



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, SEPTIEMBRE 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:

Dios	Por la vida, su amor y darme la sabiduría para tomar buenas decisiones.
San Judas Tadeo	Por interceder siempre por mí ante Dios, y por ayudarme a entrar y a salir de la universidad.
Mis padres	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.
Mis abuelos	Felipe Raúl Ramírez Cano y María Petrona Juárez. Por su amor, por siempre cuidar de mí y por darme su ejemplo de lucha.
Mi familia	Tías, tíos, primas y primos, por su apoyo incondicional y siempre estar al pendiente de mí.
Mi novia	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:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por darme la dicha de pertenecer a tan Magna academia y darme esta oportunidad.
Facultad de Ingeniería	Por abrirme sus puertas y brindarme la sabiduría necesaria para desarrollarme como ingeniero.
Centro de Investigaciones de Ingeniería	Por darme el apoyo y espacio para la realización de ensayos para la elaboración de este trabajo de graduación.
Escuela de Ingeniería Civil	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.
Cementos Progreso	Por brindarme su apoyo en la realización de ensayos, para la elaboración de este trabajo de graduación.
Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol	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
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 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 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 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 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 bagazo de caña.....	56
3.4.	Ventajas y desventajas	57
3.5.	Usos y aplicaciones del concreto con sustitución de ceniza 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

Símbolo	Significado
HP	Caballo de fuerza (Unidad de potencia)
cm	Centímetro
°C	Grado Celsius
kg	Kilogramo
kg/m²	Kilogramo por centímetro cuadrado (Unidad de presión)
kg/cm³	Kilogramo por centímetro cubico (Unidad de densidad)
kg/m³	Kilogramo por metro cubico (Unidad de densidad)
lb	Libras
L	Litros
L/m³	Litros por metro cubico
mm	Milímetro
MF	Módulo de finura
%	Porcentaje
plg	Pulgada
SSS	Saturada de superficie seca
psi	Unidad de presión libra-fuerza/pulgada ²

GLOSARIO

Aglutinante	Es un material que se utiliza para hacer uniones de elementos en las construcciones, mediante reacciones químicas en presencia de agua y aire.
Alúmina	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.
Alzadoras	Es una máquina utilizada para recoger la caña de azúcar y colocarla dentro de las jaulas.
ASTM	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.
Bachada	Es la cantidad de mezcla de concreto que se elabora para un peso o volumen específico dentro de una cantidad de tiempo.
Bagazo	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.

Centrifugado	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.
CETEC	Centro Tecnológico de Cementos Progreso.
Clarificador	Es una máquina capaz de separar los sólidos en suspensión de los líquidos, por medio de la gravedad.
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas
Cristalización	Es un proceso químico por medio del cual los iones, átomos o moléculas provenientes de un líquido, establecen enlaces hasta formar una red cristalina.
Decantación	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.
Esquejes	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.
Flotación	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.

Gramíneas	Familia de plantas herbáceas a la cual pertenece la caña de azúcar.
Maceración	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.
Meladura	Es el jarabe resultante de la extracción del 75 % de agua del jugo de caña de azúcar.
Rastrojo	Son los residuos de tallos y hojas dentro del terreno donde fue cultivado el maíz.
Sílice	El óxido de silicio (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.
Tachos	Es el equipo utilizado para realizar la cristalización de la meladura.
Tándem	Es un grupo de componentes que trabajan entre sí.
Trabajabilidad	Es la medida de la facilidad o de la dificultad de colocación, consolidación y acabado del concreto.
Trapiches	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 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 Jessenia Torrez 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 Arévalo, José Nelson	El 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 Portillo, Juan Antonio		
		Hernández Zelaya, Herson 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/. 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.

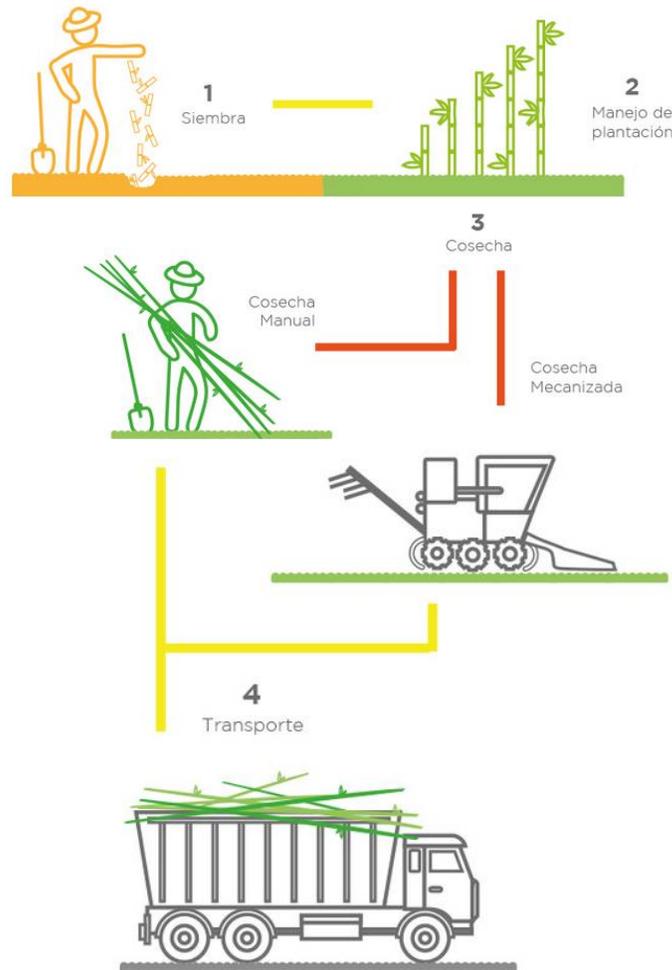
- Corte. Este se puede hacer de forma manual o mecanizada.

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/. 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

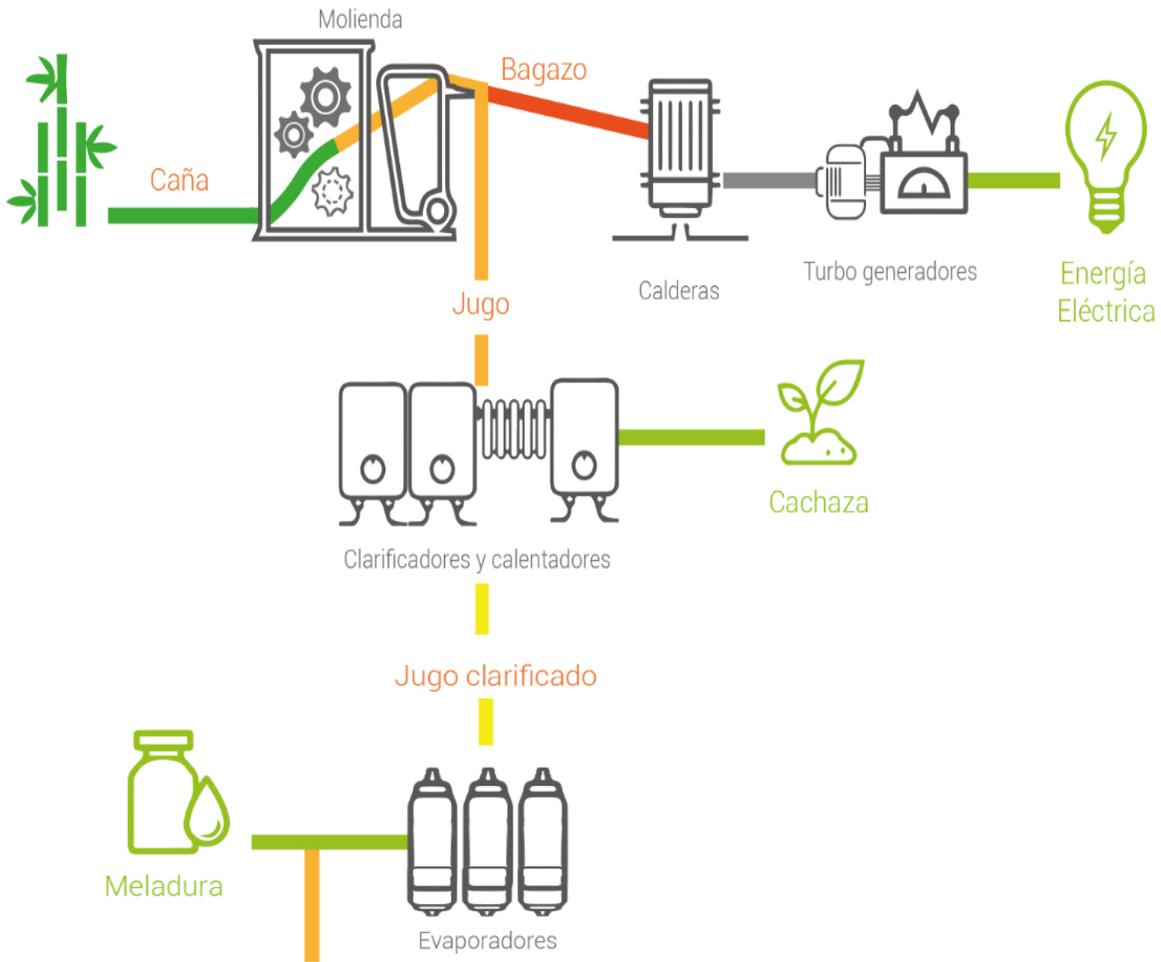
En esta etapa se separa la miel y los cristales de azúcar por medio de centrífugas, luego de esto los cristales son enviados a la refinería y posteriormente al secado. Para finalizar este proceso se clasifica el azúcar según el tamaño del cristal y se almacena en silos para su posterior envasado.

- 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

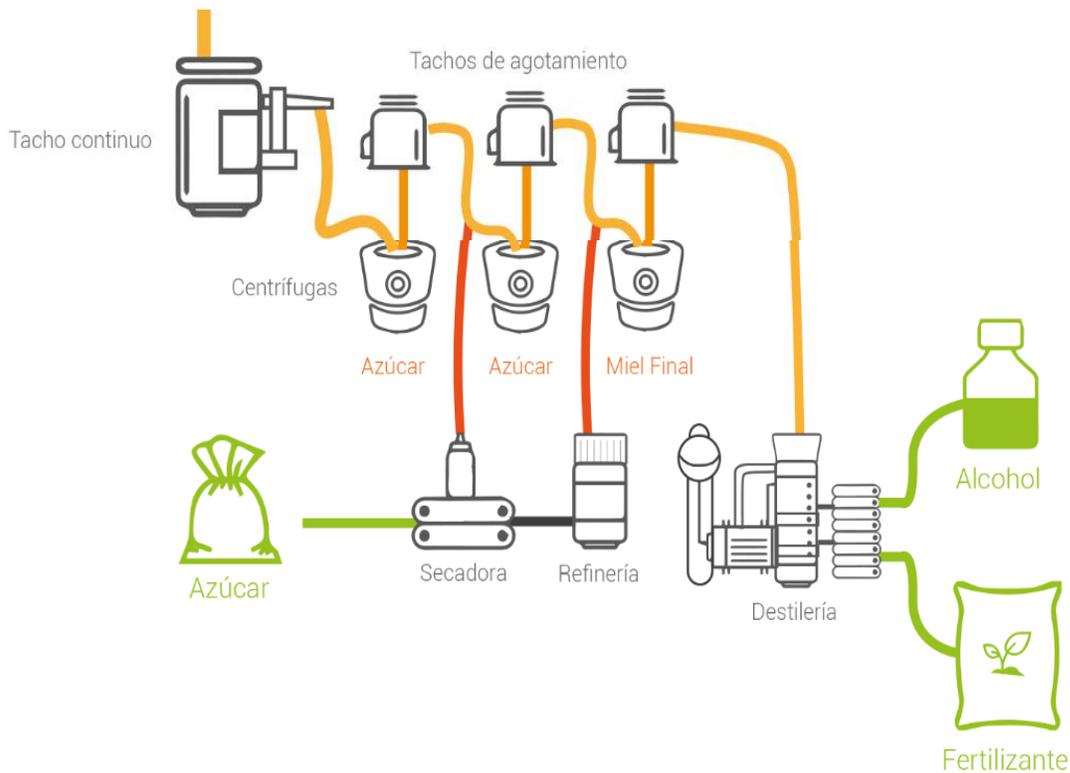
El azúcar refinado se envasa en presentación de 4 500, 2 000, 2 500 gramos, así como 1 arroba y 1 quintal, para su posterior venta.

Figura 3. Diagrama de proceso industrial (parte 1)



Fuente: Ingenio Pantaleón. *Proceso industrial, transformando recursos responsablemente*.
www.pantaleon.com/procesos/proceso-agricola/. 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/. 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/. 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/. 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 SiO₂, Al₂O₃ y Fe₂O₃. 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 ₂	72,74	82,70	64,15	78,34	64,88	76,40
Al ₂ O ₃	5,26	3,40	9,05	8,55	6,40	5,80
Fe ₂ O ₃	3,92	1,10	5,62	3,61	2,63	4,50
TiO ₂	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 ₃	0,13	-	-	-	1,56	-
K ₂ O	3,47	-	1,35	3,46	-	4,20
Na ₂ O	0,84	-	0,92	0,12	-	1,10
P ₂ O ₅	1,59	1,70	-	-	-	-
K ₂ O + Na ₂ 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 ± 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 (SiO₂), óxido de aluminio (Al₂O₃), óxido de hierro (Fe₂O₃) y trióxido de azufre (So₃). 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 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 ³)	1590	Características físicas propias del material
Densidad Aparente Suelta (kg/cm ³)	1480	
Densidad Aparente Húmeda (kg/cm ³)	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 ³)	1550	Características físicas propias del material
Densidad Aparente Suelta (kg/cm ³)	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 (Al₂O₃, Fe₂O₃ y SiO₂), 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 ₂	64,34	La suma de los 3 compuestos debe ser igual o mayor a 70 %
Al ₂ O ₃	13,32	
Fe ₂ O ₃	5,59	
K ₂ O	3,55	Compuestos que pueden resultar perjudiciales
Na ₂ 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 1m³de concreto y el peso de los materiales para 1 saco de cemento.

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

Material	Proporción	Para 1 m ³ (kg)	Para 1 Saco (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
Patrón 0 % de ceniza		
Tempera (°C)	20	10 °C – 35 °C
Vacios (%)	1,3	1 % - 7 %
Asentamiento (cm)	19,5	8 cm - 12 cm
P.U. (kg/m ³)	2 334	2 000 kg/m ³ – 2 400 kg/m ³
Sustitución 5 % de ceniza		
Tempera (°C)	21	10 °C – 35 °C
Vacios (%)	1	1 % - 7 %
Asentamiento	10	8 cm - 12 cm
P.U. (kg/m ³)	2 361	2 000 kg/m ³ – 2 400 kg/m ³
Sustitución 10 % de ceniza		
Tempera (°C)	21,5	10 °C – 35 °C
Vacios (%)	1,5	1 % - 7 %
Asentamiento (cm)	1	8 cm - 12 cm
P.U. (kg/m ³)	2 350	2 000 kg/m ³ – 2 400 kg/m ³
Sustitución 15 % de ceniza		
Tempera (°C)	20	10 °C – 35 °C
Vacios (%)	1,3	1 % - 7 %
Asentamiento (cm)	11	8 cm - 12 cm
P.U. (kg/m ³)	2 283	2 000 kg/m ³ – 2 400 kg/m ³

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/m³ – 2 400 kg/m³.

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/m3)	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/m3)	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/m3)	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/m3)	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.

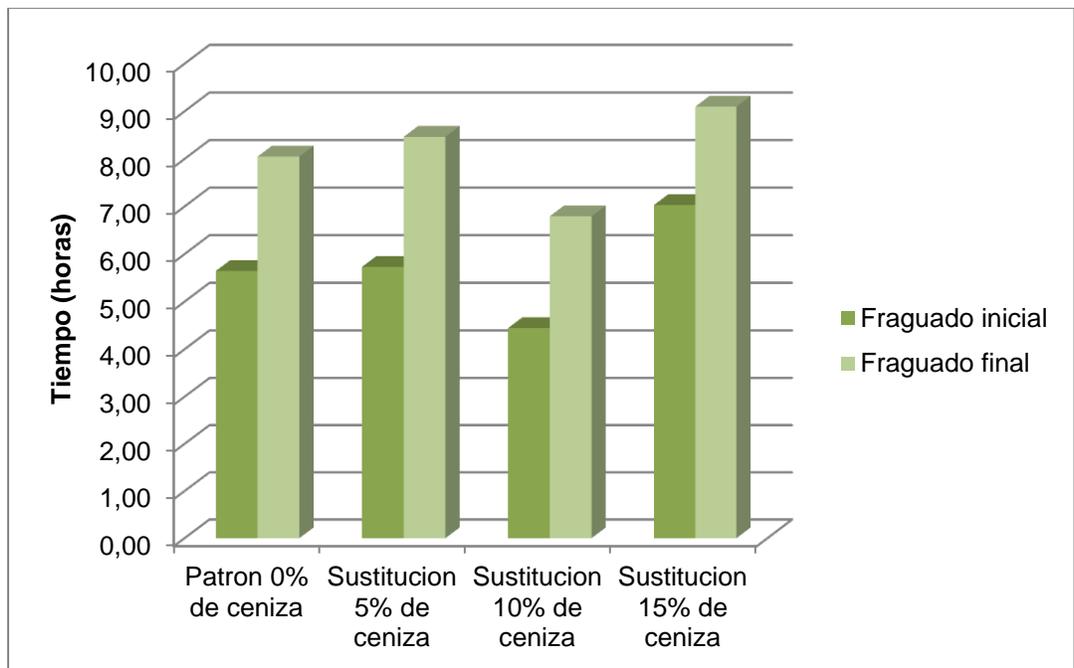
Para la mezcla con sustitución del 10 % de ceniza de bagazo de caña de azúcar se procuró utilizar la cantidad de agua resultante del diseño de mezcla aumentando la cantidad solamente un litro. Eso dio como resultado que el asentamiento de la mezcla fuera de 1 cm haciéndola poco trabajable.

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**



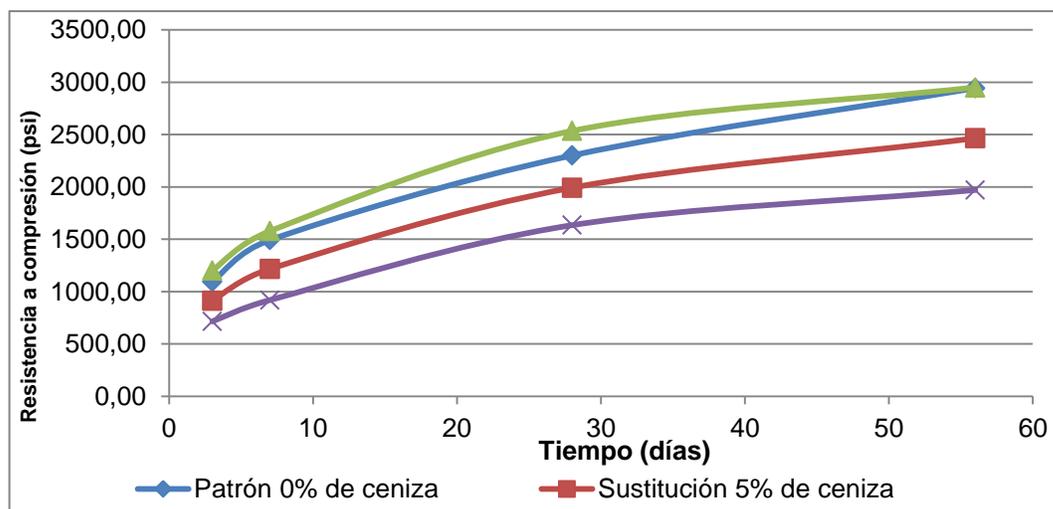
Fuente: elaboración propia.

- 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/>. [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/>. [Consulta: 18 de febrero de 2019].
10. _____. *Proceso industrial, transformando recursos responsablemente*. [en línea].

<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/>. [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/>. [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

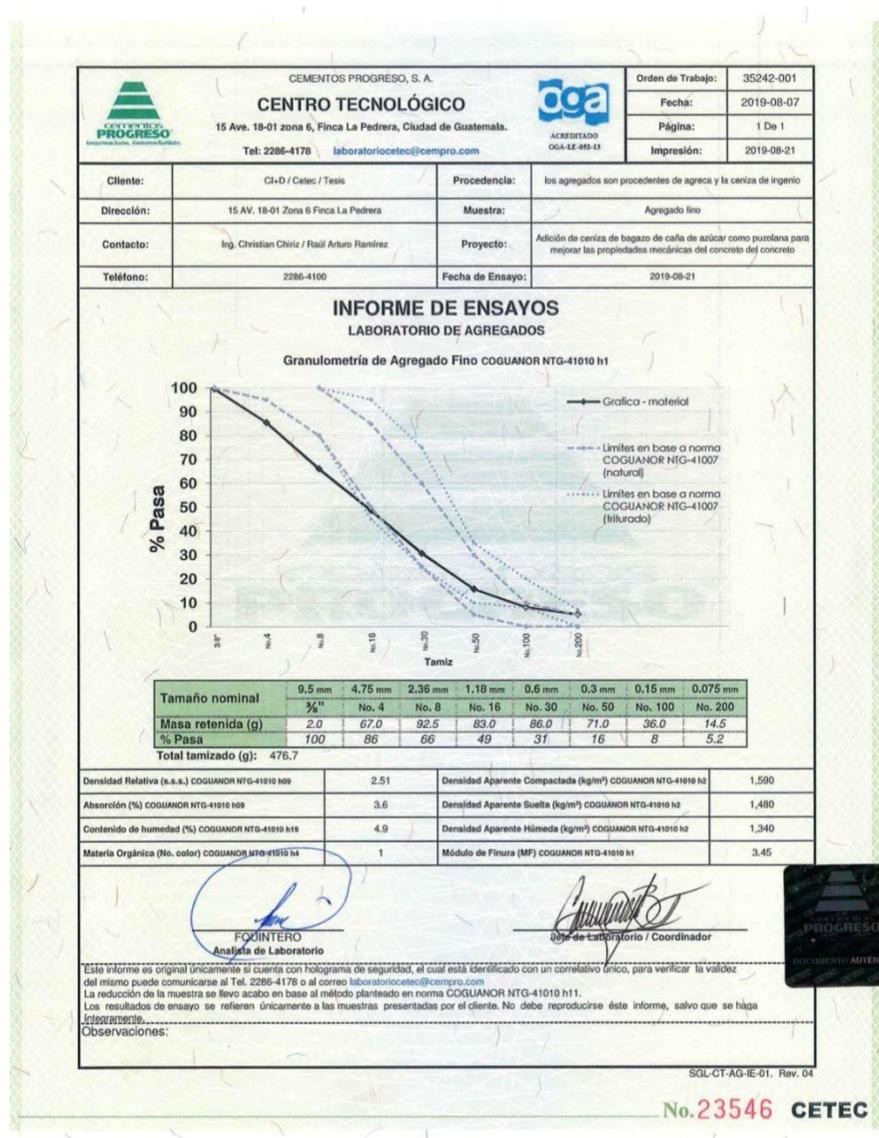


Barras de mortero finales

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Análisis completo para agregado fino – CETEC



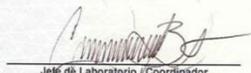
Fuente: Centro Tecnológico Cementos Progreso. Análisis completo de agregado fino. Laboratorio de agregados.

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**

		CEMENTOS PROGRESO, S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Av. 18-01 zona 6, Finca La Pedrera, Ciudad de Guatemala. Tel: 2286-4178 laboratorioctec@cempro.com				Orden de Trabajo: 35242-002 Fecha: 2019-08-07 Página: 1 De 1 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				
 F. QUINTERO 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

CEMENTOS PROGRESO S. A.		OT	35242
CENTRO TECNOLÓGICO		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

Cliente	CHD / Cetec / Testis	Procedencia	los agregados son procedentes de agrera y la ceniza de ingenio
Dirección / Teléfono	15 AV. 18-01 Zona 6 Finca La Pedrera / 2286-4100	Muestra	Ceniza de bagazo de caña de azúcar
Contacto	Ing. Christian Chiriz / Raúl Arturo Ramírez	Analistas	RPOSADAS
Proyecto	Además de ceniza de bagazo de caña de azúcar para realizar las propiedades mecánicas de resistencia del cemento	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).

 Analista
 Jefe de Laboratorio/Coordinador

OBSERVACIONES

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas por el cliente. No autorizamos la reproducción de este informe, ni menos que se haga. Ingresamente. Este informe es original únicamente si cuenta con holograma de seguridad, de todo más identificado con un código QR único, 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**



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



INFORME DETERMINACIÓN POR LAVADO DEL MATERIAL QUE PASA POR No. 18156

EL TAMIZ 75 µm (No. 200) EN AGREGADOS MINERALES

NORMA NTG 41010 h3 (ASTM C-117)

INFORME SACM - 085/2020

HOJA 1/1

O.T. No. 39940

INTERESADO:

PROYECTO:

DIRECCIÓN:

EMISIÓN DE INFORME:

Raúl Arturo Ramírez Ramírez, Registro académico: 2012 13380

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

Ciudad de Guatemala, Guatemala.

16 de septiembre de 2020

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:

Pasa Tamiz # 200 (%)	95,90%
----------------------	--------

OBSERVACIONES:

a) Muestra proporcionada por el interesado

b) Tamiz # 200, procedimiento A, lavado con agua potable.

c) Muestra identificada como: Ceniza de bagazo de caña de azúcar.

El presente informe representa únicamente la muestra identificada en el mismo.

Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

ATENTAMENTE,

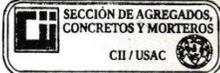


Inga. Dilma Yáñez Mejicanos Jol
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.



Inga. Telma Maribela Cano Morales
Directora CII/USAC




FACULTAD DE INGENIERÍA -USAC-
Edificio Emilio Beltránena, 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 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 Kg	Arena Kg	Piedrin Kg	Agua Litros	Ceniza Kg	Tiempo (minutos)	Esfuerzo de penetración (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 Kg	Arena Kg	Piedrin Kg	Agua Litros	Ceniza Kg	Tiempo (minutos)	Esfuerzo de penetración (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 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 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 Kg	Arena Kg	Piedrin Kg	Agua Litros	Ceniza Kg	Tiempo (minutos)	Esfuerzo de penetración (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 Kg	Arena Kg	Piedrin Kg	Agua Litros	Ceniza Kg	Tiempo (minutos)	Esfuerzo de penetración (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

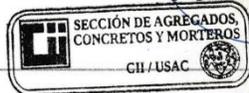
Tamaño nominal máximo: 3/4"
Relación A/C: 0,91
Aditivos utilizados: 15 % de sustitución con ceniza
Contenido de aire: 1,30%
Asentamiento: 4 1/2 pulg.
Temperatura después de tamizado: 20,50 °C
Temperatura ambiente inicial: 23,80 °C
Temperatura ambiental final: 21,50 °C
Tiempo de fraguado inicial: 422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



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/pf	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 ²	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

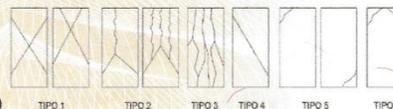
Información de mezclas:

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 ₂ O: SustituciónCeniza)
Mezcla Patrón	22,40 °C	1,30%	7 1/2 pulg.	2334,00 kg/m ³	1,00 : 2,31 : 2,95 : 0,62 : 0,00
Mezcla 5%	23,40 °C	1,00%	4 pulg.	2361,00 kg/m ³	1,00 : 2,44 : 3,11 : 0,71 : 0,05
Mezcla 10%	23,90 °C	1,50%	1/2 pulg.	2350,00 kg/m ³	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 ³	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



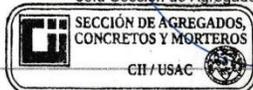
El presente informe únicamente es para las muestras identificadas en el mismo.
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

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.