



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE  
GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y  
CONSTRUCCIÓN CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN  
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**TEMA:**

**“ESTUDIO DE HORMIGÓN HIDRÁULICO UTILIZANDO LA  
CENIZA DE BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR, COMO  
SUSTITUTIVO DEL ÁRIDO FINO”**

**Autor:**

**ERICK XAVIER DÍAZ CARRILLO**

**Tutor:**

**MSc. Ing. EDI VALAREZO MEDINA,**

**Guayaquil**

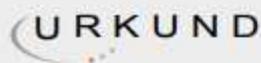
**2019**

## REPOSITORIO DE SENESCYT

<b>REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA</b>		
<b>FICHA DE REGISTRO</b>		
<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b> Estudio de hormigón hidráulico utilizando la ceniza de bagazo de la caña de azúcar, como sustitutivo del árido fino		
<b>AUTOR/ES:</b> Erick Xavier Díaz Carrillo		<b>REVISORES:</b> MSc. Ing. Edi Valarezo Medina
<b>INSTITUCIÓN:</b> Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil		<b>FACULTAD:</b> Ingeniería, Industria y Construcción
<b>CARRERA:</b> Ingeniería Civil		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b> 2019		<b>N. DE PÁGS.:</b> 66
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b> Arquitectura y Construcción		
<b>PALABRAS CLAVE:</b> Caña de azúcar, Hormigón, Construcción, Estudio, Cemento		
<p><b>RESUMEN:</b> El tema del presente trabajo es un “estudio de hormigón hidráulico utilizando la ceniza de bagazo de la caña de azúcar, como sustitutivo del árido fino”, cuyo objetivo es Evaluar el comportamiento mecánico de varias muestras de hormigón hidráulico, influenciado por la sustitución porcentual del árido fino con la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA.), receptadas del ingenio azucarero del norte Tababuela en la provincia de Imbabura, verificar con un hormigón tradicional. En la actualidad, diversos materiales puzolánicos, como ceniza volante, sílica activa, metacaolín y ceniza de cáscara de arroz, son usados como sustitución parcial del cemento en pastas, gravas y concretos. Por tal razón, Es necesario por esta razón demostrar mediante determinados porcentajes, si la ceniza del bagazo de caña de azúcar esta apta para sustituir porcentualmente el árido fino (arena), al momento de la elaboración de un hormigón hidráulico con el cemento portland compuesto tipo 1. La metodología está compuesta por la investigación analítica y es de enfoque cuantitativo, lo cual ayuda a obtener datos sobre el comportamiento de la CBCA en sustitución porcentual del árido fino para la elaboración de hormigón hidráulico. La técnica del ensayo en laboratorio para la elaboración de probetas usando cemento portland y añadiendo porcentualmente el CBCA en sustitución del árido fino, con la finalidad de observar su resistencia a los 4, 7, 14 y 28 días de haber empezado su proceso de prueba. Se obtuvieron resultados que la sustitución parcial del árido fino por CBCA, no fue beneficiosa, ya que los cilindros de hormigón con el 5% y 10% de CBCA consiguieron resistencias menores con respecto a un hormigón elaborado de forma convencional.</p>		
N. DE REGISTRO (en base de datos):		N. DE CLASIFICACIÓN:
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		
ADJUNTO URL (tesis en la web):		
ADJUNTO PDF:		SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
CONTACTO CON AUTORES/ES: Erick Xavier Díaz Carrillo		Teléfono: 0967458084 E-mail: erick_xavier91@hotmail.com
CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:		Nombre: MSc. Ing. Civil Alex Salvatierra Espinoza
		Teléfono: 042596500 Ext. 241
		E-mail: asalvatierrae@ulvr.edu.ec

Quito: Av. Whymper E7-37 y Alpallana, edificio Delfos, teléfonos (593-2) 2505660/ 1; y en la Av. 9 de octubre 624 y Carrión, Edificio Prometeo, teléfonos 2569898/ 9. Fax: (593 2) 2509054

# CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO ACADÉMICO



## Urkund Analysis Result

**Analysed Document:** proyecto de investigación tesis Erick Díaz.docx (D52200367)  
**Submitted:** 5/16/2019 9:36:00 PM  
**Submitted By:** kmoscosor@ulvr.edu.ec  
**Significance:** 9 %

### Sources included in the report:

SOLO TEORIA DE TESIS.docx (D14861836)  
Tesis polvo de vidrio r.docx (D13817518)  
TESIS ADICION PUZOLANICA (CENIZA DE MAIZ).docx (D13811958)  
20150907 Luis Morales IIP.pdf (D15193345)  
TRABAJO EXPERIMENTAL-YADIRA VALENZUELA.pdf (D27840456)  
TESIS NÚÑEZ JOHANA.pdf (D19556062)  
<http://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/UNFV/2157/APAZA%20HITO%20DANNY%20SAMIR.pdf?sequence=1&isAllowed=y>  
<https://www.slideshare.net/solita15/utilizacion-de-la-ceniza-del-bagazo-de-cao-de-azucar>  
<http://repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/bitstream/123456789/1227/1/28818.pdf>  
[http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1048/T016\\_44477012\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1048/T016_44477012_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)  
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/momento/article/download/45539/46924>  
<http://www.dicyt.com/noticias/bagazo-de-cana-posible-componente-de-concreto-hidraulico>  
<https://www.virtualpro.co/biblioteca/caracterizacion-de-la-ceniza-del-bagazo-de-cana-de-azucar-para-su-uso-como-puzolana-en-materiales-cementosos>

### Instances where selected sources appear:

28

Ing. Edi Valarezo Medina, Msc.

Tutor 

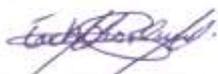
C.C. 091305953-1

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES**

El estudiante egresado Erick Xavier Díaz Carrillo, declaramos bajo juramento, que la autoría del presente proyecto de investigación, Estudio de hormigón hidráulico utilizando la ceniza de bagazo de la caña de azúcar, como sustitutivo del árido fino, corresponde totalmente a las suscritas y me responsabilizo con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedo los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Autor:



---

Erick Xavier Díaz Carrillo

C.I. 091864049-1

## **CERTIFICADO DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación, nombrado por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil.

### **CERTIFICO:**

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Proyecto de Investigación titulado: Estudio de hormigón hidráulico utilizando la ceniza de bagazo de la caña de azúcar, como sustitutivo del árido fino, presentado por el estudiante Erick Xavier Díaz Carrillo como requisito previo, para optar al Título de Ingeniera Civil, encontrándose apto para su sustentación.

Ing. Edi Valarezo Medina, Msc.

Tutor 

C.C. 091305953-1

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto de investigación a Dios, a mi Abuelita, a mi madre Mercedes Carrillo, a mi padre Ing. Edison Díaz, a mis hermanos Giovanni, Andrés, a mis tíos y a Domenica Bajaña por ser mi constante apoyo y ayuda en todos los momentos de mi vida.

*Erick Díaz*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por guiarme por un buen camino por darme salud, vida, sabiduría y sobre todo amor a mi carrera.

Agradezco a mi Abuelita, a mi madre Mercedes Carrillo, a mi padre Ing. Edison Díaz, a mi hermano Andrés Díaz y a mi novia Domenica Bajaña por su incondicional mano de ayuda y mostrar su respaldo para convertirme en Ingeniero Civil.

Agradezco a la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil por ser mi institución que me ha formado como profesional y de la que he obtenido grandes conocimientos.

A mi tutor, el Ing. Edi Valarezo, quien sin su guía no habría podido culminar con satisfacción este proyecto.

A mi familia nuevamente, por su incondicional mano de ayuda y mostrar su respaldo para convertirme en Ingeniero Civil.

*Erick Díaz*

# ÍNDICE GENERAL

PORTADA.....	i
REPOSITORIO DE SENESCYT .....	ii
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO ACADÉMICO .....	iii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES .....	iv
CERTIFICADO DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR.....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT .....	xii
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I.....	2
1. DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....	2
1.1. Tema.....	2
1.2. Planteamiento del problema. ....	2
1.3. Formulación del problema.....	3
1.4. Sistematización del problema.....	3
1.5. Objetivos de la investigación.....	3
1.5.1. Objetivo general .....	3
1.5.2. Objetivos específicos. ....	3

1.6.	Justificación del problema.....	4
1.7.	Delimitación o Alcance de la investigación. ....	4
1.8.	Hipótesis.....	4
1.9.	Línea de investigación institucional/facultad .....	5
CAPITULO II.....		6
2.	MARCO TEÓRICO .....	6
2.1.	Antecedentes de la investigación.....	6
2.2.	Marco teórico referencial .....	7
2.2.1.	Concreto.....	7
2.2.1.1.	Antecedentes del cemento .....	9
2.2.1.2.	Cemento portland.....	11
2.2.1.3.	Fabricación del cemento Portland.....	11
2.2.1.4.	Clasificación de los cementos.....	13
2.2.1.5.	Especificaciones físicas y mecánicas del cemento Portland.....	15
2.3.	Marco conceptual .....	19
2.4.	Marco legal.....	19
CAPÍTULO III.....		22
3.	MARCO METODOLÓGICO.....	22
3.1.	Tipo de investigación .....	22
3.2.	Enfoque de investigación .....	22
3.3.	Métodos, técnicas y procedimientos de la investigación.....	22
3.3.1.	Métodos.....	22
3.3.2.	Técnicas.....	22
3.3.3.	Procedimientos de la investigación.....	23
3.4.	Análisis de los resultados .....	28
CAPÍTULO IV.....		34
4.	INFORME FINAL.....	34

4.1. Discusión de resultados .....	34
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	35
Conclusiones.....	35
Recomendaciones .....	36
BIBLIOGRAFÍA.....	37
ANEXOS.....	39

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de los cementos .....	13
Tabla 2 Características especiales de los cementos .....	14
Tabla 3 Límites granulométricos especificados para el árido fino. ....	18
Tabla 4 Especificaciones para las cenizas según la Norma ASTM C618.....	20
Tabla 5 Granulometría presentada por la CBCA .....	23
Tabla 6 Características de proporcionamiento de la mezcla de hormigón.....	24
Tabla 7 Proporcionamiento por volúmenes absolutos .....	24
Tabla 8 Características de las probetas para la sustitución del árido fino.....	25
Tabla 9 Dosificación por m <sup>3</sup> para elaboración del hormigón hidráulico.....	25
Tabla 10 Pruebas con sustitución e árido fino al 5% y 10% .....	29
Tabla 11 Prueba de compresión simple a la probeta de edad de 4 días .....	30
Tabla 12 Prueba de compresión simple a la probeta de edad de 7 días .....	31
Tabla 13 Prueba de compresión simple a la probeta de edad de 14 días .....	31
Tabla 14 Prueba de compresión simple a la probeta de edad de 28 días .....	32

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Curva de distribución granulométrica óptima del agregado fino de acuerdo a la Norma ASTM C 33 .....	18
Figura 2 Densidad de los cilindros de hormigón de prueba. Tomado de Ensayo en laboratorio .....	33

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Resultados de elaboración de pruebas .....	39
Anexo 2 Fotos .....	41

**AUTOR:** ERICK XAVIER DÍAZ CARRILLO

**TEMA:** “ESTUDIO DE HORMIGÓN HIDRÁULICO UTILIZANDO LA CENIZA DE BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR, COMO SUSTITUTIVO DEL ÁRIDO FINO”

**TUTOR:** ING. EDI VALAREZO MEDINA, MS. C.

## **RESUMEN**

El tema del presente trabajo es un “estudio de hormigón hidráulico utilizando la ceniza de bagazo de la caña de azúcar, como sustitutivo del árido fino”, cuyo objetivo es Evaluar el comportamiento mecánico de varias muestras de hormigón hidráulico, influenciado por la sustitución porcentual del árido fino con la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA.), receptadas del ingenio azucarero del norte Tababuela en la provincia de Imbabura, verificar con un hormigón tradicional. En la actualidad, diversos materiales puzolánicos, como ceniza volante, sílica activa, metacaolín y ceniza de cáscara de arroz, son usados como sustitución parcial del cemento en pastas, gravas y concretos. Por tal razón, Es necesario por esta razón demostrar mediante determinados porcentajes, si la ceniza del bagazo de caña de azúcar esta apta para sustituir porcentualmente el árido fino (arena), al momento de la elaboración de un hormigón hidráulico con el cemento portland compuesto tipo 1. La metodología está compuesta por la investigación analítica y es de enfoque cuantitativo, lo cual ayuda a obtener datos sobre el comportamiento de la CBCA en sustitución porcentual del árido fino para la elaboración de hormigón hidráulico. La técnica del ensayo en laboratorio para la elaboración de probetas usando cemento portland y añadiendo porcentualmente el CBCA en sustitución del árido fino, con la finalidad de observar su resistencia a los 4, 7 y 14 días de haber empezado su proceso de prueba. se obtuvieron resultados que la sustitución parcial del árido fino por CBCA, no fue beneficiosa, ya que los cilindros de hormigón con el 5% y 10% de CBCA consiguieron resistencias menores con respecto a un hormigón elaborado de forma convencional.

**Palabras claves:** Caña de azúcar, Hormigón, Construcción, Estudio, Cemento.

**AUTHOR:** ERICK XAVIER DÍAZ CARRILLO

**THEME:** “STUDY OF HYDRAULIC CONCRETE USING THE BAGAZO ASH OF THE SUGAR CANE, AS A SUBSTITUTE FOR THE FINE ANSWER”

## **ABSTRACT**

The subject of the present work is a "hydraulic concrete study using bagasse ash from sugar cane, as a substitute for fine aggregate", whose objective is to evaluate the mechanical behavior of several samples of hydraulic concrete, influenced by the percentage substitution of fine aggregate with sugarcane bagasse ash (CBCA.), taken from the sugar mill of northern, Tababuela in the province of Imbabura, verify with a traditional concrete. At present, various pozzolanic materials, such as fly ash, active silica, metakaolin and rice husk ash, were use as partial substitution of cement in pastes, gravels and concretes. For this reason, it is necessary for this reason to demonstrate by means of certain percentages, if the sugarcane bagasse ash is apt to substitute fine aggregate (sand), now of the elaboration of a hydraulic concrete with the composite portland cement. 1. The methodology is composed of analytic research and is of a quantitative approach, which helps to obtain data on the behavior of the CBCA in percentage substitution of fine aggregate for the manufacture of hydraulic concrete. The technique of the laboratory test for the preparation of test tubes using portland cement and percentage adding the CBCA in substitution of the fine aggregate, with the purpose of observing its resistance at 4, 7, 14 and 28 days after having begun its testing process. Results were obtain that the partial substitution of the fine aggregate by CBCA, was not beneficial, since the concrete cylinders with 5% and 10% of CBCA obtained lower resistance with respect to a concrete elaborated in a conventional way.

**Keywords:** Sugarcane, Concrete, Construction, Study, Cement

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**CBC:** Ceniza de bagazo de caña.

**CBCA:** Ceniza de bagazo de caña de azúcar.

**Densidad:** Relación entre la masa y el volumen de una sustancia, o entre la masa de una sustancia y la masa de un volumen igual de otra sustancia tomada como patrón.

# INTRODUCCIÓN

La investigación que se realiza a diario en el mundo permite usar materiales de la naturaleza, en este caso se hará uso de las cenizas volantes, las que están clasificadas por la norma ASTM C618. Es necesario por esta razón demostrar mediante determinados porcentajes, si la ceniza del bagazo de caña de azúcar esta apta para sustituir porcentualmente el árido fino (arena), al momento de la elaboración de un hormigón hidráulico.

Por esta razón, la investigación está desarrollada en diferentes capítulos descritos a continuación:

En el capítulo I, se encuentra la explicación del problema que se ubica en el nulo estudio sobre la ceniza de bagazo de caña de azúcar como sustituto porcentual del árido fino en el hormigón hidráulico, en el que se plantean además los objetivos para su identificación y la justificación del proyecto.

El capítulo II, desarrolla los aspectos teóricos en el cual está sujeta la investigación, en donde se tratan tema de investigaciones previas de la CBCA en el sector de la construcción, así como también sobre el cemento portland y los áridos finos.

En el capítulo III, se establece la metodología aplicada en la investigación, que en este caso es de tipo analítica y en donde se han obtenido los resultados sobre los ensayos realizados en el laboratorio por medio de probetas de concreto con la sustitución porcentual del árido fino por la CBCA.

El capítulo IV, tiene la discusión de los resultados, en el que se determinan los aspectos más relevantes encontrados en el estudio al que fueron sometidas las probetas de hormigón hidráulico con la incorporación de la CBCA.

Se finaliza el proyecto con las conclusiones y recomendaciones de la investigación integralmente.

# CAPÍTULO I

## 1. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

### 1.1. Tema

“Estudio de hormigón hidráulico utilizando la ceniza de bagazo de la caña de azúcar, como sustitutivo del árido fino”.

### 1.2. Planteamiento del problema.

La investigación que se realiza a diario en el mundo permite usar materiales de la naturaleza, en este caso se hará uso de las cenizas volantes, las que están clasificadas por la norma ASTM C618 (2012), la cual permite hacer uso de CBCA, para poder reemplazar un porcentaje del árido fino en la elaboración de hormigón hidráulico.

La puzolana es un material inorgánico, natural o artificial, silicoso o aluminosilicoso, que puede mostrar propiedades aglomerantes cuando se mezcla en presencia de agua e hidróxido de calcio. En la actualidad, diversos materiales puzolánicos, como ceniza volante, sílica activa, metacaolín y ceniza de cáscara de arroz, son usados como sustitución parcial del cemento en pastas, gravas y concretos. El uso de puzolanas facilita una reducción de problemas ambientales relacionados con el uso del cemento en concreto, que puede ser la gran cantidad de materia prima natural requerida como la arcilla y la caliza) además del elevado volumen de producción de gases intensificadores del efecto invernadero, sobre todo el dióxido de carbono emanados hacia la atmósfera.

Dentro de esta definición de puzolana se encuentra la ceniza de bagazo de la caña de azúcar, la cual es un subproducto de los desechos provenientes de la cosecha de este sembrío y es el producto con el cual se va a trabajar en el desarrollo de la investigación, ya que en la actualidad no se tiene información de su utilización como sustituto porcentual del árido fino dentro de la producción del hormigón hidráulico para su uso en los distintos procesos de construcción.

Es necesario por esta razón demostrar mediante determinados porcentajes, si la ceniza del bagazo de caña de azúcar esta apta para sustituir porcentualmente el árido fino (arena), al momento de la elaboración de un hormigón hidráulico con el cemento portland compuesto tipo 1.

### **1.3. Formulación del problema**

¿Se puede conocer en qué porcentaje de ceniza de bagazo de caña de azúcar será necesario para reemplazar porcentualmente el árido fino (arena) en el procedimiento de compresión de hormigón hidráulico?

### **1.4. Sistematización del problema**

¿Se podrán mejorar las características del hormigón hidráulico con la incorporación del CBCA?

¿Se podrán evaluar los resultados obtenidos de las probetas sobre la incorporación de la ceniza del bagazo de caña de azúcar (CBCA) como sustitutivo de árido fino para el nuevo hormigón?

¿Cuál sería el porcentaje óptimo de CBCA como sustituto del árido fino?

¿Cuál sería el beneficio de usar el CBCA con el hormigón hidráulico?

### **1.5. Objetivos de la investigación**

#### **1.5.1. Objetivo general**

Evaluar el comportamiento mecánico de varias muestras de hormigón hidráulico, influenciado por la sustitución porcentual del árido fino con la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA.), receptadas del ingenio azucarero del norte Tababuela en la provincia de Imbabura, verificar con un hormigón tradicional.

#### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Valorar las características mecánicas en la creación de hormigón, haciendo uso de materiales de desechos agroindustriales, como la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA), en sustitución porcentual al árido fino
- Evaluar los resultados obtenidos de las probetas, para la factibilidad de la utilización de la ceniza del bagazo de caña de azúcar (CBCA) como sustitutivo porcentual de árido fino para el nuevo hormigón.

- Expresar la alternativa de mezcla de hormigón hidráulico simple con distintos porcentajes de CBCA en la sustitución de árido fino (arena)

### **1.6. Justificación del problema**

Se sabe que la durabilidad del hormigón o concreto está ligada a la permanencia individual de cada uno de sus componentes y de estos, los áridos son señalados como principales modificadores de esta, en la que su más popular recurso es la arena para su proceso de elaboración.

Como en todo sector productivo, existe la evolución de los procesos y sus componente, y este es el caso de modificar uno de ellos, siendo esta la razón principal del enfoque del presente estudio, que es la utilización del CBCA como un sustituto en porcentaje minoritario del árido fino, en conformidad con lo que establece la Norma (ASTM C618, 2012), que indica que el CBCA contiene propiedades cementicias y puzolánicas.

Se tomará en cuenta el estudio para la factibilidad sobre la cantidad idónea de la ceniza del bagazo de la caña de azúcar para la elaboración del hormigón hidráulico y de esta manera brindar una nueva opción de árido fino que hasta ahora se lo ha hecho la arena. Con esta alternativa que se propone en este estudio, se vería beneficiado el sector económico y social.

### **1.7. Delimitación o Alcance de la investigación.**

**Campo:** Estudio de hormigón hidráulico mediante el uso de cenizas volantes.

**Área:** Ingeniería civil.

**Aspecto:** Investigación analítica.

**Tema:** Estudio de hormigón hidráulico utilizando la ceniza de bagazo de caña de azúcar como sustitutivo del árido fino.

**Delimitación espacial:** Provincia de Imbabura – Cantón Ibarra (Tababuela)  
Provincia del Guayas – Cantón Guayaquil

**Delimitación temporal:** Seis meses.

### **1.8. Hipótesis**

Si se evalúa el hormigón hidráulico con la incorporación porcentual de la ceniza de bagazo de la caña de azúcar (CBCA) en sustitución del árido fino, entonces

se podrá determinar su resistencia a la compresión y poder darle uso en el sector de la construcción.

### **1.9. Línea de investigación institucional/facultad**

Como parte del proceso de investigación académico se tiene que el factor de dominio es el de Urbanismo y ordenamiento territorial aplicando tecnología de la construcción eco-amigable, industria y desarrollo de energías renovables, ya que la Ingeniería Civil siempre se encuentra en constante evolución de sus proyectos de construcción partiendo desde los materiales usados, hasta las nuevas estructuras que se requieren para la sociedad.

Por su parte, la línea institucional es el de Territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción, teniendo en cuenta que el principal recurso de investigación es el de puzolanas de origen natural que reemplacen al árido fino (arena) porcentualmente.

En la línea de la facultad, esta investigación se enfoca con Materiales de construcción a través de la ceniza del bagazo de la caña de azúcar como sustituyente porcentual del árido fino en la elaboración del hormigón hidráulico.

## CAPITULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

El Instituto Politécnico Nacional de México ha propuesto la reducción del contenido de cemento en el concreto, y de esta forma reemplazarlo por subproductos industriales, como es lo de la ceniza volante o desechos agrícolas y las cenizas del bagazo de caña. Es una investigación que se realizó en el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), de la Unidad Oaxaca, y que fue liderada por el doctor Pedro Montes García, quien manifestó que México es el quinto país a nivel mundial en producir caña de azúcar, y durante la extracción de jugo el 30 por ciento se transforma en bagazo que podría aprovecharse para la construcción. En trabajos previos a este realizados en el CIIDIR, indican que el bagazo ha sido utilizado para sustituir parcialmente al cemento. “En la composición química de la ceniza de bagazo de caña predomina el óxido de silicio con contenidos de alúmina y óxido de hierro, que pueden reaccionar con el hidróxido de calcio en la hidratación del cemento y producir materiales que mejoren las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto” (DICYT, 2014).

En este programa experimental, se hizo una división en tres etapas. En la primera se realizó la determinación de los ingredientes y cómo podría trabajar el material; hallaron que la morfología, tamaño y composición mineralógica de las partículas de ceniza de bagazo de caña resultan dificultosas de procesar en las mezclas de molino y concreto, aunque esto puede remediarse con la ayuda de un aditivo superplastificante. En la segunda, tras evaluar propiedades microestructurales de los materiales, se descubrió que el uso de la CBCA no tiene efectos dañinos. La tercera etapa, consistió en realizar pruebas de laboratorio y campo para valorar las propiedades de durabilidad del concreto. Los resultados de pruebas de difusión de cloruros y resistividad eléctrica, sugirieron que el concreto hecho con CBCA puede ser más durable que aquel que contiene otros materiales suplementarios (DICYT, 2014).

El objetivo del trabajo de investigación realizado por Ojeda-Farías, Mendoza-Rangel, & Baltazar-Zamora (2018) fue estudiar la influencia del CBCA como sustituto parcial del Cemento Portland Compuesto (CPC) para mejorar las propiedades de un suelo granular arenoso. Se llevaron a cabo ensayos de compactación AASHTO estándar, resistencia a la compresión simple y CBR, comparándose el comportamiento

del suelo natural en estudio y mezclado con porcentajes de 3%, 5% y 7% de CPC como porcentajes de control, efectuándose sustituciones parciales del mismo por CBCA en porcentajes de 0%, 25%, 50% y 100% con relación al peso del suelo en estado seco. Los resultados revelaron mejoras en el suelo en las características de compactación, resistencia a la compresión y CBR, suprimiendo hasta un 25% el consumo del CPC.

En otra investigación que se tiene es el de Vidal, Torres, & González (2014) el cual se desarrolla en el Valle del Cauca en Perú, que por sus condiciones ambientales, tiene alta representación de cultivos azucareros. El bagazo de caña de azúcar una vez es manipulado en las calderas industriales, da lugar a la ceniza de bagazo. Se estudiaron tres cenizas procedentes de ingenios azucareros del Valle del Cauca, por medio de composición química, difracción de rayos X y actividad puzolánica. Se encontró que las CBCA estudiadas contienen Sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y Alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), en distintas proporciones, y que tienen amorficidad en su estructura, lo cual beneficia la reactividad con el cemento. Las muestras fueron tratadas térmicamente debido al alto contenido de inquemados, y se les estableció la actividad puzolánica, hallándose índices hasta del 97%, cumpliendo a cabalidad con la norma ASTM C618. Con los resultados de esta investigación concluyeron que este residuo puede ser adicionado al cemento para la elaboración de materiales de construcción.

## **2.2. Marco teórico referencial**

### **2.2.1. Concreto**

Actualmente en la zona de la construcción el concreto es uno de los materiales más históricos con mayor demanda puesto a la variedad que este se presenta; cede conjuntamente un ahorro en costos de obra para las diferentes construcciones en las que se utiliza dicho material, siendo preciso para desarrollar métodos que permitan conseguir una recomendable ventaja.

El concreto u hormigón es esencialmente una mezcla de dos componentes: los agregados y pasta. Los agregados son conformados por la arena y la piedra, mientras que la pasta es la mezcla correcta del cemento portland con el agua. La combinación de los agregados y la pasta, forman el cuerpo homogéneo del material y una vez que se endurezca esta forma una roca artificial llamada concreto (Martín, 2015).

El atributo que proporciona el concreto funciona de acuerdo a la calidad de la pasta y del agregado y de la agrupación entre los dos. En un concreto apropiadamente elaborado, todos los espacios entre las partículas de agregados se llenan totalmente con pasta.

El hormigón o concreto es un tipo de material equivalente a la piedra, que se puede conseguir mediante la mezcla del cemento, agua, agregados gruesos y agregados finos; en diferentes casos a la elaboración del hormigón se le puede agregar aditivos especiales para hormigones, en el que estos pueden dar unas mejores características al material, tomando en cuenta siempre que estas cumplan con las especificaciones técnicas avaladas en la calidad del concreto.

Los agregados se dividen en dos grupos: gruesos y finos. Los agregados finos son provenientes de arenas naturales o se delimita como aquel que pasa el tamiz 3/8" y descansa de forma natural en la malla N° 200, cuyo material más frecuentemente usado es la arena proveniente de la desintegración de las rocas, mientras que el agregado grueso es aquel que queda en el tamiz N°4 y procede de la desintegración de las rocas; puede a su vez clasificarse en piedra triturada y grava.

Como los agregados crean cerca del 60% al 75% del volumen total del hormigón, su clasificación debe ser destacada. Los agregados han de consistir en partículas con resistencia apropiada que resistirá las diferentes condiciones climáticas, y no deberán poseer impurezas que puedan producir fallas al momento de realizar la mezcla de los mismos; para esto es obligatorio efectuar una granulometría para comprobar los tamaños de partículas (Trujillo, 2014).

El diseño de las mezclas de hormigón, se constituirá en la correlación de agua-cemento necesaria para conseguir una mezcla plástica y maniobrable, según las circunstancias de vaciado de tal forma que se alcance un hormigón de alta durabilidad, así como impermeabilidad y resistencia que se encuentren acorde con lo que se exigen para las diversas estructuras, según los planos y especificadores. La correlación de agua-cemento se indicará en el diseño de la mezcla.

### **2.2.1.1. Antecedentes del cemento**

“Hace 5.000 años aparecen al norte de Chile las primeras obras de piedra unidas por un conglomerante hidráulico procedente de la calcinación de algas, estas obras formaban las paredes de las chozas utilizadas por los indios. Los egipcios emplearon morteros de yeso y de cal en sus construcciones monumentales” (Rodríguez-Mora, 2003).

Por otro lado, está Troya y Micenas, en donde se emplearon piedras unidas por arcilla para construir los muros, pero, realmente el hormigón confeccionado con un mínimo de técnica surge en unas bóvedas construidas cien años a.C.; los romanos descubrieron un cemento que era fabricado por medio de la mezcla de cenizas volcánicas con cal viva.

En Puteoli, conocido hoy como Pozzuoli se hallaba un depósito de estas cenizas, y es a partir de aquí que este cemento se le llamase “cemento de puzolana”. (Chura, 2014)

El principio del cemento es tan antiguo como la propia humanidad, ya que, por necesidad del hombre, este ha tenido que construir sus hogares incluso para la comunidad completa, así como las estructuras que fueron mejorando su futuro, y ha sido el factor principal en la indagación de materia prima para este propósito. Su calificativo arcaico, aparece de la ceniza calcinada, el cual era visto porque en la noche el hombre primitivo realizaba fogatas para obtener calor y cocinar sus alimentos, por lo que observaron que, al quedar la ceniza totalmente calcinada y mezclándose con la lluvia, esta se endurecía.

La cal común se obtiene al incinerar la piedra caliza, la gran discrepancia entre la cal hidráulica y la cal común, se da en que la cal común ágilmente se endurece al manifestarse el CO que se encuentra en la presencia del aire y por esta razón no puede suceder bajo el agua; mientras que la cal hidráulica proviene de las calizas fértidas o impuras, se fortifica por la reacción que se produce entre los componentes constituyentes, lo cual afirma que su fraguado pueda efectuarse bajo el agua. “Los egipcios hicieron uso de yeso y también de la cal. Así como los griegos y los Romanos combinaban las cenizas volcánicas con cal o con arcillas quemadas de tejas, así obtuvieron un material de mayor consistencia a los de la cal común. Normalmente la

puzolona se la obtiene de las cenizas volantes y en las tejas que contienen cal” (IECA, 2019).

## **Puzolana**

Puzolana proviene de Italia del nombre Puzzuoli que es una ciudad que se localiza en el Golfo de Nápoles, cerca del volcán Vesubio, y es en esta ciudad donde los Romanos lograban sustraer suficiente material volcánico que luego lo combinaban con la cal, creando un tipo de material bituminoso que sería primer indicio de creación del cemento que usaron para las diversas construcciones como fue el Pont du Gard y el Coliseo de Roma; mientras tanto en Grecia los materiales se suministraban de la Isla Santorin. sílice activa y la alúmina que se encuentran en las cenizas y en las tejas con la cal para producir lo que es conocido como cemento puzolánico.

Entre los años 1756 se pudo encontrar una mejor calidad de mortero, esto sucede cuando combinaron la puzolana con caliza es una cal hidráulica, este material calizo es rico en material arcilloso, en el año 1824 se pudo obtener un material que al combinarlo con el agua conseguía reaccionar de tal manera en que la pasta que se producía tenía un endurecimiento aplicable.

En la edad media ocurrió una disminución general en la calidad y uso del cemento. En 1756 Jhon Smeaton descubrió que el mejor mortero se conseguía cuando se mezclaba puzolana con caliza que constituía una alta cantidad de material arcilloso, en donde Smeaton fue el primero en identificar las propiedades químicas de la cal hidráulica. Posteriormente en 1824, Jhosep Aspin conoció los estudios de Smeaton y continuó las investigaciones llegando a alcanzar un material que al mezclarlo con el agua reaccionaba, dando lugar al endurecimiento de la pasta producida.

Dicho material endurecido daba indicios y similitud al de unas rocas o piedras que eran extraídas en la ciudad de Portland, y es en el año 1845 Issac Johnson que consiguió un modelo de cemento moderno, calcinando una combinación de arcilla con caliza hasta obtener a dar origen del Clinker; el Cemento Portland fue conseguido por la similitud en su color y la eficacia entre la piedra portland y el fraguado del cemento, en que este tipo de cemento ha sido perpetuado a pesar de los años.

“En 1860-1880 Le Chatelier investigó acerca del peso específico del cemento, Vicat acerca del fraguado, Abrahams acerca de la relación agua cemento, en USA se encuentra la PCA (asociación de Cemento Portland), en Suiza se encuentra las casas de aditivo” (CEHOPU, 2019).

### **2.2.1.2.Cemento portland**

El cemento portland es un conglomerante hidráulico cuya principal propiedad es la de formar masas pétreas resistentes y duraderas cuando se mezcla con áridos y agua. El endurecimiento de la mezcla ocurre transcurrido un cierto tiempo desde el momento en que se realiza el amasado, lo que permite dar forma a la piedra artificial resultante. Estas tres cualidades (moldeable, resistente, duradero) hacen que los productos derivados del cemento tengan una gran aplicación en la construcción de edificios y obras públicas. Este libro está dirigido a los estudiantes universitarios de las titulaciones de ingeniería civil y edificación para que puedan comprender de manera sencilla la fabricación y expedición del cemento portland. (Barbudo, 2004)

El Cemento portland hidráulico es un material inorgánico delicadamente pulverizado, que, al momento de mezclarlo con agua, ya sea solo o combinado con arena, grava u otros materiales, tiene la propiedad de fraguar y endurecer, inclusive bajo el agua, en capacidad de reacciones químicas durante la absorción y que, una vez endurecido, despliegue su resistencia y conserve su estabilidad (Cortabarra & Márquez, 2014).

### **2.2.1.3.Fabricación del cemento Portland**

Los cementos portland fraguan y fortalecen al unirse con el agua este reacciona químicamente. Durante la reacción, llamada absorción, el cemento se mezcla con agua para formar una masa plástica endurecida.

Los componentes fundamentales para la fabricación del cemento portland son el óxido de sílice, óxido de calcio, el óxido de hierro y aluminio. El elemento principal necesario para obtener los valores correctos de los componentes primordiales es una mezcla de materiales arcillosos y calcáreos (piedra caliza).

Cuando se está fabricando el cemento se le aumenta otros componentes (cenizas volcánicas, puzolanas, escorias de alto horno), que se redimen con diferentes funciones especiales. Las materias primas se deben someter a un proceso de clinkerización (a máximas temperaturas), y todo esto va a causar un polvo gris oscuro, que fragua muy velozmente con el agua, que al finalizar este proceso se le suma yeso con el fin de retardar el tiempo de fraguado. Este proceso se lleva a cabo mediante una serie de etapas:

- **Explotación de materias primas:** extracción de las piedras calizas y las arcillas de los depósitos o canteras, las cuales dependen de sus condiciones físicas para hacer los diferentes sistemas de explotación, donde luego se transporta a la fábrica.
- **Preparación y clasificación de las materias primas:** con la extracción de los materiales, en la fábrica se comprime el tamaño de la caliza siguiendo ciertas especificaciones dada para la fabricación. Su tamaño se reduce con la trituración hasta que su tamaño fluctúe entre 5 a 10mm.
- **Homogenización:** Se mezclan las arcillas y calizas, que ya han sido trituradas, se lleva por medio de tiras transportadoras o molinos, con la finalidad de disminuir su tamaño hasta el orden de diámetro de medio milímetro. En ésta etapa se establece la primera gran diferencia de los sistemas de producción del cemento, (procesos húmedos y procesos secos).
- **Clinkerización:** Se lleva la mezcla homogeneizada a hornos rotatorios a grandes temperaturas aproximadamente a 1450°C, en la parte final del horno se origina la fusión de varios de los componentes y se crean gránulos de 1 a 3 cm de diámetro, conocido como Clinker.
- **Enfriamiento:** luego del proceso de clinkerización a altas temperaturas, viene el proceso de enfriamiento el cual es una disminución de la temperatura para poder trabajar con el material, éste enfriamiento se apresura con equipos especializados.
- **Adiciones finales y molienda:** Una vez que el Clinker se halla enfriado, se continua a obtener la finura del cemento, que radica en moler el Clinker, después se le añade yeso con el fin de retardar el tiempo de fraguado.
- **Empaque y distribución:** Consiste en empaquetar el cemento fabricado en bolsas de 50 kilo, procurando el cuidado con diversos factores que puedan afectar la

calidad del cemento; se transporta y se distribuye con cuidados especiales (Cortabarra & Márquez, 2014).

#### 2.2.1.4. Clasificación de los cementos

La clasificación de los diferentes tipos de cemento de acuerdo a la norma NTE INEN se muestra en la tabla 1, así como la clasificación de acuerdo a la clase resistente y características especiales, también estipuladas en la misma norma descritas en la tabla 2:

Tabla 1

*Clasificación de los cementos*

TITULO DE NORMA	NORMA NACIONAL	NORMA INTERNACIONAL
Cemento Portland	NTE INEN 152	ASTM C150
Cementos Hidráulicos Compuestos	NTE INEN 490	ASTM C595
Cementos Hidráulicos por Desempeño	NTE INEN 2380	ASTM C1157

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización (2019)

Elaborado por: Díaz Carrillo, Erick (2019)

Tabla 2

*Características especiales de los cementos*

DENOMINACION	CLASE DE CEMENTO	CARACTERISTICAS ESPECIALES
CEMENTO PORTLAND	<p>.Uso general.</p> <p>.Resistencia moderada a los sulfatos.</p> <p>.Alta resistencia inicial.</p> <p>.Bajo calor de hidratación.</p> <p>.Alta resistencia a los sulfatos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Promover estos cementos genera grandes cantidades CO<sub>2</sub>, debido a los procesos físico-químicos en su fabricación.</li> <li>• Cemento en desuso</li> </ul>
CEMENTOS HIDRAULICOS COMPUESTOS	<p>IP: Cemento portland puzolanico.</p> <p>IS: Cemento portland de escoria de altos hornos.</p> <p>IT: Cemento compuesto ternario</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Parte del clinker se sustituye por componentes minerales logrando cementos con desempeños equivalentes a los cementos puros.</li> <li>• Generan menor cantidad de CO<sub>2</sub> en su proceso de fabricación.</li> </ul>
CEMENTOS HIDRAULICOS POR DESEMPEÑO	<p>GU: Uso general.</p> <p>HE: Alta resistencia inicial.</p> <p>HS: Alta resistencia a sulfatos.</p> <p>MS: Moderada a resistencia los sulfatos.</p> <p>MH: Moderada calor de hidratación.</p> <p>LH: Bajo calor de hidratación.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elimina restricciones en la composición química del cemento</li> <li>• Requisito prioritario es cumplir con ciertos niveles de desempeño independientemente de cómo se logren los mismos.</li> </ul>

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización (2019)  
 Elaborado por: Díaz Carrillo, Erick (2019)

### **2.2.1.5. Especificaciones físicas y mecánicas del cemento Portland**

Las propiedades físicas y mecánicas del cemento Portland, permiten complementar las propiedades químicas y conocer otros aspectos de su bondad como material cementante.

### **Áridos**

Los áridos o también llamados agregados son componentes fundamentales del concreto hidráulico, del concreto asfáltico y de las bases granulares. Los cuales son materiales pétreos naturales los cuales deben estar constituidos por partículas duras, de forma y tamaño estables y los cuales deben estar limpios y libres de terrones, partículas blandas o laminadas, arcillas, impurezas orgánicas, sales y otras sustancias que por naturaleza o cantidad afecten la resistencia, la permeabilidad, la rigidez, la densidad o la durabilidad de morteros y concretos en estado sólido y fresco. Los áridos conforman entre un 70% y 80% del volumen del concreto, razón por la cual es importante conocer sus propiedades y la influencia de las mismas en las propiedades del concreto para optimizar no solo su uso y explotación, sino también el diseño de mezclas de concreto. Como áridos para la fabricación de concretos pueden emplearse arenas y gravas existentes en yacimientos naturales, rocas machacadas o escorias siderúrgicas apropiadas, así como otros productos cuyo empleo se encuentre sancionado por la práctica o resulte aconsejable como consecuencia de estudios realizados en laboratorio (León & Ramírez, 2010).

Por su tamaño los áridos pueden clasificarse en finos y gruesos determinado por el tamaño de mayor predominio usando como referencia una malla como límite. Se acepta como norma de calidad la especificación ASTM C-33. Esta norma define los requisitos necesarios de graduación y calidad de los áridos fino y grueso que serán manejados para concretos estructurales, por lo que es considerada adecuada para asegurar materiales satisfactorios en hormigón usado en obra civil.

### **Árido fino**

Los áridos finos o arenas es el material que se deriva de la desintegración natural de las rocas, extraída de los ríos, los lagos, depósitos volcánicos o arenas

artificiales. Este debe ser por lo general, químicamente inerte, libre de cualquier recubrimiento y el cual está constituido normalmente por partículas entre 4.75 y 0.075mm.

La granulometría del agregado fino va del diámetro que pasa la malla No. 4 y se retiene en la malla No. 100. Libre de impurezas orgánicas que puedan reducir gravemente la resistencia del concreto, además de estar libres de arcillas u otro material perjudicial más pequeño que pase la malla No. 100.

Para su uso se clasifican las arenas por su tamaño. Para ello, se les hace pasar por unas mallas que van reteniendo los granos más gruesos y dejan pasar los más finos.

Arena fina: es la que sus granos pasan por una malla de 1mm de diámetro y son retenidos por otro de 0.25mm.

Arena media: es aquella cuyos granos pasan por una malla de 2.5mm de diámetro y son retenidos por otro de 1mm.

Arena gruesa: es la que sus granos pasan por una malla de 5mm de diámetro y son retenidos por otro de 2.5mm (Vega, y otros, 2015, pág. 24).

Un agregado fino con partículas de forma redondeada y textura suave se ha demostrado que requiere menos agua de mezclado.

### **Granulometría del árido fino**

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un árido tal como se determinan por el análisis granulométrico. El tamaño de partícula del árido se determina por medio de mallas con abertura cuadrada. Las siete mallas para agregado fino, tienen aberturas que varían desde la malla No. 4 hasta la No. 200. Las trece mallas para el agregado grueso tienen aberturas que varían desde 3/8" hasta 4" (Departamento de Mecánica Estructural de la Universidad Centroamericana José Simeon Cañas, 2015).

Árido fino. (1) Árido que pasa por el tamiz de 9,5 mm (3/8") y que la mayor parte de sus partículas pasa el tamiz de 4,75 mm (No. 4) y son retenidas en su mayoría en el tamiz 75  $\mu$ m (No. 200), o (2) la parte de un árido que pasa por el tamiz de 4,75

mm (No. 4) y es retenido en el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200) (Departamento de Mecánica Estructural de la Universidad Centroamericana José Simeon Cañas, 2015).

Módulo de finura del árido. Factor que se obtiene sumando los porcentajes de material en la muestra, que son más gruesos que cada uno de los siguientes tamices (porcentajes retenidos acumulados) y dividiendo la suma para 100: 150  $\mu\text{m}$  (No. 100), 300  $\mu\text{m}$  (No. 50), 600  $\mu\text{m}$  (No. 30), 1,18 (No. 16), 2,36 mm (No. 8), 4,75 mm (No. 4), 9,5 mm (3/8"), 19,0 mm (3/4"), 37,5 mm (1 1/2"), 75 mm (3"), 150 mm (6").

- Su módulo de finura no debe ser menor de 2.2% ni mayor de 3.2%

Se puede aumentar los porcentajes del retenido acumulado en las cribas #16, #30, #50 y #100 respectivamente, siempre que el contenido del cemento sea mayor de 250kg/m<sup>3</sup> para concreto de aire incluido, o de mayor de 300kg/m<sup>3</sup> para concreto sin aire incluido o bien supliendo la diferencia del material que pasa estas cribas, mediante la adición de un material finamente molido y aprobado (Departamento de Mecánica Estructural de la Universidad Centroamericana José Simeon Cañas, 2015).

Las arenas cuyo módulo de finura es inferior a 2.20, normalmente se consideran demasiado fina e inconvenientes para esta aplicación, porque suelen requerir mayores consumos de pasta de cemento, lo cual repercute adversamente en los cambios volumétricos y en el costo del concreto. En el extremo opuesto, las arenas con módulo de finura de mayor de 3.20 resultan demasiado gruesas y también se les considera inadecuadas, porque tienen a producir mezclas de concreto ásperas, segregables y propensas al sangrado. Se sabe que la tolerancia máxima de variación de los valores del módulo de finura para la aceptación del árido fino es de 0.20 con respecto al módulo de finura empleado en el diseño de finura (Departamento de Mecánica Estructural de la Universidad Centroamericana José Simeon Cañas, 2015).

Especificaciones granulométricas para el árido fino, de acuerdo a la norma ASTM C 33.

Tabla 3

*Limites granulométricos especificados para el árido fino*

GRANULOMETRIA DE AGREGADO FINO			
TAMIZ		%LIMITE SUPERIOR	%LIMITE INFERIOR
(#)	ABERTURA (mm)		
3/8"	9,5	100	100
No. 4	4,75	100	95
No. 8	2,36	100	80
No. 16	1,18	85	50
No. 30	0,6	60	25
No. 50	0,3	30	10
No. 100	0,15	10	2

Fuente: norma ASTM C 33

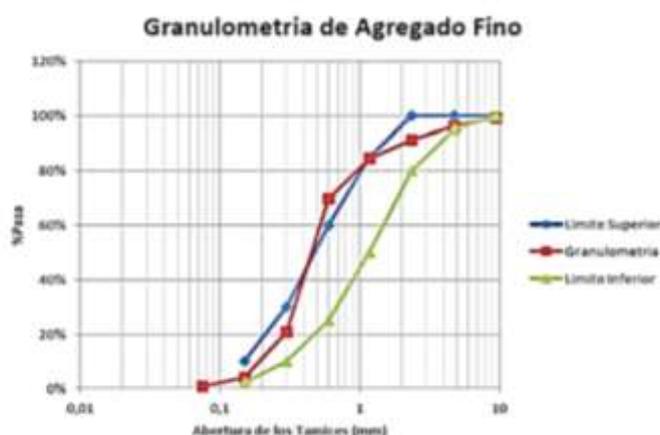


Figura 1 Curva de distribución granulométrica óptima del agregado fino de acuerdo a la Norma ASTM C 33

Fuente: norma ASTM C 33

### **Agregados gruesos (grava)**

En la dosificación de HAR, los agregados requieren una consideración especial, ya que ocupan el mayor volumen de cualquier componente del hormigón, El agregado grueso influirá significativamente en la resistencia y las propiedades estructurales del mismo. Por esta razón, se debe elegir un agregado suficientemente resistente, libre de fisuras o planos débiles, limpio, y libre de recubrimientos en su superficie. Para los hormigones de alta resistencia con fibras metálicas en cuanto a los agregados finos, es aconsejable incorporar mayor cantidad de ellos para reducir el riesgo de segregación, aumentar la cohesión y favorecer la movilidad de las fibras. La movilidad de las fibras

depende del tamaño nominal del agregado grueso y de su proporción. Cuanto mayor sean estos parámetros, menor será la movilidad de las fibras (Departamento de Mecánica Estructural de la Universidad Centroamericana José Simeon Cañas, 2015).

### **2.3.Marco conceptual**

**Puzolana:** Es un material inorgánico, natural o artificial, silicoso o aluminosilicoso, que puede mostrar propiedades aglomerantes cuando se mezcla en presencia de agua e hidróxido de calcio.

**Hormigón:** Material de construcción formado por una mezcla de piedras menudas y un tipo de argamasa (cal, cemento, arena y agua).

**Árido:** Materiales rocosos naturales que se usan para hacer el hormigón; es decir, la grava y la arena,

**Cemento Portland:** Cemento compuesto de una mezcla de caliza y arcilla, que fragua muy despacio y es muy resistente; al secarse adquiere un color semejante al de la piedra de las canteras inglesas de Portland.

### **2.4.Marco legal**

**Norma Ecuatoriana de la Construcción – NEC**

**NEC-SE-HM**

**Estructuras de hormigón armado**

Los áridos empleados en la construcción de estructuras de hormigón armado deben cumplir con la especificación NTE INEN 872 ó ASTM C33. Los áridos empleados para la fabricación de hormigón estructural ligero deben cumplir con la especificación ASTM C330.

El árido fino y grueso para hormigón debe ser limpio, duro, sano y durable, con una distribución granulométrica que se mantenga razonablemente uniforme durante toda la producción. La presencia de sustancias nocivas como: terrones de arcilla,

partículas desmenuzables, partículas menores a 75  $\mu\text{m}$ , carbón, lignito y chert se encuentran limitadas dependiendo del uso que tendrá el hormigón. En el documento NTE INEN 872 ó ASTM C33 se indican los ensayos que se deben ejecutar en el árido y los requisitos que deben cumplir para su aceptación (p. 75).

### Norma ASTM C618-12

Según la Norma de ASTM C618 (American Society for Testing and Materials), existen principalmente dos tipos de cenizas volantes:

Clase C: Las cenizas volantes que se consideran en este grupo presentan propiedades cementicias y puzolánicas, obtenidas de lignitos y carbones subbituminosos, y que deben tener un contenido mínimo de  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  del 50% y un máximo en cal del 20% para poder ser empleados en hormigones.

Clase F: Son las cenizas volantes normalmente obtenidas en la combustión de antracitas y carbones bituminosos, con un contenido mínimo de  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  del 70% en peso y presentan también propiedades puzolánicas (ASTM C618-12, 2012).

Tabla 4

*Especificaciones para las cenizas según la Norma ASTM C618*

	Clase C	Clase F
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	>50%	>70%
CaO	>10%	<10%
$\text{SO}_3$	<5%	<5%
Álcalis disponibles como $\text{NaO}_2$	<1,5%	<1,5%
Pérdida a la incineración (LOI)	<6%	<6%
Humedad	<3%	<3%

Fuente: ASTM C618-12 (2012)

Elaborado por: Díaz Carrillo, Erick (2019)

La utilización de cenizas volantes en la fabricación de hormigón tiene como finalidad la reducción de la cantidad de cemento. La sustitución de una fracción del cemento del hormigón por cenizas volantes resuelve satisfactoriamente este problema.

Así pues, las cenizas volantes pueden utilizarse en el hormigón de dos maneras: como elementos activos, aprovechando su carácter puzolánico, o como elemento inerte, es decir, como árido. Las cenizas se incorporan al hormigón para mejorar la granulometría de la arena, para formar parte del conglomerante como producto cementicio o para ambas finalidades. Tanto si las cenizas volantes se incorporan para sustituir al cemento, o al árido, éstas deben cumplir todas las normas UNE (UNE 83.275/87, UNE 83.415/87) y además la Norma UNE 83.414/90 tiene recomendaciones para la adición de cenizas volantes a los hormigones (ASTM C618, 2012).

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Tipo de investigación

Es de tipo analítica, que consiste fundamentalmente en establecer la comparación de variables entre grupos de estudio y de control, en donde se aprueba o invalida la hipótesis. En este caso se han realizado los ensayos de compresión simple en cilindros de prueba con la incorporación de bagazo de ceniza de caña de azúcar en porcentajes de 5% y 10% en reemplazo del árido fino.

#### 3.2. Enfoque de investigación

El tipo de enfoque es cuantitativo, ya que se han realizado pruebas en un laboratorio de suelos en el que se estima las condiciones de reemplazar un porcentaje del árido fino en la construcción de hormigón hidráulico. Las estimaciones se dan en los cambios observados a los 4, 7 y 14 días de haber empezado el ensayo de cada muestra de cilindros.

#### 3.3. Métodos, técnicas y procedimientos de la investigación

##### 3.3.1. Métodos

**Inductivo:** el método inductivo consiste en profundizar el problema a través del uso de la técnica seleccionada que es el ensayo, logrando así obtener datos relevantes y fehacientes de los diversos entornos expuestos para sobre el concreto hidráulico y su sustitución porcentual del árido fino.

##### 3.3.2. Técnicas

Ensayos en laboratorio para la elaboración de probetas usando cemento portland y añadiendo porcentualmente el CBCA en sustitución del árido fino, con la

finalidad de observar su resistencia a los 4, 7, 14 y 28 días de haber empezado su proceso de prueba.

### 3.3.3. Procedimientos de la investigación

Para la elaboración de las probetas de ensayo se utilizó Cemento Portland Compuesto Clase 30 de resistencia rápida (CPC 30 R). Este cemento corresponde a la clasificación de CPC (Cemento Portland Compuesto),

Los materiales áridos como se les conoce también, considerados en el diseño de la elaboración del cemento hidráulico de una relación  $a/c=0.45$  para esta prueba.

El agregado fino proviene de la desintegración natural o artificial de las rocas. La granulometría va del diámetro que pasa la malla No. 4 y se retiene en la malla No. 100.

#### **Ceniza de bagazo de caña (CBCA)**

Teniendo ya el material agroindustrial (CBCA), obtenido del Ingenio Azucarero del Norte, se le efectuó la prueba de granulometría, en la cual se utilizaron las mallas de número 30, 100, 200. La CBCA que se requirió para la generación de las probetas de concreto fue la que se retiene en la malla 100 y que pasa por la malla 40, con la finalidad de que tenga el tamaño significativo de lo que es una arena de tamaño intermedio.

Tabla 5

#### *Granulometría presentada por la CBCA*

Malla	% retenido
30	10%
100	40%
200	30%
Fondo	20%

Fuente: Ensayo en laboratorio  
Elaborado por: Díaz Carrillo, Erick (2019)

## Agua de mezclado

Se utilizó agua potable de la red local y no se apreció olor, color, ni sabor.

## Proporción de la mezcla de concreto

La proporción de una mezcla es el proceso para calcular las cantidades de los elementos que forman el concreto, para obtener los mejores resultados. Se tomó la decisión de realizar el proporcionamiento mediante el método de volúmenes absolutos.

Tabla 6

### *Características de proporcionamiento de la mezcla de hormigón*

Material	Características
Cemento	Tipo I (CPC 30 R)
Grava	Tamaño nominal $\frac{3}{4}$ (19mm) Peso específico seco en horno = 1283.3 kg/m <sup>3</sup> Porcentaje de absorción = 0.456 Peso volumétrico varillado = 2471.4 kg/m <sup>3</sup>
Arena	Módulo de finura = 2.7 Peso específico seco en horno = 2660 kg/m <sup>3</sup> Porcentaje de absorción = 0.38
Agua	Libre de sólidos en suspensión, sin olor

Fuente: Ensayo en laboratorio

Elaborado por: Díaz Carrillo, Erick (2019)r

Tabla 7

### *Proporcionamiento por volúmenes absolutos*

Componentes	Volumen	Peso
Cemento	0.128	402.22
Agua	0.181	181
Grava	0.33	808.50
Arena	0.361	960.26

Fuente: Ensayo en laboratorio

Elaborado por: Díaz Carrillo, Erick (2019)

## Dosificación de CBCA en la mezcla

Los porcentajes requeridos de CBCA son de 5% y 10% del peso del agregado fino, derivado del proporcionamiento de la mezcla de concreto descrito previamente. Se han elaborado tres diferentes mezclas, las dos de los porcentajes de sustitución y una más sin ninguna modificación de los componentes iniciales para la elaboración del hormigón hidráulico la cual va servir de parámetro de comparación.

Tabla 8

*Características de las probetas para la sustitución del árido fino*

Mezcla	Árido fino (porcentaje)	CBCA (porcentaje)	Nomenclatura
A	100%		A (100AF)
B	95%	5%	B (95AF/5CBCA)
B	90%	10%	C (90AF/10CBCA)

Fuente: Ensayo en laboratorio  
Elaborado por: Díaz Carrillo, Erick (2019)

Tabla 9

*Dosificación por m<sup>3</sup> para elaboración del hormigón hidráulico*

MATERIAL	A(100AF)	B(95AF/5CBCA)	C(90AF/10CBCA)
Cemento	402.22 kg		
Agua	181 kg		
Árido grueso	808.50 kg		
Árido fino	960.26 kg	912.247 kg	864.234 kg
CBCA	-	48.013 kg	96.026 kg

Fuente: Ensayo en laboratorio  
Elaborado por: Díaz Carrillo, Erick (2019)

## Elaboración de las probetas de ensayo

Para la elaboración de las probetas de hormigón hidráulico se utilizaron moldes cilíndricos de lámina rígida, con dimensiones de 15cm de diámetro y 30cm de altura, con limpieza total con el objetivo de quitar los residuos para evitar la contaminación del concreto, al igual de las posibles imperfecciones que se puedan dar en las probetas. Se

aplicó una película de aceite en el interior del molde, para un desmolde más rápido de las probetas, para evitar la adherencia entre la lámina y el concreto.

### **Elaboración de la mezcla y colado de las probetas**

Las herramientas con la que se contó para efectuar la mezcla fue una concretara de capacidad para un saco de cemento, motor a gasolina, tomando en cuenta el tener cuidado en la descarga de las mezclas y que no se contaminen para las pruebas.

La elaboración de la mezcla se inició con el pesaje de los materiales a manipularse conforme al proporcionamiento, en donde se humedeció el interior de la concretara para evitar alterar el contenido de agua de la mezcla, y se procedió a incorporación de los materiales a la concretara, donde luego se inicia introduciendo una parte de la cantidad de agua total, después el agregado grueso, el agregado fino con CBCA según el porcentaje determinado para el estudio, el cemento y el resto del agua; hay que tener en cuenta que entre cada incorporación se dejó unos minutos revolver para obtener la mezcla requerida.

### **Colado de las probetas**

Una vez formada la mezcla para evitar la segregación, se depositó el hormigón mezclado por la concretara en una carretilla limpia y húmeda, en donde de forma inmediata se inició con el llenado de los moldes según los parámetros asignados para cada una. Los pasos son los siguientes:

1.-Colocar el molde sobre una superficie horizontal, rígida, nivelada y libre de vibraciones.

2.- Verter el hormigón en el interior del molde, moviendo el cucharón alrededor del borde del molde para asegurar la distribución uniforme del hormigón y una separación mínima mientras se descarga el hormigón.

3.- Llenar el molde en tres capas de volumen igualitario. En la última capa, añadir la cantidad de hormigón suficiente para que el molde quede lleno luego de la

compactación. Ir ajustando el sobrante o faltante del hormigón con una fracción de mezcla y completar el número de golpes faltantes.

4.- Compactar cada capa con 25 penetraciones de la varilla usando la punta semiesférica, con distribución uniforme de las penetraciones.

5.- Compactar la capa inferior en todo su espesor. Compactar la segunda y tercera capa, penetrando 1 pulgada (25 mm) en la capa anterior.

6.- Luego de compactar cada capa, golpear los lados del molde ligeramente de 10 a 15 veces con el mazo para la liberación de las burbujas de aire que hubiesen quedado atrapadas durante el proceso de vertimiento de la mezcla.

7.- Retirar el exceso de concreto con la varilla de compactación, haciendo un movimiento a ras.

### **Curado de las probetas**

El curado consiste en el mantenimiento de contenidos de humedad y de temperaturas satisfactorios en el hormigón durante un periodo determinado seguidamente después de la colocación y acabado, con la intención que se desarrollen las propiedades requeridas. Al mezclar cemento Portland con agua, se da la reacción química llamada hidratación. El grado hasta el cual esta hidratación se llegue a completar, tiene su influencia en la resistencia, la durabilidad y en la densidad del hormigón elaborado.

Los objetivos de este proceso son:

1.- Prevenir la pérdida de humedad del hormigón.

2.- Mantener una temperatura favorable en el hormigón durante un período establecido.

Una vez coladas las probetas se dejaron transcurrir 24 horas para poder desmoldarlas, y que de forma inmediata se colocaron a un tanque lleno de agua, para iniciar el proceso de curado por inmersión. Las probetas permanecieron en inmersión en posición vertical.

### **3.4. Análisis de los resultados**

#### **Resistencia a la compresión simple**

La resistencia a la compresión simple del hormigón es la prueba más común de desempeño que se emplea para la valoración general de los edificios y otras estructuras. Esta prueba se mide a partir de la carga de ruptura, tanto desde el punto de vista de durabilidad, como de la capacidad de resistencia mecánica dividida por el área de la sección que resiste a la carga.

La prueba se realizó con una prensa eléctrica con una capacidad de 120 toneladas. Las pruebas se ejecutaron a los 4, 7, 14 y 28 días después de su elaboración, para esto se tuvieron que elaborar 12 muestras para las edades de 4 y 7 días y 4 para la edad de 14 días y 6 de 28 días.

## Pruebas con sustitución del árido fino

Tabla 10

*Pruebas con sustitución e árido fino al 5% y 10%*

(14) Cilindros	Fecha de fundición	Fecha de rotura	Edad (días)	Carga KN	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Específica (kg/cm <sup>2</sup> )	%	Masa (gr.)	Diám. D (cm)	Altura H (cm)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	H/D	Fac. correc.	Tipo rotura	Elemento	Hormigonera
1	4/4/2019	8/4/2019	4	78.55	176.72	45.33	210	21.58	11,986.00	15.00	30.10	2,253.38	2.01	1.00	3	Sustitutivo 5% del árido fino	CONCRETERA
2	4/4/2019	8/4/2019	4	73.45	179.08	41.82	210	19.92	12,174.00	15.10	30.20	2,251.03	2.00	1.00	3		
3	4/4/2019	11/4/2019	7	142.63	176.72	82.30	210	39.19	12,099.00	15.00	30.00	2,282.21	2.00	1.00	2		
4	4/4/2019	11/4/2019	7	149.38	176.72	86.20	210	41.05	12,126.00	15.00	30.10	2,279.70	2.01	1.00	4		
5	4/4/2019	18/4/2019	14	175.89	176.72	101.49	210	48.33	11,896.00	15.00	30.00	2,243.91	2.00	1.00	3		
6	4/4/2019	2/5/2019	28	199.70	179.08	113.71	210	54.15	11,968.00	15.10	30.10	2,220.29	1.99	1.00	3		
7	4/4/2019	2/5/2019	28	198.18	179.08	112.85	210	53.74	11,956.00	15.10	30.10	2,218.07	1.99	1.00	4		
8	4/4/2019	8/4/2019	4	78.65	179.08	44.78	210	21.33	12,024.00	15.10	30.20	2,223.30	2.00	1.00	5	Sustitutivo 10% del árido fino	CONCRETERA
9	4/4/2019	8/4/2019	4	81.60	176.72	47.09	210	22.42	12,119.00	15.00	30.30	2,263.34	2.02	1.00	3		
10	4/4/2019	11/4/2019	7	152.19	179.08	86.66	210	41.27	11,996.00	15.10	30.20	2,218.12	2.00	1.00	3		
11	4/4/2019	11/4/2019	7	155.94	179.08	88.80	210	42.28	12,125.00	15.10	30.10	2,249.42	1.99	1.00	3		
12	4/4/2019	18/4/2019	14	178.17	176.72	102.81	210	48.96	12,088.00	15.00	30.00	2,280.13	2.00	1.00	4		
13	4/4/2019	2/5/2019	28	189.60	176.72	109.41	210	52.10	11,960.00	15.00	30.10	2,248.49	2.01	1.00	6		
14	4/4/2019	2/5/2019	28	191.42	176.72	110.46	210	52.60	12,044.00	15.00	30.10	2,264.28	2.01	1.00	3		

Fuente: Ensayo en laboratorio

Elaborado por: Díaz Carrillo, Erick (2019)

### Prueba de compresión simple a probeta de concreto a edad de los 4 días

Se muestran los resultados sobre las probetas de las mezclas A, B y C, a la edad de 4 días del hormigón. Dando a conocer el comportamiento que tienen, los tres diferentes concretos.

Tabla 11

*Prueba de compresión simple a la probeta de edad de 4 días*

Mezcla de concreto	No de probeta	4 Días de elaboración del concreto		
		Carga (KN)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje que alcanza (%)
<b>A</b>				
100 % AF Prueba control	1	131.88 KN	75.09 kg/cm <sup>2</sup>	35.76%
<b>B</b>				
95% AF 5% CBCA	1	78.55 KN	45.33 kg/cm <sup>2</sup>	21.58%
	2	73.45 KN	41.82 kg/cm <sup>2</sup>	19.92%
<b>C</b>				
90% AF 10% CBCA	8	78.65 KN	44.78 kg/cm <sup>2</sup>	21.33%
	9	81.60 KN	47.09 kg/cm <sup>2</sup>	22.42%

Fuente: Ensayo en laboratorio

Elaborado por: Díaz Carrillo, Erick (2019)

Se observa que el hormigón con el 100% de sus componentes normales tiene mayor resistencia a diferencia de las muestras B y C que tienen una sustitución del árido fino por CBCA del 5% y 10% respectivamente.

### Prueba de compresión simple a probeta de hormigón a edad de los 7 días

En esta fase de la prueba de compresión a los 7 días de elaboración de las probetas, el comportamiento que tienen los distintos cilindros de hormigón en estudio, continúan con la misma línea de tendencia que los de la prueba a los 4 días.

Tabla 12

*Prueba de compresión simple a la probeta de edad de 7 días*

Mezcla de concreto	No de probeta	7 Días de elaboración del concreto		
		Carga (KN)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje que alcanza (%)
<b>A</b>				
100 % AF Prueba control	2	273.20 KN	155.57 kg/cm <sup>2</sup>	74.08%
<b>B</b>				
95% AF 5% CBCA	3	142.63 KN	82.30 kg/cm <sup>2</sup>	39.19%
	4	149.38 KN	86.20 kg/cm <sup>2</sup>	41.05%
<b>C</b>				
90% AF 10% CBCA	10	152.19 KN	86.66 kg/cm <sup>2</sup>	41.27%
	11	155.94 KN	88.80 kg/cm <sup>2</sup>	42.28%

Fuente: Ensayo en laboratorio  
Elaborado por: Díaz Carrillo, Erick (2019)

**Prueba de compresión simple a concreto a la edad de 14 días**

Se muestran los resultados de la prueba a compresión simple sobre las probetas determinadas para los 14 días.

Tabla 13

*Prueba de compresión simple a la probeta de edad de 14 días*

Mezcla de concreto	No de probeta	14 Días de elaboración del concreto		
		Carga (KN)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje que alcanza (%)
<b>A</b>				
100 % AF Prueba control	3	317.89 KN	183.43 kg/cm <sup>2</sup>	87.35%
<b>B</b>				
95% AF 5% CBCA	5	175.89 KN	101.49 kg/cm <sup>2</sup>	48.33%
<b>C</b>				
90% AF 10% CBCA	12	178.17 KN	102.81 kg/cm <sup>2</sup>	48.96%

Fuente: Ensayo en laboratorio  
Elaborado por: Díaz Carrillo, Erick (2019)

Según los datos obtenidos luego de haber realizado la última prueba de resistencia con las probetas de los 14 días, se tiene como resultado que la diferencia

sigue marcada entre la mezcla A con respecto a los resultados de las mezclas B y C; mientras que la comparación entre las mezclas entre B y C no son muy amplias, pero tiene mejores resultados en compresión la mezcla C.

### **Prueba de compresión simple a concreto a la edad de 28 días**

Se muestran los resultados de la prueba a compresión simple sobre las probetas determinadas para los 28 días. En el comportamiento de los diferentes concretos existe una variabilidad en comparación a los resultados a los 14 días.

Tabla 14

*Prueba de compresión simple a la probeta de edad de 28 días*

Mezcla de concreto	No de probeta	28 Días de elaboración del concreto		
		Carga (KN)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje que alcanza (%)
<b>A</b>				
100 % AF Prueba control	4	368.90 KN	212.87 kg/cm <sup>2</sup>	101.37%
<b>B</b>	6	199.70 KN	113.71 kg/cm <sup>2</sup>	54.15%
95% AF 5% CBCA	7	198.18 KN	112.85 kg/cm <sup>2</sup>	53.74%
<b>C</b>	13	189.60 KN	109.41 kg/cm <sup>2</sup>	52.10%
90% AF 10% CBCA	14	141.42 KN	110.46 kg/cm <sup>2</sup>	52.60%

Fuente: Ensayo en laboratorio

Elaborado por: Díaz Carrillo, Erick (2019)

La resistencia de los concretos se incrementó, notándose que en las probetas del concreto A (100AF) fue la de mejor promedio frente a los concretos de la muestra B (95% AF/5% CBCA) y de la muestra C (90% AF/10% CBCA). Se puede observar que la evolución de los cilindros de muestras con la adición de CBCA es más lento frente a la que se mantuvo el árido fino.

### **Ensayo de densidad**

En la prueba de densidad en los cilindros de hormigón a la edad de 28 días de elaboración manifiestan comportamientos diferentes, influyendo el reemplazo de ceniza

de gabazo de caña de azúcar (CBCA), así como el valor porcentual de la cantidad que fue sustituida del árido fino (5% y 10%).

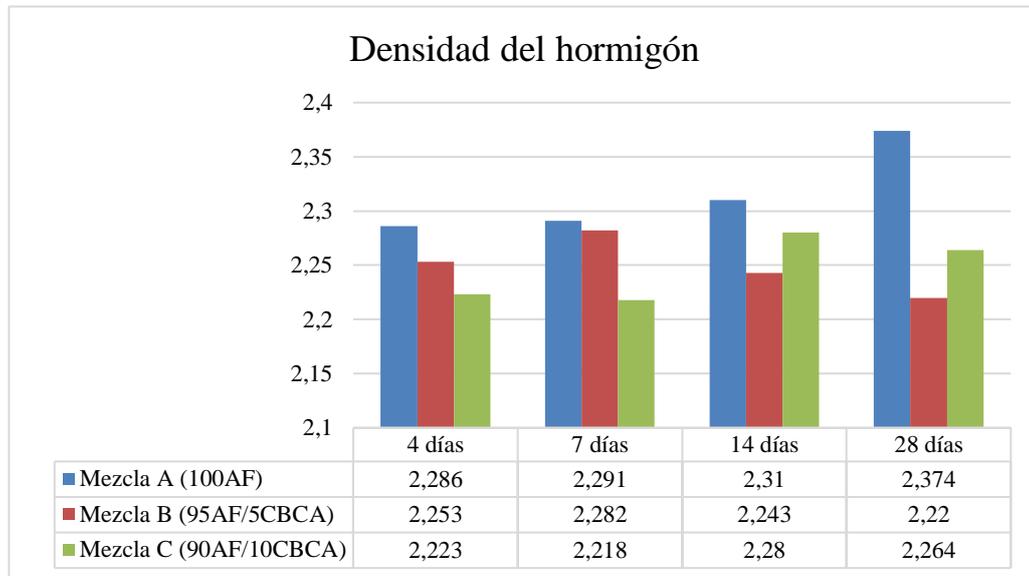


Figura 2 Densidad de los cilindros de hormigón de prueba. Tomado de Ensayo en laboratorio  
Elaborado por: Díaz Carrillo, Erick. (2019)

## **CAPÍTULO IV**

### **4. INFORME FINAL**

#### **4.1. Discusión de resultados**

En el desarrollo de este proyecto de investigación analítica se elaboraron tres tipos de mezclas de hormigón, A(100% árido fino), en donde a este hormigón se lo elaboró como toma de referencia de acuerdo con la evolución de los otros concretos reformados de manera porcentual en sustitución del árido fino (arena), B(95AF/5CBCA) tipo de hormigón que cuenta con el 95 % del árido fino y 5% en sustitución de CBCA y la mezcla C(90AF/10CBCA), el cual tiene un reemplazo del 10% de su componente del árido fino por CBCA.

Respecto a las pruebas de resistencia con la compresión simple, se obtuvieron resultados que la sustitución parcial del árido fino por CBCA, no fue beneficiosa, ya que los cilindros de hormigón con el 5% y 10% de CBCA consiguieron resistencias menores con respecto a un hormigón elaborado de forma convencional. Sin embargo, el concreto con un 10% de CBCA a los 14 días desarrolló una resistencia mejor en comparación a la del 5% de CBCA, pero en una mínima diferencia.

Por otro lado, en los resultados de ensayo de densidad aparente, se evidenció que esta es contrariamente proporcional a la cantidad de árido fino que fue sustituida por CBCA.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

Dentro de las conclusiones de la investigación se tiene la valoración de las características mecánicas en la creación de hormigón, mostrando que las resistencias disminuyen, al momento de hacer uso de los materiales de desechos agroindustriales como la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) en sustitución porcentual al árido fino, que al haber estudiado con cambios del 5% y 10% estos no tienen resultados favorables al de hormigón convencional.

También se han evaluado los resultados obtenidos de las probetas, para la factibilidad de la utilización de la ceniza del bagazo de caña de azúcar (CBCA) como sustitutivo porcentual de árido fino para el nuevo hormigón, el cual no tiene un resultado óptimo.

Los ensayos realizados dieron como resultado que las probabilidades de alternativas de mezcla de hormigón hidráulico simple con distintos porcentajes de CBCA en la sustitución de árido fino (arena) son nulos, puesto que los datos expuestos sobre lo generado con probetas con sustitución del 5% y 10% de este elemento no fueron favorables porque no ayudaron a tener una mayor resistencia en el hormigón.

## **Recomendaciones**

- No se deben realizar otro tipo de subpruebas sobre esta propuesta de sustitución del árido fino por un porcentaje de CBCA, en función que los resultados mostrados en el proyecto han sido negativos sobre el comportamiento del material puzolánico para la elaboración de hormigón.
- El material de CBCA no debe ser empleado como sustituto del árido fino ni de cemento con el que se elabora el hormigón porque su comportamiento en las características mecánicas es negativo.
- Realizar nuevos estudios con otros materiales puzolánicos de origen orgánicos para elaboración de hormigón hidráulico.

## BIBLIOGRAFÍA

- ASTM C618. (2012). *STANDARD AMERICANO PARA ENSAYOS DE MATERIALES*. New Jersey: astm.
- ASTM C618-12. (2012). *Historical Standard: Especificación normalizada para Ceniza Volante de Carbón y Puzolana Natural en Crudo o Calcinada para Uso en Concreto*. Obtenido de ASTM C618-12: <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/C618-12-SP.htm>
- Barbudo, M. a. (2004). *El cemento Portland: fabricacion y expedicion*. Universidad de Alicante, 2004.
- CEHOPU. (4 de Abril de 2019). *1796-1844 Desarrollo de los cementos naturales e invención del cemento Portland artificial*. Obtenido de CEHOPU: [http://www.cehopu.cedex.es/hormigon/temas/C32.php?id\\_tema=75](http://www.cehopu.cedex.es/hormigon/temas/C32.php?id_tema=75)
- Chura, E. (21 de Febrero de 2014). *Origen del cemento*. Obtenido de SCRIBD: <https://es.scribd.com/document/208418433/Origen-Del-Cemento>
- Cortabarra, J., & Márquez, I. (2014). *Labores auxiliares de obra. EOCB0209*. Málaga: IC Editorial.
- Departamento de Mecánica Estructural de la Universidad Centroamericana José Simeon Cañas. (2015). Análisis de tamaño de partículas por tamizado en agregado fino y grueso y determinación de material más fino que el tamiz No. 200 (75 um) en agregado mineral por lavado. *Laboratorio de Materiales de Construcción*, 1-15.
- DICYT. (13 de Febrero de 2014). *Bagazo de caña, posible componente de concreto hidráulico*. Obtenido de Agencia Leroamericana para la difusión de la Ciencia y Tecncología: <http://www.dicyt.com/noticias/bagazo-de-cana-posible-componente-de-concreto-hidraulico>
- Guerrero, G., & María, G. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: Grupo Editorial Patria.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación. 6ta edición*. México D.F.: McGrall Hill.

- IECA. (4 de Abril de 2019). *Historia del cemento*. Obtenido de Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones: <https://www.ieca.es/historia-del-cemento/>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (26 de Marzo de 2019). *NTE INEN*. Obtenido de NTE INEN: <http://www.normalizacion.gob.ec/normas-oficializadas/>
- León, M., & Ramírez, F. (2010). Caracterización morfológica de agregados para concreto mediante el análisis de imágenes. *Revista Ingeniería de Construcción Vol. 25 N°2*, 215-240.
- Martín, A. (2015). *UF0309 - Análisis de proyectos de construcción*. Madrid: Editorial Elearning.
- Ojeda-Farías, O., Mendoza-Rangel, J., & Baltazar-Zamora, M. (2018). Influencia de la inclusión de ceniza de bagazo de caña de azúcar sobre la compactación, CBR y resistencia a la compresión simple de un material granular tipo subrasante. *Revista ALCONPAT*, 8 (2), 194-208.
- Rodríguez-Mora, O. (2003). *Morteros: guía General*. Santiago de Chile: AFAM.
- Trujillo, J. (2014). *Pastas, morteros, adhesivos y hormigones. EOCB0109*. Málaga: IC Editorial.
- Vega, J., Villar, M., Martínez, J., Manjón-Cabeza, F., López, N., López, M., . . . González, J. (2015). *Peones Del Ayuntamiento de Sevilla*. Sevilla: Editorial MAD.
- Vidal, D., Torres, J., & González, L. (2014). Ceniza de bagazo de caña para la elaboración de materiales de construcción: Estudio preliminar. *Revista de Física Momento*, 14-23.

# ANEXOS

## Anexo 1 Resultados de elaboración de pruebas



**CONSTRULADESA**  
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

**PRUEBA A LA COMPRESIÓN  
SIMPLE (CILINDROS)  
ASTM C39**

Cliente: DL 230X 23A1  
 Obra: EDIFICIO DEL HONORADO HONRABLE CATEDRADO LA CÁMERA DE SACROS DE CÁMERA ANEXO (CON) SUSTITUTO DEL RÍO YUNO  
 Proyecto:   
 Fecha: 02/04/2019 Estado:

TIPOS DE ROTURA



(#) Cilindros	Area (cm²)	Fecha de fundición	Fecha de ensayo	Edad (días)	Carga (KN)	Area (cm²)	Resistencia (MPa) (ASTM)	Resistencia (MPa) (EN 12518)	%	Marca (MPa)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Resistencia (kg/cm²)	H/D	Porcentaje	Tipos rotura	Elemento	Ubicación	Estado	Integración Control de Calidad	Responsable
1		06/04/2019	06/04/2019	4	573.88	176.38	32.53	32.53	95.76	32.53	17.71	32.53	32.53	1.00	1.00	4					
2		06/04/2019	06/04/2019	7	275.20	176.38	32.53	32.53	95.76	32.53	17.71	32.53	32.53	1.00	1.00	5	patón				CONSTRULADESA
3		06/04/2019	06/04/2019	14	275.20	176.38	32.53	32.53	95.76	32.53	17.71	32.53	32.53	1.00	1.00	6					
4		06/04/2019	06/04/2019	28	300.50	176.38	32.53	32.53	95.76	32.53	17.71	32.53	32.53	1.00	1.00	7					



Revisión de Borrador: 02  
 Fecha: 01/01/19

Pruebas en el laboratorio “Construladesa” con muestras de hormigón patrón



**CONSTRULADESA**  
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

**PRUEBA A LA COMPRESIÓN  
SIMPLE (CILINDROS)  
ASTM C39**

**Solicitante:** Sr. ERIC DIAZ  
**Obra:** ESTUDIO DEL HORMIGÓN HERRÁLCUL UTILIZANDO LA CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR COMO SUSTITUTO DEL ÁRIDO FINO  
**Localidad:**  
**Fecha:** 04/01/2018 **Contrato:**



(18) Cilindros	Rev. (cm)	Fecha de fundición	Fecha de rotura	Edad (días)	Carga KN	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (MPa/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Especifica (MPa/cm <sup>2</sup> )	f <sub>c</sub>	Masa (gr.)	Díam. Ø (cm)	Altura H (cm)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	H/D	Pes. correcc.	Tipos rotura	Elemento	Utilización	Abastec.	Temperatura Control Ambiental	Hormigón	
1		04/abr/2018	08/abr/2018	4	76.55	176.72	43.33	210	21.58	11,896.00	15.00	30.55	1,253.38	2.03	1,000	3	SUSTITUTO 5% DEL ÁRIDO FINO				CONCRETO	
2		04/abr/2018	08/abr/2018	4	73.45	179.08	41.02	210	19.52	12,174.00	15.10	30.20	1,251.03	2.00	1,000	3						
3		04/abr/2018	11/abr/2018	7	142.63	176.72	80.36	210	39.33	12,099.00	15.00	30.00	1,262.21	2.00	1,000	2						
4		04/abr/2018	11/abr/2018	7	149.38	176.72	84.58	210	41.05	12,126.00	15.00	30.20	1,279.79	2.01	1,000	4						
5		04/abr/2018	18/abr/2018	14	135.89	176.72	76.95	210	48.33	11,896.00	15.00	30.00	1,243.95	2.00	1,000	2						
6		04/abr/2018	02/may/2018	28	109.35	179.08	61.05	210	54.05	11,960.00	15.20	30.10	1,220.29	1.99	1,000	3						
7		04/abr/2018	02/may/2018	28	108.58	179.08	60.63	210	53.74	11,960.00	15.10	30.10	1,218.07	1.99	1,000	4						
8		04/abr/2018	04/jul/2018	91	220.02	176.72	124.56	210	66.46	11,998.00	15.00	30.10	1,142.84	2.01	1,000	5						
9		04/abr/2018	08/abr/2018	4	76.55	179.08	42.74	210	21.23	12,024.00	15.10	30.20	1,223.30	2.00	1,000	0	SUSTITUTO 10% DEL ÁRIDO FINO				CONCRETO	
10		04/abr/2018	08/abr/2018	4	81.60	176.72	46.23	210	22.42	12,119.00	15.00	30.30	1,263.14	2.03	1,000	3						
11		04/abr/2018	11/abr/2018	7	152.29	179.08	85.06	210	41.27	11,996.00	15.10	30.20	1,218.12	2.00	1,000	3						
12		04/abr/2018	11/abr/2018	7	135.94	179.08	75.90	210	42.28	12,126.00	15.10	30.10	1,249.42	1.99	1,000	3						
13		04/abr/2018	18/abr/2018	14	178.17	176.72	101.41	210	49.46	12,098.00	15.00	30.00	1,280.13	2.00	1,000	4						
14		04/abr/2018	02/may/2018	28	189.86	176.72	107.43	210	52.10	11,960.00	15.00	30.10	1,248.40	2.01	1,000	4						
15		04/abr/2018	02/may/2018	28	191.47	176.72	110.46	210	52.80	12,044.00	15.00	30.10	1,264.28	2.01	1,000	3						
16		04/abr/2018	04/jul/2018	91	205.27	176.72	116.43	210	58.39	11,990.00	15.00	30.10	1,113.25	2.03	1,000	5						

**CONSTRULADESA**  
SUELOS Y HORMIGONES S.A.  
Ing. David Wilton Revilla Lagos  
Jefe de LABORATORIOS

Revisión de formato: 02  
Fecha: 01/01/18

Pruebas en el laboratorio "Construladesa" con muestras de hormigón con reemplazo del árido fino al CBCA del 5% y 10%

Anexo 2 Fotos



Máquina procesadora de CBCA



Inspección de CBCA, para recolectar CBCA seco y CBCA húmedo



Tolva de ceniza, recolección de material en volqueta para abono del sembrío de caña de azúcar



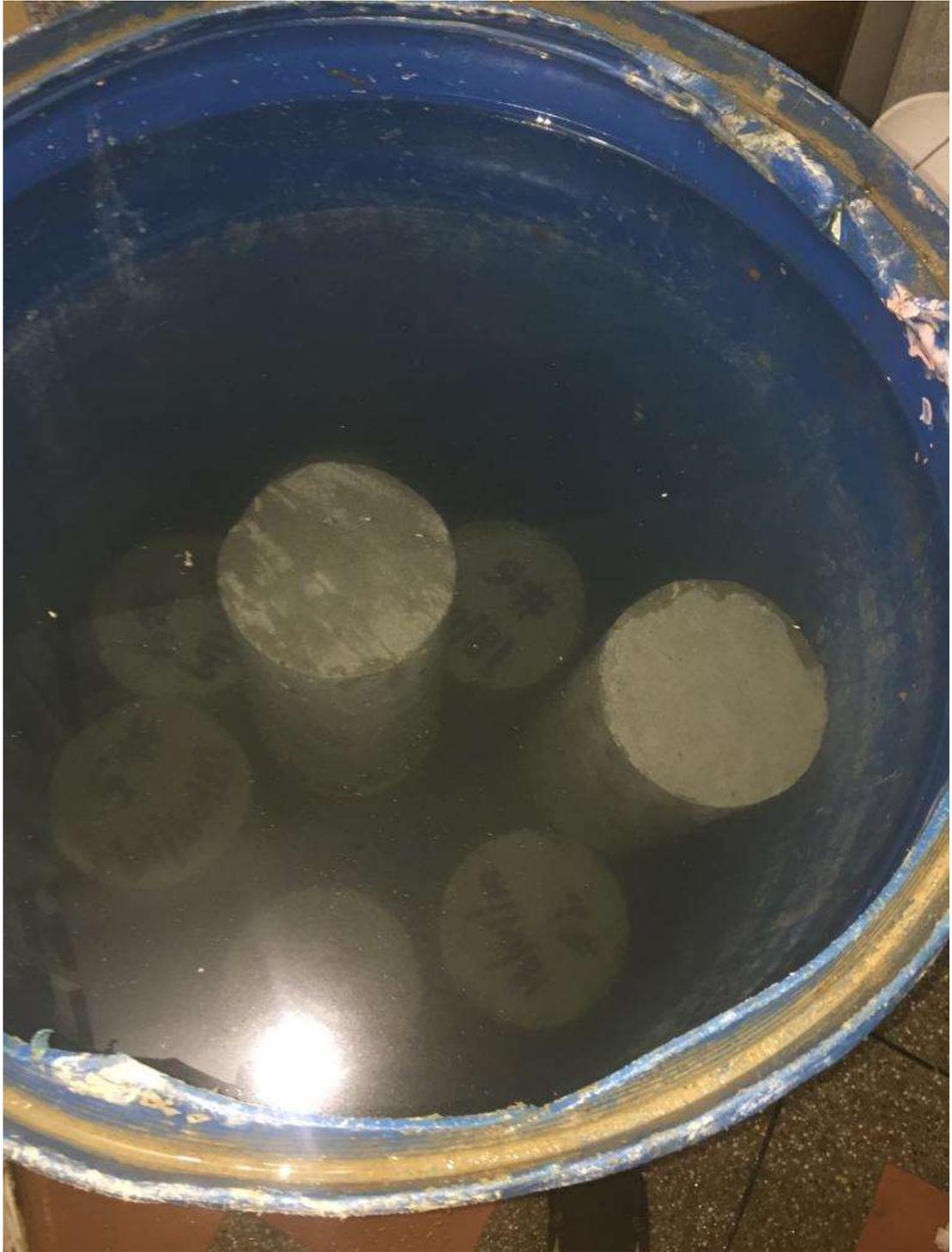
Tolva de ceniza de bagazo de caña de azúcar



Recolección de CBCA en Ingenio Azucarero del Norte



Elaboración de muestra de hormigones con porcentajes del 5% y 10% del CBCA remodelando porcentualmente al árido fino.



Curado de probetas (en agua)



Extracción de probetas



Extracción de probetas con fechas de elaboración



Peso de cilindro, antes de rotura a compresión



Colocación de cilindro en máquina de compresión simple



Rotura de cilindro en máquina de compresión simple



Cilindro, tipo de rotura #2