Consulta: 18 de febrero de 2019].
10. \_\_\_\_\_. *Proceso industrial, transformando recursos responsablemente.* [en línea].

<[www.pantaleon.com/procesos/proceso-agricola/](http://www.pantaleon.com/procesos/proceso-agricola/)>. [Consulta: 18 de febrero de 2019].

11. JARA, Ruth; PALACIOS, Rocio. *Utilización de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) como sustituto porcentual del cemento en la elaboración de ladrillos de concreto*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad Nacional del Santa Perú, Facultad de Ingeniería. 2015. 138 p.
12. MA-TAY, Daniel. *Valorización de cenizas de bagazo procedentes de Honduras: Posibilidades de uso en matrices de cemento Portland*. Trabajo de Investigación. Universidad Politécnica de Valencia España, Departamento de Ingeniería de la Construcción y Proyectos de Ingeniería Civil. 2014. 147 p.
13. OSORIO, Guillermo. *Buenas prácticas agrícolas y buenas prácticas de manufactura en la producción de caña y panela*. Colombia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. 2007. 200 p.
14. Residuos Profesional. *Residuos de la caña de azúcar para producir papel reciclado, películas y geles*. [en línea]. <[www.residuosprofesional.com/bagazo-cana-azucar-papel-reciclado/](http://www.residuosprofesional.com/bagazo-cana-azucar-papel-reciclado/)>. [Consulta: 18 de febrero de 2019].
15. Universidad Central del Ecuador, Santiago Larco. *Cenizas de bagazos de caña de azúcar*. [en línea]. <[www.cenizasdebagazosdecanadeazucar.blogspot.com/](http://www.cenizasdebagazosdecanadeazucar.blogspot.com/)>. [Consulta: 18 de febrero de 2019].

16. VIDAL, Diana., TORRES, Janneth; MEJÍA, Ruby; GONZÁLES, Luis.  
*Estudio comparativo de cenizas de bagazo de caña como adición puzolánica.* Edición especial de artículos cortos. Artículo de Investigación. Colombia: Revista colombiana de materiales, 2013.  
6 p.

## APÉNDICES

### Apéndice 1. **Determinación por lavado del material que pasa el tamiz No. 200**



Ceniza de bagazo de caña de azúcar



Peso de la ceniza de bagazo de caña de azúcar



Resultados de la ceniza luego del lavado

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Proporcionamiento del material para la elaboración de mezclas**



Bacula para tomar peso de material



Herramientas para recolectar el material



Determinación del peso de la bolsa que contendrá el material

Continuación del apéndice 2.



Bolsa con material



Llenado de bolsa con material



Amarrado de bolsas con material

Continuación del apéndice 2.



Bolsas con cemento



Bolsas con agregado



Bolsas con material

Fuente: elaboración propia.



### Apéndice 3. Preparación de cilindros para ser utilizados



Ajuste de cilindros



Engrasado de cilindros



Ubicación de cilindros

Fuente: elaboración propia.

#### Apéndice 4. **Elaboración de mezcla de concreto**



Ubicación de mezcladora



Mezclado de material



Ajuste de mezcladora

Continuación del apéndice 4.



Elaboración de prueba de asentamiento



Llenado de cono con mezcla



Varillado de mezcla en cono

Continuación del apéndice 4.



Vaciado de mezcla del cono



Evaluación visual de mezcla



Medición de asentamiento

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Elaboración de cilindros de concreto y viga de mortero de cernido del concreto**



Llenado de cilindros y tamizado de concreto fresco



Tamizado de concreto fresco

Continuación del apéndice 5.



Llenado de viga con el concreto tamizado



Vigas con el concreto tamizado

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Determinación del tiempo de fraguado por medio de la penetración de viga de mortero**



Penetrómetro



Ajuste de penetrómetro

Continuación del apéndice 6.



Penetración de viga



Inicio de ensayo



Continuación del apéndice 6.



Finalización de ensayo

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 7. Curado de cilindros de concreto



Ubicación de primeros cilindros de concreto



Ubicación de todos los cilindros de concreto

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. **Determinación de la resistencia a compresión de cilindros de concreto**



Secado de cilindro



Colocación de cilindro en máquina para ser comprimido

Continuación del apéndice 8.



Cilindro comprimido



Falla de cilindro

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. **Determinación de la reactividad potencial álcali-sílice**



Lavado de material



Ajuste de equipo



Recipiente de almacenaje de barras

Continuación del apéndice 9.



Barras de mortero iniciales



Aparato para la determinación de cambio de longitud

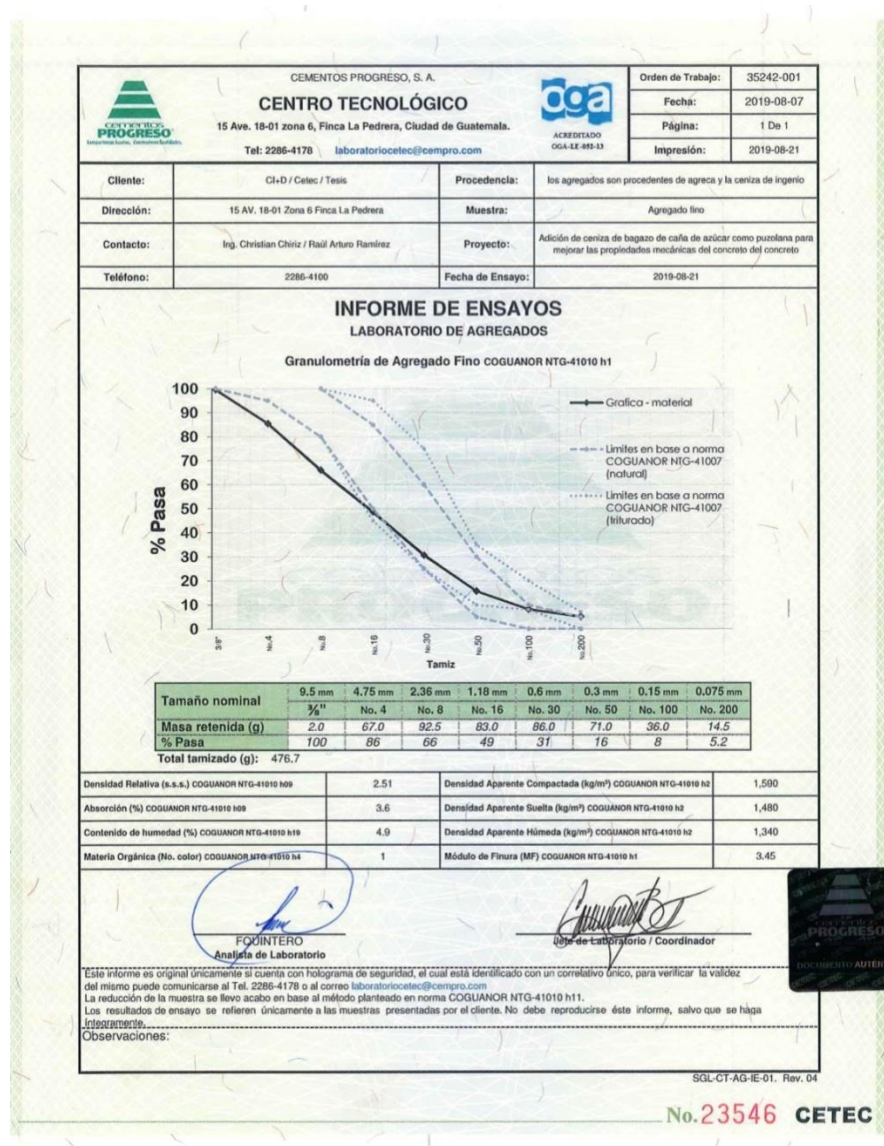


Barras de mortero finales

Fuente: elaboración propia.

# ANEXOS

## Anexo 1. Análisis completo para agregado fino – CETEC



Fuente: Centro Tecnológico Cementos Progreso. Análisis completo de agregado fino. Laboratorio de agregados.



## Anexo 2. Análisis completo para agregado grueso – CETEC



Fuente: Centro Tecnológico Cementos Progreso. Análisis completo de agregado grueso. Laboratorio de agregados.



Anexo 3. **Análisis de la resistencia al desgaste del agregado grueso – CETEC**

|   |   |  |  |  |  |   |
|---|---|--|--|--|--|---|
|  <b>CEMENTOS PROGRESO</b><br><small>Seguridad, Calidad, Entorno Sostenible</small> |   | <b>CENTRO TECNOLÓGICO</b><br>15 Av. 18-01 zona 6, Finca La Pedrera, Ciudad de Guatemala.<br>Tel: 2286-4178    laboratorioctec@cempro.com |  |  <b>OGA</b><br>Acreditado<br>OGA-LE-052-13 |  | Orden de Trabajo: 35242-002<br>Fecha: 2019-08-07<br>Página: 1 De 1<br>Impresión: 2019-08-22 |
| Cliente:  | CI-D / Cetec / Tesis                        | Procedencia:   | los agregados son procedentes de agrisca y la ceniza de ingenio  |  |  |   |
| Dirección:  | 15 AV. 18-01 Zona 6 Finca La Pedrera        | Muestra:   | Agregado grueso  |  |  |   |
| Contacto:   | Ing. Christian Chiriz / Raúl Arturo Ramírez | Proyecto:  | Adición de ceniza de bagazo de caña de azúcar como puzolana para mejorar las propiedades mecánicas del concreto del concreto |  |  |   |
| Teléfono:   | 2286-4100                                   | Fecha de Ensayo:   | 2019-08-22   |  |  |   |


**INFORME DE ENSAYO**  
LABORATORIO DE AGREGADOS


  

**Desgaste por Abrasión e Impacto en Máquina de Los Ángeles**  
COGUANOR NTG-41010 h20 para agregado menor a 1 1/2 pulgadas

| Muestra         | Graduación | Desgaste % |
|-----------------|------------|------------|
| Agregado grueso | B          | 21         |

  
 FQUINTERO  
 Analista de Laboratorio

  
 Jefe de Laboratorio / Coordinador

Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, el cual está identificado con un correlativo único, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al Tel. 2286-4178 o al correo laboratorioctec@cempro.com.  
 La reducción de la muestra se llevo a cabo en base al método planteado en norma COGUANOR NTG-41010 h11.  
 Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas por el cliente. No debe reproducirse éste informe, salvo que se haga íntegramente.

Observaciones:

SGL-CT-AG-IE-07. Rev. 03

No. 23560 CETEC

Fuente: Centro Tecnológico Cementos Progreso. *Análisis de resistencia al desgaste del agregado grueso.* Laboratorio de agregados.

Anexo 4. **Análisis químico de la ceniza de bagazo de caña de azúcar mediante fluorescencia de rayos x – CETEC**

**No. 22682 CETEC**

|  |  |              |            |
|--|--|--------------|------------|
| <b>CEMENTOS PROGRESO S. A.</b>                           |  | OT           | 35242      |
| <b>CENTRO TECNOLÓGICO</b>                                |  | FECHA        | 2019-08-07 |
| 15 Ave. 18-01, zona 6 La Pedrera                         |  | PÁGINA       | 1 de 1     |
| Tel: 22864178 Fax: 22864181 laboratorioCETEC@empromo.com |  | ÁREA DE LAB. | QC         |

|                             |   |                 |  |
|-----------------------------|---|-----------------|--|
| <b>Cliente</b>              | CHD / Cetec / Testis  | Procedencia     | los agregados son procedentes de agrera y la ceniza de ingenio |
| <b>Dirección / Teléfono</b> | 15 AV. 18-01 Zona 6 Finca La Pedrera / 2286-4100  | Muestra         | Ceniza de bagazo de caña de azúcar                             |
| <b>Contacto</b>             | Ing. Christian Chiriz / Raúl Arturo Ramírez   | Analistas(s)    | RPOSADAS   |
| <b>Proyecto</b>             | Además de ceniza de bagazo de caña de azúcar para fabricar los productos más diversos de cemento (ver anexos) | Fecha de Ensayo | 14/08/2019   |

**INFORME DE ENSAYO**

**ANÁLISIS QUÍMICO**

**MEDIANTE FLUORESCENCIA DE RAYOS X**

| * COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)             |       |      |       |       |      |      |      |      |      |       |      |       |
|---------------------------------------|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|
| Muestra                               | Al2O3 | CaO  | Cr2O3 | Fe2O3 | K2O  | MgO  | MnO  | Na2O | P2O5 | SiO2  | TiO2 | Total |
| 1. Ceniza de bagazo de caña de azúcar | 13.32 | 3.03 | 0.02  | 5.59  | 3.55 | 0.37 | 0.12 | 1.07 | 0.82 | 64.34 | 0.61 | 98.20 |
| 2                                     |       |      |       |       |      |      |      |      |      |       |      |       |
| 3                                     |       |      |       |       |      |      |      |      |      |       |      |       |
| 4                                     |       |      |       |       |      |      |      |      |      |       |      |       |
| 5                                     |       |      |       |       |      |      |      |      |      |       |      |       |
| 6                                     |       |      |       |       |      |      |      |      |      |       |      |       |

— Última Línea —

\* Expresada como porcentaje en masa (w/w).

Análisis

Jefe de Laboratorio/Coordinador

Análisis

Análisis

OBSERVACIONES

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas por el cliente. No autorizamos la reproducción de estos informes, ni menos que se haga. Ingresamente. Este informe es original y pertenece al cliente con el número de agregado, si desea una copia adicional con un costo adicional de \$2000.00, para verificar la validez del mismo puede comunicarse al 2286-4178 o al correo laboratorio@empromo.com. SQL-CT-QC-E-02/Rev-0

Fuente: Centro Tecnológico Cementos Progreso. *Análisis químico de la ceniza de bagazo de caña de azúcar mediante fluorescencia de rayos x. Laboratorio de agregados.*

Anexo 5. **Determinación por lavado del material que pasa por el tamiz No.200 en agregados minerales (Ceniza de bagazo de caña de azúcar) – CII**

|   |   |  |                      |        |
|---|---|--|----------------------|--------|
|   | <p>CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA<br/>FACULTAD DE INGENIERIA<br/>UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA</p>  | <br><b>USAC</b><br>TRICENTENARIA<br>Universidad de San Carlos de Guatemala |                      |        |
| <p>INFORME DETERMINACIÓN POR LAVADO DEL MATERIAL QUE PASA POR No. <b>18156</b><br/>         EL TAMIZ 75 µm (No. 200) EN AGREGADOS MINERALES</p>   |   |  |                      |        |
| O.T. No. 39940  | <p>NORMA NTG 41010 h3 (ASTM C-117)<br/>         INFORME SACM - 085/2020<br/>         HOJA 1/1</p>   |  |                      |        |
| INTERESADO:   | <p>Raúl Arturo Ramírez Ramírez, Resgistro académico: 2012 13380</p>   |  |                      |        |
| PROYECTO:   | <p>Trabajo de graduación "Adición de ceniza de bagazo de caña de azúcar como puzolana para mejorar las propiedades mecánicas del concreto".</p>                 |  |                      |        |
| DIRECCIÓN:  | <p>Ciudad de Guatemala, Guatemala.</p>  |  |                      |        |
| EMISIÓN DE INFORME:   | <p>16 de septiembre de 2020</p>   |  |                      |        |
| <p>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:</p>   |   |  |                      |        |
| <table border="1"> <tr> <td>Pasa Tamiz # 200 (%)</td> <td>95,90%</td> </tr> </table>  |   |  | Pasa Tamiz # 200 (%) | 95,90% |
| Pasa Tamiz # 200 (%)  | 95,90%  |  |                      |        |
| <p>OBSERVACIONES:</p>   |   |  |                      |        |
| <p>a) Muestra proporcionada por el interesado<br/>         b) Tamiz # 200, procedimiento A, lavado con agua potable.<br/>         c) Muestra identificada como: Ceniza de bagazo de caña de azúcar.</p>   | <p>El presente informe representa únicamente la muestra identificada en el mismo.<br/>         Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.</p> |  |                      |        |
| <p>ATENTAMENTE,</p>   |   |  |                      |        |
|   | <p>Vo.Bo.</p>   |  |                      |        |
| <p>Inga. Dilma Yáñez Mejicanos Jol<br/>         Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros</p>   | <p>Inga. Telma Marcela Cano Morales<br/>         Directora CII/USAC</p>   |  |                      |        |
|   |   |  |                      |        |
| <p>FACULTAD DE INGENIERÍA -USAC-<br/>         Edificio Emilio Beltránena, Ciudad Universitaria zona 12<br/>         Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252<br/>         Página web: <a href="http://cii.usac.edu.gt">http://cii.usac.edu.gt</a></p> |   |  |                      |        |

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. *Determinación por lavado del material que pasa por el tamiz No.200 en agregados minerales (Ceniza de bagazo de caña de azúcar).*Laboratorio del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

## Anexo 6. Determinación del tiempo de fraguado de mezclas de concreto por su resistencia a la penetración – CII



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

### DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO DE MEZCLAS DE CONCRETO No. 18159 POR SU RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN NORMA NTG 41017 h12 (ASTM 403)

O. T. 39941

INFORME SACM - 086/2020

HOJA 1/4

**INTERESADO:** Raúl Arturo Ramírez Ramírez, Registro académico: 2012 13380  
**PROYECTO:** Trabajo de graduación "Adición de ceniza de bagazo de caña de azúcar como puzolana para mejorar las propiedades mecánicas del concreto".  
**DIRECCIÓN:** Ciudad de Guatemala  
**EMISIÓN DE INFORME:** 16 de septiembre de 2020

#### MEZCLA PATRÓN

Cantidad en masa de materiales por metro cúbico:

| Cemento<br>Kg | Arena<br>Kg | Piedrin<br>Kg | Agua<br>Litros | Ceniza<br>Kg | Tiempo<br>(minutos) | Esfuerzo de<br>penetración<br>(psi) |
|---------------|-------------|---------------|----------------|--------------|---------------------|-------------------------------------|
| 28,83         | 66,86       | 85,09         | 17,80          | 0            | 180                 | 51                                  |
|               |             |               |                |              | 210                 | 72                                  |
|               |             |               |                |              | 240                 | 120                                 |
|               |             |               |                |              | 270                 | 208                                 |
|               |             |               |                |              | 300                 | 312                                 |
|               |             |               |                |              | 330                 | 430                                 |
|               |             |               |                |              | 339                 | 500                                 |
|               |             |               |                |              | 360                 | 670                                 |
|               |             |               |                |              | 390                 | 1200                                |
|               |             |               |                |              | 400                 | 1340                                |
|               |             |               |                |              | 410                 | 1460                                |
|               |             |               |                |              | 420                 | 1600                                |
|               |             |               |                |              | 430                 | 1740                                |
|               |             |               |                |              | 440                 | 1820                                |
|               |             |               |                |              | 450                 | 2040                                |
|               |             |               |                |              | 460                 | 2140                                |
|               |             |               |                |              | 470                 | 2644                                |
|               |             |               |                |              | 480                 | 3577                                |
|               |             |               |                |              | 483                 | 4000                                |
|               |             |               |                |              | 485                 | 4285                                |

Tamaño nominal máximo: 3/4"  
Relación A/C: 0,62  
Aditivos utilizados: Ninguno  
Contenido de aire: 1,30%  
Asentamiento: 7 1/2 pulg.  
Temperatura después de tamizado: 20.50 °C  
Temperatura ambiente inicial: 23.3 °C  
Temperatura ambiente final: 21.2 °C  
Tiempo de fraguado inicial: 339 minutos  
Tiempo de fraguado final: 483 minutos



El presente informe representa únicamente la muestra identificada en el mismo.  
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

FACULTAD DE INGENIERÍA -USAC-  
Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. *Determinación del tiempo de fraguado de mezclas de concreto por su resistencia a la penetración (Mezcla patrón)*. Laboratorio del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Continuación anexo 6.



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO DE MEZCLAS DE CONCRETO No. 18160  
POR SU RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN  
NORMA NTG 41017 h12 (ASTM 403)

O. T. 39941

INFORME SACM - 086/2020

HOJA 2/4

**MEZCLA 5%**

Cantidad en masa de materiales por metro cúbico:

| Cemento<br>Kg                    | Arena<br>Kg | Piedrin<br>Kg                 | Agua<br>Litros | Ceniza<br>Kg | Tiempo<br>(minutos) | Esfuerzo de<br>penetración<br>(psi) |
|----------------------------------|-------------|-------------------------------|----------------|--------------|---------------------|-------------------------------------|
| 31,85                            | 77,71       | 98,90                         | 22,70          | 1,65         | 180                 | 66                                  |
|                                  |             |                               |                |              | 210                 | 108                                 |
| Tamaño nominal máximo:           |             | 3/4"                          |                |              | 240                 | 140                                 |
| Relacion A/C:                    |             | 0,71                          |                |              | 270                 | 260                                 |
| Aditivos utilizados:             |             | 5 % de sustitución con ceniza |                |              | 300                 | 390                                 |
| Contenido de aire:               |             | 1,00%                         |                |              | 330                 | 440                                 |
| Asentamiento:                    |             | 4 pulg.                       |                |              | 344                 | 500                                 |
| Temperatura despues de tamizado: |             | 20.50 °C                      |                |              | 360                 | 570                                 |
| Temperatura ambiente inicial:    |             | 24,10 °C                      |                |              | 375                 | 740                                 |
| Temperatura ambiental final:     |             | 21.80 °C                      |                |              | 385                 | 1060                                |
| Tiempo de fraguado inicial:      |             | 344 minutos                   |                |              | 390                 | 1120                                |
| Tiempo de fraguado final:        |             | 508 minutos                   |                |              | 395                 | 1200                                |
|                                  |             |                               |                |              | 400                 | 1300                                |
|                                  |             |                               |                |              | 405                 | 1300                                |
|                                  |             |                               |                |              | 410                 | 1340                                |
|                                  |             |                               |                |              | 425                 | 1640                                |
|                                  |             |                               |                |              | 430                 | 1700                                |
|                                  |             |                               |                |              | 435                 | 1780                                |
|                                  |             |                               |                |              | 440                 | 1780                                |
|                                  |             |                               |                |              | 445                 | 1946                                |
|                                  |             |                               |                |              | 455                 | 2099                                |
|                                  |             |                               |                |              | 465                 | 2296                                |
|                                  |             |                               |                |              | 475                 | 2550                                |
|                                  |             |                               |                |              | 485                 | 2877                                |
|                                  |             |                               |                |              | 495                 | 3293                                |
|                                  |             |                               |                |              | 505                 | 3816                                |
|                                  |             |                               |                |              | 508                 | 4000                                |
|                                  |             |                               |                |              | 515                 | 4464                                |



El presente informe representa únicamente la muestra identificada en el mismo.  
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

FACULTAD DE INGENIERÍA - USAC -  
Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. *Determinación del tiempo de fraguado de mezclas de concreto por su resistencia a la penetración (Mezcla con sustitución del 5% de ceniza)*. Laboratorio del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Continuación anexo 6.



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

**DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO DE MEZCLAS DE CONCRETO No. 18161**  
**POR SU RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN**  
**NORMA NTG 41017 h12 (ASTM 403)**

O. T. 39941

INFORME SACM - 086/2020

HOJA 3/4

**MEZCLA 10%**

Cantidad en masa de materiales por metro cúbico:

| Cemento<br>Kg | Arena<br>Kg | Piedrin<br>Kg | Agua<br>Litros | Ceniza<br>Kg | Tiempo<br>(minutos) | Esfuerzo de<br>penetración<br>(psi) |
|---------------|-------------|---------------|----------------|--------------|---------------------|-------------------------------------|
| 30,17         | 77,71       | 98,90         | 20,50          | 3,35         | 180                 | 192                                 |
|               |             |               |                |              | 190                 | 200                                 |
|               |             |               |                |              | 200                 | 224                                 |
|               |             |               |                |              | 210                 | 256                                 |
|               |             |               |                |              | 220                 | 272                                 |
|               |             |               |                |              | 230                 | 304                                 |
|               |             |               |                |              | 250                 | 400                                 |
|               |             |               |                |              | 267                 | 500                                 |
|               |             |               |                |              | 270                 | 520                                 |
|               |             |               |                |              | 290                 | 550                                 |
|               |             |               |                |              | 310                 | 590                                 |
|               |             |               |                |              | 330                 | 790                                 |
|               |             |               |                |              | 340                 | 900                                 |
|               |             |               |                |              | 345                 | 1160                                |
|               |             |               |                |              | 350                 | 1300                                |
|               |             |               |                |              | 355                 | 1300                                |
|               |             |               |                |              | 360                 | 1300                                |
|               |             |               |                |              | 365                 | 1300                                |
|               |             |               |                |              | 375                 | 1460                                |
|               |             |               |                |              | 380                 | 1800                                |
|               |             |               |                |              | 390                 | 2240                                |
|               |             |               |                |              | 400                 | 3065                                |
|               |             |               |                |              | 408                 | 4000                                |
|               |             |               |                |              | 410                 | 4284                                |

Tamaño nominal máximo: 3/4"  
Relación A/C: 0,68  
Aditivos utilizados: 10 % de sustitución con ceniza  
Contenido de aire: 1,50%  
Asentamiento: 1/2 pulg.  
Temperatura después de tamizado: 23,40 °C  
Temperatura ambiente inicial: 23,90 °C  
Temperatura ambiente final: 25,80 °C  
Tiempo de fraguado inicial: 267 minutos  
Tiempo de fraguado final: 408 minutos



El presente informe representa únicamente la muestra identificada en el mismo.  
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

LL

FACULTAD DE INGENIERÍA -USAC-  
Edificio Emilio Beltrarena, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. *Determinación del tiempo de fraguado de mezclas de concreto por su resistencia a la penetración (Mezcla con sustitución del 10% de ceniza).* Laboratorio del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Continuación anexo 6.



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

**DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO DE MEZCLAS DE CONCRETO No. 18162**  
**POR SU RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN**  
**NORMA NTG 41017 h12 (ASTM 403)**

O. T. 39941

INFORME SACM - 086/2020

HOJA 4/4

**MEZCLA 15 %**

Cantidad en masa de materiales por metro cúbico:

| Cemento<br>Kg | Arena<br>Kg | Piedrin<br>Kg | Agua<br>Litros | Ceniza<br>Kg | Tiempo<br>(minutos) | Esfuerzo de<br>penetración<br>(psi) |
|---------------|-------------|---------------|----------------|--------------|---------------------|-------------------------------------|
| 28,5          | 77,71       | 98,90         | 26,00          | 5,03         | 180                 | 15                                  |
|               |             |               |                |              | 240                 | 34                                  |
|               |             |               |                |              | 300                 | 70                                  |
|               |             |               |                |              | 330                 | 130                                 |
|               |             |               |                |              | 360                 | 248                                 |
|               |             |               |                |              | 390                 | 380                                 |
|               |             |               |                |              | 420                 | 460                                 |
|               |             |               |                |              | 422                 | 500                                 |
|               |             |               |                |              | 435                 | 780                                 |
|               |             |               |                |              | 445                 | 820                                 |
|               |             |               |                |              | 450                 | 960                                 |
|               |             |               |                |              | 455                 | 1000                                |
|               |             |               |                |              | 460                 | 1040                                |
|               |             |               |                |              | 465                 | 1160                                |
|               |             |               |                |              | 485                 | 1200                                |
|               |             |               |                |              | 490                 | 1280                                |
|               |             |               |                |              | 495                 | 1360                                |
|               |             |               |                |              | 500                 | 1380                                |
|               |             |               |                |              | 505                 | 1460                                |
|               |             |               |                |              | 510                 | 1560                                |
|               |             |               |                |              | 515                 | 1700                                |
|               |             |               |                |              | 520                 | 1780                                |
|               |             |               |                |              | 525                 | 2051                                |
|               |             |               |                |              | 530                 | 2349                                |
|               |             |               |                |              | 535                 | 2739                                |
|               |             |               |                |              | 540                 | 3242                                |
|               |             |               |                |              | 545                 | 3875                                |
|               |             |               |                |              | 546                 | 4000                                |
|               |             |               |                |              | 550                 | 4663                                |

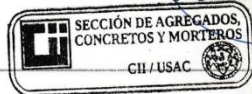
Tamaño nominal máximo: 3/4"  
Relación A/C: 0,91  
Aditivos utilizados: 15 % de sustitución con ceniza  
Contenido de aire: 1,30%  
Asentamiento: 4 1/2 pulg.  
Temperatura después de tamizado: 20,50 °C  
Temperatura ambiente inicial: 23,80 °C  
Temperatura ambiental final: 21,50 °C  
Tiempo de fraguado inicial: 422 minutos  
Tiempo de fraguado final: 546 minutos



El presente informe representa únicamente la muestra identificada en el mismo.  
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol  
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo. Inga. Telma Marcela Cano Morales  
Directora CIMUSAC



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC-  
Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. *Determinación del tiempo de fraguado de mezclas de concreto por su resistencia a la penetración (Mezcla con sustitución del 15% de ceniza).* Laboratorio del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

## Anexo 7. Ensayo a compresión para cilindros de concreto- CII



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

### INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO No. 18158 NORMA NTG - 41017 h1 (ASTM C-39)

O.T. No. 39941

INFORME SACM - 086/2020

HOJA 1/2

**INTERESADO:** Raúl Arturo Ramírez Ramírez, Registro académico: 2012 13380

**PROYECTO:** Trabajo de graduación "Adición de ceniza de bagazo de caña de azúcar como puzolana para mejorar las propiedades mecánicas del concreto".

**DIRECCIÓN:** Ciudad de Guatemala

**EMISIÓN DE INFORME:** 16 de septiembre de 2020

| No. CILINDRO OBRA | No. CILINDRO LABORATORIO | FECHA DE COLOCACIÓN | FECHA DE RUPTURA | EDAD en días | CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA COLOCACIÓN | PESO en kg | DIÁMETRO en cm | ALTURA en cm | CARGA en libras | RESISTENCIA Mpa | RESISTENCIA lb/fig | TIPO DE FRACTURA |
|-------------------|--------------------------|---------------------|------------------|--------------|--|------------|----------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------------|------------------|
| 1                 | 85-09                    | 17/09/2019          | 20/09/2019       | 3            | Mezcla Patrón                            | 12,855     | 15,230         | 30,483       | 29 000          | 7,10            | 1 030              | 2                |
| 2                 | 86-09                    | 17/09/2019          | 20/09/2019       | 3            | Mezcla Patrón                            | 12,805     | 15,145         | 30,440       | 32 500          | 8,00            | 1 160              | 3                |
| 3                 | 87-09                    | 17/09/2019          | 24/09/2019       | 7            | Mezcla Patrón                            | 12,885     | 15,200         | 30,563       | 42 000          | 10,30           | 1 500              | 2                |
| 4                 | 88-09                    | 17/09/2019          | 15/10/2019       | 28           | Mezcla Patrón                            | 12,800     | 15,180         | 30,303       | 68 000          | 16,70           | 2 420              | 2                |
| 5                 | 89-09                    | 17/09/2019          | 15/10/2019       | 28           | Mezcla Patrón                            | 12,875     | 15,165         | 30,483       | 61 000          | 15,00           | 2 180              | 2                |
| 6                 | 90-09                    | 17/09/2019          | 12/11/2019       | 56           | Mezcla Patrón                            | 12,845     | 15,165         | 30,387       | 82 000          | 20,20           | 2 930              | 2                |
| 7                 | 91-09                    | 17/09/2019          | 12/11/2019       | 56           | Mezcla Patrón                            | 12,945     | 15,180         | 30,440       | 83 000          | 20,40           | 2 960              | 2                |
| 1                 | 92-09                    | 27/09/2019          | 30/09/2019       | 3            | Mezcla 5 %                               | 12,605     | 15,120         | 30,323       | 25 500          | 6,30            | 910                | 2                |
| 2                 | 93-09                    | 27/09/2019          | 30/09/2019       | 3            | Mezcla 5 %                               | 12,600     | 15,145         | 30,307       | 25 500          | 6,30            | 910                | 2                |
| 3                 | 94-09                    | 27/09/2019          | 4/10/2019        | 7            | Mezcla 5 %                               | 12,745     | 15,230         | 30,407       | 34 500          | 8,40            | 1 220              | 3                |
| 4                 | 95-09                    | 27/09/2019          | 4/10/2019        | 7            | Mezcla 5 %                               | 12,715     | 15,290         | 30,393       | 34 500          | 8,40            | 1 220              | 2                |
| 5                 | 96-09                    | 27/09/2019          | 25/10/2019       | 28           | Mezcla 5 %                               | 12,780     | 15,090         | 30,417       | 55 000          | 13,70           | 1 990              | 2                |
| 6                 | 97-09                    | 27/09/2019          | 25/10/2019       | 28           | Mezcla 5 %                               | 12,770     | 15,165         | 30,610       | 57 000          | 14,00           | 2 030              | 2                |
| 7                 | 98-09                    | 27/09/2019          | 22/11/2019       | 56           | Mezcla 5 %                               | 12,705     | 15,225         | 30,340       | 70 500          | 17,20           | 2 500              | 5                |
| 8                 | 99-09                    | 27/09/2019          | 22/11/2019       | 56           | Mezcla 5 %                               | 12,795     | 15,265         | 30,353       | 69 000          | 16,80           | 2 440              | 6                |
| 1                 | 100-09                   | 20/09/2019          | 23/09/2019       | 3            | Mezcla 10 %                              | 12,745     | 15,200         | 30,567       | 32 500          | 8,00            | 1 160              | 2                |
| 2                 | 101-09                   | 20/09/2019          | 23/09/2019       | 3            | Mezcla 10 %                              | 12,645     | 15,175         | 30,653       | 35 000          | 8,60            | 1 250              | 3                |
| 3                 | 102-09                   | 20/09/2019          | 27/09/2019       | 7            | Mezcla 10 %                              | 12,870     | 15,100         | 30,557       | 47 000          | 11,70           | 1 700              | 3                |
| 4                 | 103-09                   | 20/09/2019          | 27/09/2019       | 7            | Mezcla 10 %                              | 12,855     | 15,170         | 30,537       | 41 000          | 10,10           | 1 470              | 3                |
| 5                 | 104-09                   | 20/09/2019          | 18/10/2019       | 28           | Mezcla 10 %                              | 12,850     | 15,205         | 30,643       | 75 000          | 18,40           | 2 670              | 3                |
| 6                 | 105-09                   | 20/09/2019          | 18/10/2019       | 28           | Mezcla 10 %                              | 12,855     | 15,180         | 30,417       | 67 500          | 16,60           | 2 410              | 3                |
| 7                 | 106-09                   | 20/09/2019          | 15/11/2019       | 56           | Mezcla 10 %                              | 12,865     | 15,215         | 30,430       | 84 000          | 20,60           | 2 990              | 3                |
| 8                 | 107-09                   | 20/09/2019          | 15/11/2019       | 56           | Mezcla 10 %                              | 12,930     | 15,185         | 30,577       | 82 000          | 20,10           | 2 920              | 3                |

El presente informe únicamente es para las muestras identificadas en el mismo.  
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

LL

FACULTAD DE INGENIERÍA -USAC-  
Edificio Emilio Beltrana, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. *Ensayo a compresión de cilindros de concreto.*

Laboratorio del Centro de Investigaciones de Ingeniería.



Continuación del anexo 7.



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



USAC  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN PARA CILINDROS DE CONCRETO No. 18157  
NORMA NTG - 41017 h1 (ASTM C-39)

O.T. No. 39941

INFORME SACM - 086/2020

HOJA 2/2

| No. CILINDRO OBRA | No. CILINDRO LABORATORIO | FECHA DE COLOCACIÓN | FECHA DE RUPTURA | EDAD en días | CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA COLOCACIÓN | PESO en kg | DIÁMETRO en cm | ALTURA en cm | CARGA en libras | RESISTENCIA Mpa | RESISTENCIA lb/in <sup>2</sup> | TIPO DE FRACTURA |
|-------------------|--------------------------|---------------------|------------------|--------------|--|------------|----------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------------------------|------------------|
| 1                 | 108-09                   | 27/09/2019          | 30/09/2019       | 3            | Mezcla 15%                               | 12,245     | 15,140         | 30,173       | 19 500          | 4,80            | 700                            | 2                |
| 2                 | 109-09                   | 27/09/2019          | 30/09/2019       | 3            | Mezcla 15%                               | 12,465     | 15,155         | 30,320       | 20 500          | 5,10            | 740                            | 2                |
| 3                 | 110-09                   | 27/09/2019          | 4/10/2019        | 7            | Mezcla 15%                               | 12,415     | 15,245         | 30,267       | 27 000          | 6,60            | 960                            | 2                |
| 4                 | 111-09                   | 27/09/2019          | 4/10/2019        | 7            | Mezcla 15%                               | 12,535     | 15,230         | 30,450       | 25 000          | 6,10            | 890                            | 2                |
| 5                 | 112-09                   | 27/09/2019          | 25/10/2019       | 28           | Mezcla 15%                               | 12,480     | 15,270         | 30,400       | 44 500          | 10,80           | 1 570                          | 2                |
| 6                 | 113-09                   | 27/09/2019          | 25/10/2019       | 28           | Mezcla 15%                               | 12,470     | 15,135         | 30,440       | 47 500          | 11,70           | 1 700                          | 2                |
| 7                 | 114-09                   | 27/09/2019          | 22/11/2019       | 56           | Mezcla 15%                               | 12,520     | 15,185         | 30,427       | 54 000          | 13,30           | 1 930                          | 5                |
| 8                 | 115-09                   | 27/09/2019          | 22/11/2019       | 56           | Mezcla 15%                               | 12,500     | 15,230         | 30,270       | 57 000          | 13,90           | 2 020                          | 5                |

Información de mezclas:

| Características | Temperatura del concreto hidráulico recién mezclado NTG 41053 (ASTM C1064) | Contenido de aire del concreto hidráulico NTG 41017 h7 (ASTM C231) | Asentamiento del concreto hidráulico NTG 41017 h4 (ASTM C143) | Densidad aparente (masa unitaria) del concreto hidráulico NTG 41017 h5 (ASTM C138) | Proporción unitaria (C:AF:AG:H <sub>2</sub> O: SustituciónCeniza) |
|-----------------|--|--|---|--|---|
| Mezcla Patrón   | 22,40 °C   | 1,30%  | 7 1/2 pulg.   | 2334,00 kg/m <sup>3</sup>  | 1,00 : 2,31 : 2,95 : 0,62 : 0,00                                  |
| Mezcla 5%       | 23,40 °C   | 1,00%  | 4 pulg.   | 2361,00 kg/m <sup>3</sup>  | 1,00 : 2,44 : 3,11 : 0,71 : 0,05                                  |
| Mezcla 10%      | 23,90 °C   | 1,50%  | 1/2 pulg.   | 2350,00 kg/m <sup>3</sup>  | 1,00 : 2,58 : 3,28 : 0,88 : 0,10                                  |
| Mezcla 15%      | 22,40 °C   | 1,30%  | 4 1/2 pulg.   | 2283,00 kg/m <sup>3</sup>  | 1,00 : 2,73 : 3,47 : 0,91 : 0,15                                  |

OBSERVACIONES :

- Muestra proporcionada por el interesado.
- Muestras ensayadas en máquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300 000 libras, dial utilizado para lectura 300 000 libras.
- Cilindros cabeceados según norma NTG-41067 (ASTM C-1231)
- El interesado proporcionó:
  - No. de cilindro en obra.
  - Fecha de colocación.
  - Edad de ensayo.
  - El representativo de estructura.

BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA



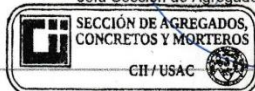
El presente informe únicamente es para las muestras identificadas en el mismo.  
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

ATENTAMENTE,

Inga. Dilma Yangt Mejicanos Jol  
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo,

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
Directora CII/USAC



L.L.

FACULTAD DE INGENIERÍA -USAC-  
Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. *Ensayo a compresión de cilindros de concreto.*  
Laboratorio del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 8. **Ensayo de reactividad álcali-agregado método de la barra de mortero – CII**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. *Ensayo de reactividad álcali-agregado método de la barra de mortero*. Laboratorio del Centro de Investigaciones de Ingeniería.