



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

CAMPUS I

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

TESIS

Que para obtener el grado de Maestro en Ingeniería con Formación en Construcción

Presenta:

Rodrigo Prot Hernández C110062

Director de Tesis:

Mtro. Jesús Alexander Zea Estrada

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; abril de 2024





Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
15 de abril del 2024
Oficio No. F.I.01.661/2024

C. RODRIGO PROT HERNÁNDEZ
EGRESADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CON FORMACIÓN EN CONSTRUCCIÓN
PRESENTE.

Con base en el Reglamento de Evaluación Profesional para los egresados de la Universidad Autónoma de Chiapas, y habiéndose cumplido con las disposiciones en cuanto a la aprobación por parte de los integrantes del jurado en el contenido de su Tesis Titulada:

“ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA ADICIÓN DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA COMO FILLER PARA PRODUCIR CONCRETOS AUTOCONSOLIDANTES”.

CERTIFICO el **VOTO APROBATORIO** emitido por este jurado, y autorizo la entrega de tesis digital elaborada a través del Programa Institucional para la Obtención del Grado Académico (PIGA), para que sea sustentado en su Examen de grado de Maestro en Ingeniería con Formación en Construcción.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE
“POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR”


DR. OMAR ANTONIO DE LA CRUZ COURTOIS
DIRECTOR



 Ccp. Dr. Humberto Miguel Sansebastián García. Coordinador de Investigación y Posgrado. Facultad de Ingeniería, Campus I. UNACH.
Archivo/minutario
OACC/HMSG/tcpg*





Código: FO-113-09-05

Revisión: 0

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LA TESIS DE TÍTULO Y/O GRADO.

El (la) suscrito (a) Rodrigo Prot Hernández, Autor (a) de la tesis bajo el título de "Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.," presentada y aprobada en el año 2024, como requisito para obtener el título o grado de Maestro en Ingeniería con Formación en Construcción, autorizo a la Dirección del Sistema de Bibliotecas Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH), a que realice la difusión de la creación intelectual mencionada, con fines académicos para que contribuya a la divulgación del conocimiento científico, tecnológico y de innovación que se produce en la Universidad, mediante la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Consulta del trabajo de título o de grado a través de la Biblioteca Digital de Tesis (BIDITE) del Sistema de Bibliotecas de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH) que incluye tesis de pregrado de todos los programas educativos de la Universidad, así como de los posgrados no registrados ni reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.
- En el caso de tratarse de tesis de maestría y/o doctorado de programas educativos que sí se encuentren registrados y reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), podrán consultarse en el Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Chiapas (RIUNACH).

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a los 17 días del mes de abril del año 2024.

Rodrigo Prot Hernández
Nombre y firma del Tesista o Tesistas

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Agradecimientos

A Dios por bendecirme e iluminarme en cada una de mis acciones para llevar a cabo este proyecto, que sin duda ha sido un objetivo durante varios años, y finalmente se logró concluir.

A mis padres, por siempre brindarme su apoyo en cualquier momento de la vida, por guiarme y aconsejarme en seguir terminando más objetivos académicos, a superarme y ser mejor día a día.

Al Mtro. Jesús Alexander Zea Estrada, por brindarme su apoyo, conocimiento y tiempo para poder concluir este trabajo de investigación.

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Dedicatorias

A mi familia por siempre estar presentes en todos los momentos importantes en mi vida, por brindarme su apoyo y por siempre hacerme creer, que los objetivos se pueden lograr a base de trabajo y esfuerzo.

Dedicatoria especial para la persona que sin lugar a dudas vino a cambiar mi vida para bien, que ha sido mi inspiración motor y luz para salir adelante y ser mejor día con día, al que con una sola sonrisa y un simple: te amo, ha hecho que quiera ser la mejor persona del mundo, a mi hijo: Rodrigo Maximiliano.

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Índice General

Resumen.....	13
Introducción.....	15
Planteamiento del problema.....	16
Justificación.....	16
Antecedentes.....	17
Objetivos.....	17
Objetivo general.....	17
Objetivos específicos.....	18
Hipótesis.....	18
1. Marco Teórico.....	20
1.1 Generalidades del concreto.....	20
1.2 Manufactura del cemento portland.....	20
1.3 Componentes del cemento portland.....	21
1.4 El fenómeno de hidratación del cemento.....	21
1.5 Aditivos químicos.....	22
1.6 Adiciones en el cemento.....	22
1.7 Filler.....	23
1.8 Tipos de concreto.....	23
1.8.1 Concreto con vibrado convencional.....	23
1.8.2 Concreto autonivelante.....	23
1.8.3 Concreto autoconsolidante.....	24
1.9 Concretos ternarios.....	25
1.10 Diseño, elaboración.....	25
1.10.1 Proporcionamiento de mezclas de concreto.....	26
1.10.2 Caracterización de materiales para el diseño de mezclas.....	26
1.10.3. Diseño de mezclas.....	26
1.11. Pruebas al concreto autoconsolidante en estado fresco.....	27
1.11.1 Ensayo de flujo de asentamiento (1) y Ensayo de T 50cm (2 (EFNARC, 2002)).....	27

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

1.11.2 Ensayo de anillo J (3)	30
1.11.3 Ensayo de Caja en L (6).	33
1.12 Criterios de trabajabilidad para el HAC en estado fresco.....	35
2. Metodología Experimental.....	38
2.1.- Método Utilizado para la Dosificación.....	38
2.2 Características de los componentes del CA.....	39
3. Resultados y análisis.....	48
3.1.- Proceso de elaboración de concreto autoconsolidante.....	48
3.1.1. Ensayo No. 1 “Muestra fluida”.....	48
3.1.2. Ensayo No. 2 “Muestra con CBC (5%) respecto al cemento”	55
3.1.3. Ensayo No. 3 “Muestra con CBC (10%) respecto al cemento”	60
3.1.4. Ensayos No. 4 “Muestra con el 15% de CBC”	65
3.1.5. Ensayo No. 5 “Muestra con el 20% de CBC”	69
3.1.6. Ensayo No.6 “Muestra con el 25 % de CBC”	74
3.2.- Análisis de resultados.....	78
3.2.1. Pruebas de concreto en estado fresco.....	78
3.3. Pruebas de concreto para resistencia mecánica.	82
3.3.1. Muestra de control.	83
3.3.2. Muestra fluida 2% de aditivo	84
3.3.3. Muestra con el 5 % de CBC.....	85
3.3.4. Muestra con el 10 % de CBC.....	86
3.3.5. Muestra con el 15 % de CBC.....	87
3.3.6. Muestra con el 20% de CBC.....	88
3.3.7. Muestra con el 25 % de CBC.....	89
3.4 Resistencia a compresión de todas las muestras	90
4. Conclusiones.....	92
Recomendaciones.....	93
Referencias Bibliográficas.....	94

Índice de Tablas

Tabla 1. Criterios de aceptación para el concreto autoconsolidante.....	36
Tabla 2. Sugerencia del contenido de finos de la ACI para 1 m ³ de concreto.....	38
Tabla 3. Valores recomendados para la dosificación de un concreto autoconsolidante según la ACI (ACI, 2007).....	39
Tabla 4. Granulometría de la arena.....	41
Tabla 5. Propiedades de la Grava 1/2”.....	43
Tabla 6. Composiciones de la Ceniza de Bagazo de Caña.....	44
Tabla 7. Características químicas de la CBC y del cemento usado en los ensayos de adición.....	46
Tabla 8. Dosificación empleada en la primera práctica.....	49
Tabla 9. Datos de la prueba con anillo japonés del ensayo 1.....	52
Tabla 10. Resultado del métpdo de la caja en L.....	52
Tabla 11. Resultados muestra fluida en la prueba de extensión de flujo.....	52
Tabla 12. Dosificación para la mezcla con el 5% de CBC.....	55
Tabla 13. Resultados de la prueba con anillo.....	56
Tabla 14. Resultados de la prueba extensión de flujo.....	57
Tabla 15. Resultados del método de la caja en L con el 5% de CBC.....	58
Tabla 16. Dosificación para la mezcla con el 10% de CBC.....	60
Tabla 17. Resultados de la prueba extensión de flujo con anillo, con el 10% de CBC.....	61
Tabla 18. Resultados prueba extensión de flujo con el 10% de CBC.....	62
Tabla 19. Resultados de la caja en L con el 10% de CBC.....	63
Tabla 20. Dosificación para la mezcla con el 15% de CBC.....	65
Tabla 21. Resultados con el 15% de CBC en la prueba de extensión con anillo.....	66
Tabla 22. Resultados con el 15% de CBC en la prueba extensión de flujo.....	67
Tabla 23. Resultados del método de la caja en L con el 15% de CBC.....	67
Tabla 24. Dosificación para la mezcla con el 20% de CBC.....	69
Tabla 25. Resultados obtenidos de la prueba con anillo.....	70

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Tabla 26. Resultados obtenidos de la prueba extensión de flujo sin anilloo con el 20% de CBC.....	71
Tabla 27. Resultados del método de la caja en L con el 20% de CBC.....	72
Tabla 28. Dosificación para la mezcla con el 25% de CBC.....	74
Tabla 29. Resultados de la última prueba con el 25% de CBC.....	75
Tabla 30. Resultados de la prueba sin anillo con el 25% de CBC.....	75
Tabla 31. Resultado de la última prueba con el 25% de CBC	76
Tabla 32. Parámetros establecidos por la norma ENFAR.....	78
Tabla 33. Resultados de la prueba de extensión de flujo sin anillo japonés.....	79
Tabla 34. Ensayos que pasaron el método de extensión de flujo.....	79
Tabla 35. Resultados de la prueba con el método de extensión de flujo con anillo japonés.....	80
Tabla 36. Ensayos que cumplen con los parámetros del método de extensión con anillo.....	80
Tabla 37. Resultados de los ensayos del método de la caja en L.....	81
Tabla 38. Ensayos que pasan los parametros en el método de la caja en L.....	81
Tabla 39. Comparación de los resultados de cada una de las pruebas realizadas.....	82
Tabla 40. Resultados en estado endurecido a compresión de la muestra de control.....	83
Tabla 41. Resultados a compresión de la muestra fluida con el 2% de aditivo.....	84
Tabla 42. Resultados a compresión del ensayo con el 5% de CBC.....	85
Tabla 43. Resultados a compresión del ensayo con el 10% de CBC.....	86
Tabla 44. Resultados a compresión de la muestra con el 15% de CBC.....	87
Tabla 45. Resultados a compresión del ensayo con el 20% de CBC.....	88
Tabla 46. Resultados a compresión para las muestras con el 25% de CBC.....	89

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Índice de Figuras

Figura 1. Representación esquemática de la fabricación del cemento.....	21
Figura 2. Molde para la prueba de extensión de flujo.....	28
Figura 3. El anillo J o japonés utilizado juntamente con el flujo de asentamiento.....	31
Figura 4. Caja en L	34
Figura 5. Cemento a utilizar en los ensayos.....	40
Figura 6. Curva granulométrica de arena del rio.....	42
Figura 7. Propiedades de la grava de ½”.....	43
Figura 8. Espectro FTIR de la ceniza de bagazo de caña (CBC) y cemento portland utilizado.....	45
Figura 9. Materiales utilizados en el ensayo 1.....	48
Figura 10. Extensión de flujo con anillo japonés para el ensayo 1.....	50
Figura 11. Extensión de flujo con anillo japonés para el ensayo 1.....	50
Figura 12. Método de la caja en L para el ensayo 1.....	51
Figura 13. Extensión de flujo sin anillo del ensayo 1.....	51
Figura 14. Llenado de cilindros ensayo 1.....	53
Figura 15. Realización de las pruebas en estado endurecido ensayo 1.....	54
Figura 16. Prueba final de la mezcla en estado endurecido.....	54
Figura 17. Prueba con anillo japonés.....	56
Figura 18. Prueba de extensión de flujo sin anillo.....	57
Figura 19. Método de la caja en L.....	58
Figura 20. Colocación del cilindro para realización de la prueba en estado endurecido.....	59
Figura 21. Ensayo en estado endurecido.....	59
Figura 22. Prueba de extensión de flujo con anillo japonés ensayo 3.....	61
Figura 23. Prueba de extensión de flujo sin anillo.....	62
Figura 24. Método de la caja en L.....	63
Figura 25. Ensayo del cilindro con porcentaje del 10% de CBC.....	64
Figura 26. Finalización de la prueba en estado endurecido con el 10% de CBC.....	64
Figura 27. Prueba de flujo con anillo japonés con el 15 % de CBC.....	65

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Figura 28. Prueba de extensión de flujo sin anillo con el 15% de CBC.....	66
Figura 29. Método de la caja en L con el 15% de CBC.....	67
Figura 30. Realización de la prueba en estado endurecido con el 15% de CBC.....	68
Figura 31. Prueba concluida del cilindro en estado endurecido.....	69
Figura 32. Prueba de extensión de flujo con anillo japonés con el 20 % de CBC.....	70
Figura 33. Prueba de extensión de flujo sin anillo con el 20% de CBC.....	71
Figura 34. Método de la caja en L.....	72
Figura 35. Ensayo del cilindro con el 20% de CBC.....	73
Figura 36. Resultado del ensayo a compresión.....	73
Figura 37. Prueba de extensión de flujo con anillo japonés.....	74
Figura 38. Extensión de flujo sin anillo con el 25% de CBC.....	75
Figura 39. Método de la caja en L.....	76
Figura 40. Inicio de la prueba en estado endurecido con 25% de CBC.....	77
Figura 41. Finalización de la prueba en estado endurecido con el 25% de C.....	77
Figura 42. Gráfica de los resultados de la resistencia a compresión de la muestra de control.....	83
Figura 43. Gráfica de resultados de las resistencias de la muestra fluida.....	84
Figura 44. Gráfica de resultados de las resistencias de la muestra con el 5% de CBC.....	85
Figura 45. Gráfica de resultados de las resistencias de la muestra con el 10% de CBC.....	86
Figura 46. Gráfica de resultados de las resistencias de la muestra con el 15% de CBC.....	87
Figura 47. Gráfica de las resistencias obtenidas para el 20% de CBC.....	88
Figura 48. Gráfica de resultados de las resistencias de la muestra con el 25% de CBC.....	89
Figura 49. Gráfica de las resistencias a compresión de todas las muestras elaboradas.....	90

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Resumen

El concreto autoconsolidante día a día se han convertido en objetos de estudio en las últimas décadas, así como los concretos autoconsolidantes con adiciones de productos naturales y artificiales que han sido investigados para fortalecer e incursionar en la industria de la construcción. Es por ello que esta investigación se plantea utilizar la ceniza de bagazo de caña (CBC), como adición al porcentaje de cemento utilizado para una resistencia de 300 kg/cm², el objetivo es mejorar las propiedades físicas, químicas y mecánicas para la elaboración de un concreto autoconsolidante.

Para realizarla investigación se ocupó como materia prima materiales como arena del río Santo Domingo, grava de la empresa Consther, cemento portland de la marca Cruz Azul, agua del sistema de suministro de agua potable “Ciudad del Agua” (Chiapa de Corzo, Chiapas). Por otro lado, la adición de la ceniza de bagazo de caña respecto al porcentaje de cemento fue de 0%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25%, los cilindros de ensayo para pruebas mecánicas de comprensión fueron curados a 7, 14, 28 y 56 días. Éste estudio se ejecutó acorde a las normas EFNARC (Federación Europea de Asociaciones Nacionales de representantes del Concreto) (EFNARC achieving the highest standards Especificaciones y directrices para el Hormigón autocompactable - HAC , 2002), un CAC se trabaja en diferentes ensayos. En esta investigación se llevaron a cabo los ensayos de flujo de asentamiento, ensayo del anillo J o japonés y el ensayo de caja en L. Al finalizar la investigación se determinó que éste concreto autoconsolidante adicionado con ceniza de bagazo de caña, obteniendo una dosificación óptima al adicionar el 20% de CBC, obteniendo una mejor fluidez y propiedades mecánicas de resistencia mayores a los 300 kg/cm² para la que fue diseñada después de los 56 días de curado. Después de lo antes mencionado, se puede decir que la adición al 20% no altera las propiedades del cemento portland, reduciendo así costos y al mismo tiempo mitigar la contaminación ambiental mediante la reutilización de desechos ambientales, como en este caso, la ceniza de bagazo de caña.

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

INTRODUCCIÓN

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Introducción

El siguiente trabajo se basa en cómo elaborar un Concreto Autoconsolidante utilizando reductores de agua como aditivos, siendo agregado porcentajes de Ceniza de Bagazo de Caña.

En los ingenios azucareros el bagazo de caña con normalidad ha sido utilizado para producir energías en la República Mexicana, éste al ser quemado, dejan residuos, que son las que se utilizaran en la investigación, estas cenizas tienen capacidades similares a las del cemento debido a su composición y por el tamaño, al ser un producto de desecho, se pueden obtener varias toneladas en los diferentes ingenios.

Al realizar la investigación se evaluará la posibilidad de agregar la Ceniza, funcionando como un filler en las diferentes formas del concreto Autoconsolidante, utilizando los materiales principales para realizar un concreto convencional. Al finalizar se logró obtener una mejoría en la mezcla y en los distintos beneficios.

Para realizar el estudio se llevó a cabo diseño de distintas adiciones de ceniza, para ver los distintos comportamientos que pudiesen presentar, se realizaron según la normatividad vigente pruebas del concreto en estado fresco como en estado endurecido, los cuales fueron los de extensión de flujo con y sin anillo japonés, así como la caja en L de acuerdo a la norma EFNARC (Federación Europea de Asociaciones Nacionales de representantes del Concreto) (Especificaciones y directrices para el hormigón autocompactable-HAC, 2002). Las propiedades mecánicas se comprobaron a través del ensayo de resistencia a compresión simple de acuerdo a la norma EFNARC.

En el capítulo final de la investigación se da a conocer cuál fue el porcentaje de ceniza con mejores cualidades físicas y mecánicas para la elaboración del Concreto Autoconsolidante, con materiales de la región.

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Planteamiento del problema.

En las edificaciones de infraestructura moderna el concreto es un elemento fundamental que interviene en el progreso de las mismas. Conseguir un recurso tecnológico que permita desarrollar concretos de alto desempeño como lo es el Concreto Autoconsolidante (CAC) a partir de materiales disponibles en la región del Estado de Chiapas y a partir de sus datos de fabricación es sumamente importante. Actualmente existen proyectos de construcción de edificaciones e infraestructura cuyas exigencias de optimización de procesos constructivos, productividad y durabilidad son necesarios, por lo que se requiere del uso de concretos inteligentes o de alto desempeño que simplifiquen los procesos constructivos y garanticen un adecuado confinamiento y resistencias con la mínima posibilidad de defectos internos y superficiales.

Al largo de los años, las construcciones han carecido de concreto que se fluido y sin problemas de segregarse, que pueda llegar a nivelarse según lo requerido, llenar los espacios dentro del colado sin necesidad de una compactarse manual o mecánicamente.

Justificación.

Este proyecto de investigación permite conocer y conferir el conocimiento para la elaboración y diseño de concretos autoconsolidante con materiales disponibles de la región del Estado de Chiapas, así como del uso e implementación de un material de desecho agroindustrial como lo es la ceniza de bagazo de caña, la cual agregada a la mezcla de concreto en modo de filler otorga excelentes propiedades de trabajabilidad, colocación y resistencia al concreto, así como de garantizar la calidad de acabados superficiales, menor tiempo de puesta en obra, mayor resistencia mecánica, durabilidad y sostenibilidad.

El CAC es una clase de concreto tan fluido que no hace falta el uso de vibradores para compactarlo de diferentes formas, y satisface unas necesidades específicas del mercado, entre ellas, los lugares de acceso limitado, cuando un espacio reducido difícil de alcanzar queda lleno de barras de acero de refuerzo, el concreto convencional quizás no pueda circular completamente alrededor de cada barra, quedando bolsas de aire ocultas, que podrían hacer que el acero se corroa; eso no ocurre con el

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

concreto autoconsolidante, que fluye mejor entre el acero y alrededor de este con menos compactación (Carpio Coronel & Serrano Ruiz, 2019).

Antecedentes.

El concepto de concreto autoconsolidante fue introducido por el profesor Okamura de la Universidad de Tokio (Japón) en 1986 para promover la construcción más durable y fiable de estructuras. (REYES, 2007)

Otros investigadores como Víctor Guillermo Jiménez Quero y Adrián Álvarez Reyes han seguido esta iniciativa, llegando a desarrollar una clase de concreto capaz de ser colocado sin vibración interna u otro modo de compactación; la experiencia japonesa durante los siguientes años ha posibilitado la identificación de una serie de ventajas importantes en el uso del concreto autoconsolidante. (REYES, 2007)

- Menor dependencia de la formación y experiencia de los operarios para obtener estructuras durables (REYES, 2007)
- Se pueden evitar problemas ocasionados por una compactación inadecuada provocada por la falta de comunicación entre los proyectistas y los ingenieros en la obra. (REYES, 2007)
- Se puede reducir considerablemente el plazo de ejecución de la construcción, especialmente en estructuras monolíticas (REYES, 2007)
- Facilita el diseño de elementos más complejos que serían difíciles o poco viables de construir mediante vibración convencional (REYES, 2007)
- Reduce el ruido debido a la eliminación de la vibración, especialmente en plantas de prefabricación y obras en entornos urbanos (REYES, 2007)
- Beneficio para el ambiente de trabajo y la salud laboral (REYES, 2007)

Objetivos.

Objetivo general.

- Estudiar la influencia de la ceniza de bagazo de caña como filler en la elaboración de concretos autoconsolidantes

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Objetivos específicos.

- Determinar el proporcionamiento óptimo de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes
- Aplicar y analizar los ensayos específicos para concreto autoconsolidante
- Analizar la influencia de la CBC en el desempeño del concreto en estado fresco y endurecido

Hipótesis.

El uso de la ceniza de bagazo de caña como filler en las mezclas de concreto permite realizar concretos de alto desempeño, incrementando su resistencia mecánica, trabajabilidad y durabilidad, por lo que su implementación en el diseño de mezclas de concreto autoconsolidantes es una alternativa viable y sustentable, ya que es un material de desecho agroindustrial de la región Venustiano Carranza del estado de Chiapas.

Es posible obtener un concreto autoconsolidante, adicionando CBC como filler, obteniendo óptimos resultados en las propiedades físicas y mecánicas, el cual podrá ser aplicado a la industria de la construcción mediante el uso de materiales de la región.

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1. Marco Teórico

En este capítulo se podrá encontrar fabricación del cemento, componentes, aditivos, adiciones, filler y generalidad para la fabricación de un concreto convencional, hasta el concreto de nuestro estudio, el concreto autoconsolidante, teniendo como factores principales y parámetros investigaciones anteriores, desde métodos de investigación, procedimientos y resultados distintos.

1.1 Generalidades del concreto.

El concreto hidráulico es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta, la pasta, compuesta de cemento Portland y agua, une los agregados, normalmente arena y grava, creando una masa similar a una roca, esto ocurre por el endurecimiento de la pasta, como consecuencia de la reacción química del cemento con el agua, otros materiales cementantes y adiciones minerales se pueden incluir en la pasta. (QUERO, 2013)

1.2 Manufactura del cemento portland

El cemento portland está compuesto principalmente de materiales calcáreos tales como caliza, y por alúmina y sílice, que se encuentran como arcilla o pizarra. También se utiliza la marga, que es una mezcla de materiales calcáreos y arcillosos. (QUERO, 2013). El proceso de fabricación del cemento consiste en moler finamente la materia prima, mezclarla minuciosamente en ciertas proporciones y calcinarla en un horno rotatorio de gran dimensión a una temperatura de aproximadamente 1450 °C, donde el material se sinteriza y esferas conocidas como Clinker (Figura 1-1). El Clinker se enfría y se tritura hasta obtener un polvo fino, después se adiciona un poco de yeso, en un rango de 5% a 10% y el producto resultante es el cemento portland comercial (QUERO, 2013)

Figura 1.

Representación esquemática de la fabricación del cemento



Nota: Tomado de: World Business Council for Sustainable Development (2002).

1.3 Componentes del cemento portland

El cemento Portland lo conforman cuatro componentes principales, los cuales representa el 90% o más del peso del cemento Portland son: el silicato tricálcico (C_3S), el silicato dicálcico (C_2S), el aluminato tricálcico (C_3A) y el ferroaluminato tetracálcico (C_4AF) (Taylor, 2001).

Se hidrata y endurece lentamente y contribuye en gran medida al incremento de la resistencia a edades mayores de una semana (Irassar, E., Bonavetti, V., Rahhal, V. y Cabrera, O., 2012)

Los dos silicatos de calcio constituyen cerca del 75 % del peso del cemento Portland, reaccionan con el agua para formar dos nuevos compuestos: el hidróxido de calcio ($Ca(OH)_2$) y el silicato de calcio hidratado ($C_3S_2H_3$).

1.4 El fenómeno de hidratación del cemento

El cemento portland; adquiere la propiedad de adición cuando se mezcla con agua. La reacción química del cemento con el agua, llamada comúnmente hidratación del cemento, generan productos que poseen características de fraguado y de endurecimiento (Mehta, 1998).

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

1.5 Aditivos químicos.

Los aditivos son aquellos ingredientes del concreto que además del cemento portland, del agua y de los agregados, se adicionan a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado, los aditivos se pueden clasificar según sus funciones. (ESQUIVEL, 2014)

1.6 Adiciones en el cemento.

Las adiciones al cemento o adiciones minerales incorporadas al cemento constituyen una porción del material cementante en el concreto, estos materiales son generalmente subproductos de otros procesos o materiales de origen natural, ellos pueden o no ser procesados antes de ser utilizados en los concretos; algunos de estos materiales son denominados puzolanas, que por sí mismos no tienen propiedades cementantes, pero cuando se utilizan con el cemento portland, reaccionan para formar componentes cementantes, otros materiales, como las escorias sí exhiben propiedades cementantes. (COLAN, 2013)

Las cenizas volantes, las escorias y el humo de sílice, son empleados en la industria del concreto, utilizando centenares de millones de toneladas de subproductos que de otra forma serían vertidos en el terreno como desechos, además, su utilización reduce el consumo de cemento portland por unidad de volumen de concreto; el cemento portland tiene un elevado consumo de energía y de emisiones asociadas con su producción, este consumo energético se disminuye cuando se reduce la cantidad de cemento portland utilizada en el concreto (Carpio Coronel & Serrano Ruiz, 2019).

Investigaciones recientes indican que es posible incrementar la trabajabilidad, resistencia y durabilidad de materiales basados en cemento con el uso de adiciones minerales tales como la ceniza volante (CV), el humo de sílice (HS), y la escoria granulada de altos hornos (EGAH) (Xianming, et al., 2011; Uysal, et al., 2011; Mucteba y Kemalettin, 2011).

En México esta ceniza no está a la venta en tiendas de establecimientos comerciales, la única forma sería trayéndola de otros países.

Según Quero (2013) se mostrado que los desechos de la industria azucarera, (ceniza de bagazo de caña de azúcar, CBC y ceniza de paja de azúcar, SCSA) tienen actividad puzolánica adecuada cuando son calcinadas a una temperatura superior a los 600 °C, lo anterior es consecuencia de su alto

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

contenido de óxido de silicio amorfo y compuestos aluminosos que reaccionan químicamente con hidróxido de calcio en presencia de agua.

1.7 Filler

Con este nombre se designan las adiciones que, generalmente en pequeñas proporciones acompañadas o no de otras, se añaden al cemento con objeto de aumentar y/o abaratar en parte su producción, y de contribuir al ahorro energético en cocción y en molienda, sin olvidar los efectos benéficos dispersantes y aceleradores de la hidratación del cemento, y las acciones epitáxicas que pueden ejercer en los concretos (Calleja, D.,1983).

Está ampliamente comprobado que, en general, pequeñas adiciones de ciertas calizas, del orden del 1 al 10 % entre límites amplios, con un valor medio muy centrado de alrededor del 5 %, añadidas al Clinker y molidas conjuntamente con él, proporcionan cementos con mejor plasticidad y comportamiento reológico en concretos que los que no las contienen, con menor retracción y tendencia a la fisuración, y sin menoscabo de las resistencias, o incluso con ligeras mejoras de las mismas. (Calleja, D.,1983)

1.8 Tipos de concreto.

A lo largo de los años se han logrado diseñar gran variedad de concretos, siempre tratando de cubrir las necesidades que se requieran según el tipo de trabajo a realizarse, a continuación, se harán mención de algunos de ellos, los cuales serán puntos de partida del concreto autoconsolidante en estudio.

1.8.1 Concreto con vibrado convencional.

El concreto convencional está compuesto por cemento, arena, grava y agua, le cual posee la cualidad de endurecer con el tiempo, obteniendo características óptimas en el rubro de la construcción. Cuando éste se encuentra en estado fresco suficiente tiempo de manejabilidad y excelente cohesividad en estado endurecido (Yáñez C.A., 2002).

1.8.2 Concreto autonivelante.

El concreto autonivelante, es una mezcla a base de polímeros que se utiliza para alisar o nivelar la superficie del material de construcción, a diferencia del concreto convencional, la mezcla de concreto

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

autonivelante es muy fina; una vez que la mezcla se aplica a la superficie, esto permite que el producto fluya fácilmente (Carpio Coronel & Serrano Ruiz, 2019).

Está compuesto por cemento o anhidrita y arena de granulometría fina. Sus características especiales se deben al uso de aditivos que le adicionan mayor fluidez, lo que proporciona un acabado más liso y nivelado. (Carpio Coronel & Serrano Ruiz, 2019).

1.8.3 Concreto autoconsolidante.

El concreto autoconsolidante es una mezcla que puede compactarse en todos los rincones de una cimbra únicamente por medio de su propio peso sin necesidad de compactación por vibración y que a pesar de su alta fluidez el agregado grueso no tiene segregación; las características fundamentales que deben definir un concreto autoconsolidante son las siguientes: (REYES, 2007)

- Elevada fluidez: el concreto autoconsolidante se caracteriza por una elevada fluidez hasta el punto de que los métodos tradicionales de ensayo, como por ejemplo el cono de Abrams, resultan obsoletos (REYES, 2007)
- Elevada resistencia a la segregación: la elevada fluidez no debe implicar segregación o sangrado, la mezcla debe mantener homogeneidad tanto de forma intrínseca como al someterse a la colocación en obra (REYES, 2007)
- Adecuada viscosidad plástica: el concreto autoconsolidante debe fluir por la acción de su propio peso. Esto requiere ciertas características de formulación para que el concreto no se bloquee en su paso a través del acero de refuerzo, con un perfecto relleno y que fluya a través de la cimbra, acomodándose a su forma (REYES, 2007).
- Deformabilidad en estado fresco: para obtener buenos acabados y un perfecto recubrimiento del armado. (REYES, 2007)

Obtención del concreto autoconsolidante

Este revolucionario concreto se logra utilizando aditivos químicos de última generación que actúan por diferentes mecanismos, desde su absorción superficial y el efecto de dispersión espacial de las partículas de cemento, se obtiene una alta fluidez con un fuerte comportamiento autoconsolidante, que en conjunto con una alta cohesión de la mezcla permite el vaciado y flujo del concreto sin ninguna

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

segregación o sangrado, tampoco hay cambios significativos en el fraguado y endurecimiento de la mezcla, la obtención de un concreto autoconsolidante requiere un estudio detallado en cada caso particular, para ello se requiere analizar los elementos a diseñar y los materiales disponibles, luego se ajusta la dosificación para conseguir la fluidez y cohesión requeridas. (REYES, 2007)

1.9 Concretos ternarios.

El término concreto ternario se utiliza para describir un concreto que se elabora con cemento Portland, dos materiales cementantes suplementarios, agua y agregados, el propósito de combinar estos materiales ha sido producir eficazmente un concreto con propiedades hechas a la medida, basadas en las características singulares de los componentes adicionales de la mezcla, que en la mayoría de los casos compensan las deficiencias presentadas entre ellos, desde mediados de la década de los noventa, se ha producido un significativo incremento en la elaboración de concretos que contienen cemento Portland y dos (en el caso de concretos ternarios) o incluso tres (cuaternarios) materiales cementantes suplementarios (QUERO, Abril 2013)

1.10 Diseño, elaboración.

La resistencia es el indicador de la calidad del concreto más utilizado. otras propiedades, tales como durabilidad, permeabilidad y resistencia al desgaste se reconocen hoy en día como de igual importancia, especialmente cuando se considera la vida útil de la estructura. (QUERO, 2013)

La selección de las proporciones de las mezclas es complicada porque la relación entre resistencia y relación agua-cemento, la cual es la columna vertebral de los métodos de proporcionamiento para mezclas de concreto ordinario, no es suficiente para conocer todos los requerimientos de los concretos con adiciones minerales; las relaciones agua-cemento bajas, el tipo y la dosificación de las adiciones minerales tienen una fuerte influencia en la resistencia y durabilidad del concreto. (QUERO, 2013)

Un diseño adecuado de las mezclas de concreto permite optimizar la mezcla de concreto para mejorar las características, tales como estabilidad dimensional y durabilidad a largo plazo dadas las condiciones ambientales. (QUERO, 2013)

Los factores de producción del concreto, tales como: secuencia para incorporar los componentes durante la operación de mezclado, la eficiencia de la mezcladora, el método de transporte, colocación

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

del concreto, y la tecnología del curado tienen efectos considerables en la microestructura y propiedades del producto. (QUERO, 2013)

A continuación, se describe brevemente el diseño y proporcionamiento de mezclas de concreto, algunas de las recomendaciones para su elaboración, así como las pruebas de control de mezclas de concreto en estado fresco y endurecido. (QUERO, 2013)

Para controlar la calidad del concreto y poder cumplir con las especificaciones y requerimientos de diseño se realizan pruebas que ayudan a determinar sus propiedades en estado fresco y endurecido. (QUERO, 2013)

1.10.1 Proporcionamiento de mezclas de concreto

El proporcionamiento (dosificación) de la mezcla se refiere al proceso de determinación de las cantidades de los ingredientes del concreto, para que se logren las características especificadas. Un concreto adecuadamente proporcionado debe presentar las siguientes cualidades como: buena trabajabilidad, durabilidad, resistencia, buena apariencia, económico y consumo energético bajo. (QUERO, 2013)

Las cualidades citadas se pueden alcanzar en las construcciones en concreto sólo con la selección adecuada de los materiales y de las características de la mezcla. (QUERO, 2013)

1.10.2 Caracterización de materiales para el diseño de mezclas

La caracterización de materiales se refiere al proceso para determinar las características de un material a partir del estudio de sus propiedades físicas, químicas, estructurales, etc.

1.10.3. Diseño de mezclas

Es el proceso para determinación de las características requeridas del concreto, las características pueden incluir: (1) propiedades del concreto fresco, (2) propiedades mecánicas del concreto endurecido y (3) la inclusión, exclusión o límites de ingredientes específicos (Kosmatka et al., 2004).

Uno de los métodos más utilizados para el diseño de mezclas de concreto es el método de volúmenes absolutos del Instituto Americano del Concreto (ACI por sus siglas en inglés), este método indica que el volumen absoluto del material granular (cemento y agregados) es el volumen de la materia sólida

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

en las partículas y no incluye el volumen de los vacíos de aire entre ellas, el volumen (rendimiento) del concreto fresco es igual a la suma de los volúmenes absolutos de sus ingredientes-materiales cementantes, agua (excluyendo el agua absorbida en los agregados), agregados, aditivos cuando se los utiliza y aire (Kosmatka et al., 2004).

1.11. Pruebas al concreto autoconsolidante en estado fresco.

Según las normas europeas de la EFNARC (EFNARC, 2002), un concreto autoconsolidante se identifica mediante diferentes ensayos en el que los resultados de cada ensayo merecen tal consideración con carácter general; dichos ensayos son (EFNARC, 2002):

- 1) Ensayo de flujo de asentamiento (EFNARC, 2002).
- 2) Ensayo de T (EFNARC, 2002).
- 3) Ensayo del anillo J o japonés (EFNARC, 2002).
- 4) Ensayo de embudo V (EFNARC, 2002)
- 5) Ensayo del embudo V a T (EFNARC, 2002).
- 6) Ensayo de caja en L (EFNARC, 2002).
- 7) Ensayo de la caja en U (EFNARC, 2002).
- 8) Ensayo de caja de relleno (EFNARC, 2002)

1.11.1 Ensayo de flujo de asentamiento (1) y Ensayo de T 50cm (2 (EFNARC, 2002)).

El flujo de asentamiento se utiliza para evaluar el flujo libre de HAC en ausencia de obstrucciones; se desarrolló primero en Japón (1) para su uso en la valoración del hormigón sumergido, este método se basa en el método de ensayo para determinar el asentamiento; el diámetro del círculo de hormigón es una medida de la capacidad de relleno del hormigón (EFNARC, 2002).

Evaluación del ensayo.

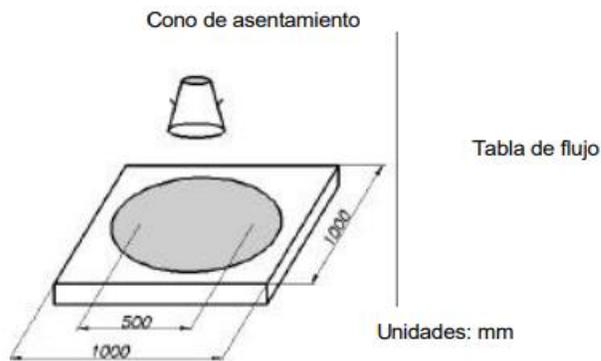
Se trata de un procedimiento simple y rápido de ensayo, aunque se precisan dos personas si quiere medirse el período T50; puede emplearse en la obra, aunque el tamaño de la placa base de asiento es ligeramente pesado y difícil de manejar y es esencial un terreno nivelado; es el ensayo utilizado con más frecuencia y ofrece una buena evaluación de la capacidad de relleno; no presenta indicaciones de la capacidad del hormigón para pasar por entre la armadura sin bloqueos, pero puede

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

presentar indicios de la resistencia a la segregación; puede argumentarse que un flujo completamente libre, sin restricciones de ninguna clase, no es representativo de lo que sucede en la práctica en la construcción con hormigón, pero el ensayo puede utilizarse para valorar la consistencia del suministro de hormigón amasado en planta en la obra entre carga y carga (EFNARC, 2002)

Figura 2.

Molde para la prueba de extensión de flujo.



Equipamiento

- El aparato aparece en la figura 2.
- Molde en forma de un cono truncado, con las siguientes dimensiones internas: 200 mm de diámetro en la base, 100 mm de diámetro en la parte superior y una altura de 300 mm, conforme con EN 12350-2 (EFNARC, 2002).
- Placa de asiento cuadrada de un material rígido no absorbente, de por lo menos 700x700 mm, marcada con un círculo que indica la ubicación central del cono de asiento, y otro círculo concéntrico de 500 mm de diámetro (EFNARC, 2002).
- Llana (EFNARC, 2002)
- Pala (EFNARC, 2002)
- Regla (EFNARC, 2002)
- Cronómetro (opcional) (EFNARC, 2002)

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Procedimiento

Se requieren 6 litros de hormigón para realizar el ensayo, que se toman como muestra de manera normal (EFNARC, 2002).

Humedezca la placa de asiento y el interior del cono de asentamiento (EFNARC, 2002)

Coloque la placa de asiento sobre un terreno uniforme y estable y coloque el cono de asiento en el centro de dicha placa y manténgalo sujeto hacia abajo con firmeza (EFNARC, 2002).

Llene el cono con la pala; no tiene que compactarlo, tan sólo nivelar el hormigón de la parte superior del cono con la llana (EFNARC, 2002)

Quite el hormigón sobrante de alrededor de la base del cono (EFNARC, 2002)

Eleve el cono verticalmente y permita que el hormigón fluya hacia el exterior libremente (EFNARC, 2002)

De manera simultánea, inicie el cronómetro y registre el tiempo que requiere el hormigón para alcanzar el círculo de 500 mm. (Éste es el período T50.) (EFNARC, 2002)

Mida el diámetro final del hormigón en dos direcciones perpendiculares (EFNARC, 2002)

Calcule el promedio de los dos diámetros medidos, (se trata del flujo de asentamiento en mm.)
Observe cualquier borde del mortero o la pasta de cemento sin árido grueso en el límite del charco de hormigón (EFNARC, 2002).

Interpretación del resultado

Cuanto mayor sea el valor del flujo de asentamiento (FA), mayor será su capacidad para llenar el encofrado por su propio peso; se requiere un valor de por lo menos 650 mm para HAC; no existe un consejo generalmente aceptado sobre las tolerancias razonables sobre un valor específico, aunque 50 mm, como en la tabla alemana relacionada, puede ser adecuado (EFNARC, 2002).

El período T50 es una indicación secundaria del flujo. Un período inferior indica una mayor fluidez, la investigación Brite EuRam sugirió que un tiempo de 3-7 segundos es aceptable en aplicaciones de

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

ingeniería civil, mientras que 2-5 segundos es correcto para las aplicaciones en edificación; en el caso de una segregación grave la mayor parte del árido grueso permanecerá en el centro del charco de hormigón y el mortero y la pasta de cemento en la periferia del hormigón; en caso de una segregación menor puede producirse un borde de mortero sin árido grueso en el límite del charco de hormigón; si no se produce ninguno de estos fenómenos, no es una garantía de que no se producirá segregación, puesto que se trata de un aspecto relacionado con el tiempo que puede producirse después de un período más extenso (EFNARC, 2002).

1.11.2 Ensayo de anillo J (3) .

El principio del ensayo de Anillo J puede ser japonés, pero no se conocen referencias; el ensayo de Anillo J en sí se ha desarrollado en la Universidad de Paisley; el ensayo se emplea para determinar la capacidad de paso del hormigón; el equipamiento consiste en una sección rectangular de anillo de acero abierto (30 mm x 25 mm), taladrada verticalmente con agujeros para aceptar secciones roscadas de barras de armado; estas secciones de barras pueden ser de distintos diámetros y colocarse a intervalos diferentes: de conformidad con las consideraciones de armado normal, 3 veces el tamaño máximo del árido puede ser apropiado; el diámetro del anillo de barras verticales es de 300 mm, y la altura de 100 mm (EFNARC, 2002)

El anillo J puede utilizarse conjuntamente con el ensayo de flujo de asentamiento, el ensayo Orimet o incluso el embudo V; estas combinaciones comprueban la capacidad de fluidez y (la contribución del anillo J) la capacidad de paso del hormigón; el período de Orimet y/o extensión del flujo de asiento se miden del modo habitual para valorar las características del flujo; las barras del anillo J pueden colocarse con el espaciado que se prefiera para imponer una prueba menos severa de la capacidad de paso del hormigón; después del ensayo, se mide la diferencia de altura entre el hormigón en el interior y justo en el exterior del anillo J; se trata de una indicación de la capacidad de paso, o del grado en que el paso del hormigón a través de las barras se ve restringido (EFNARC, 2002)

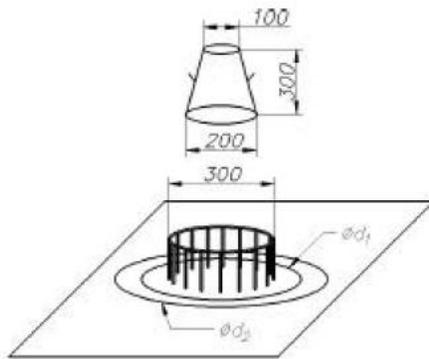
Evaluación de la prueba (EFNARC, 2002).

Estas combinaciones de ensayos se considera que tienen un gran potencial, aunque no existe una perspectiva general sobre cómo deberían interpretarse exactamente los resultados, existen varias opciones; por ejemplo, puede resultar instructivo comparar la extensión de la combinación anillo J/flujo de asentamiento con el flujo de asentamiento sin restricciones: ¿en qué medida se ve reducido? (EFNARC, 2002)

Al igual que el ensayo del flujo de asiento, estas combinaciones presentan la desventaja de no estar limitadas, y por lo tanto no reflejan el modo en que el hormigón se desplaza y autocompacta en la práctica, la opción Orimet tiene la ventaja de ser un ensayo dinámico y que también refleja la colocación en la práctica, aunque tiene como inconveniente la exigencia de dos operarios (EFNARC, 2002)

Figura 3.

El anillo J o japonés utilizado juntamente con el flujo de asentamiento.



Equipamiento

- Molde SIN piezas de pie, en forma de un cono truncado, con unas dimensiones internas de 200 mm de diámetro en la base, 100 mm de diámetro en la parte superior y una altura de 300 mm (EFNARC, 2002).

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

- Placa base de asiento de un material rígido no absorbente, de por lo menos 700x700 mm, marcada con un círculo que indica la ubicación central del cono de asiento, y otro círculo concéntrico de 500 mm de diámetro (EFNARC, 2002).
- Llana (EFNARC, 2002)
- Pala (EFNARC, 2002)
- Regla (EFNARC, 2002)

Anillo J, una sección rectangular (30 mm x 50 mm) de anillo de acero abierto, perforado verticalmente con agujeros, en dichos agujeros pueden atornillarse secciones roscadas de barras de armadura (longitud de 100 mm, diámetro de 10 mm, espaciado de 48 mm) (EFNARC, 2002).

Procedimiento

Se requieren 6 litros de hormigón para realizar el ensayo, que se toman como muestra de manera normal; humedezca la placa base de asiento y el interior del cono de asentamiento (EFNARC, 2002).

Coloque la placa de asiento sobre un terreno estable y coloque el Anillo J centrado en la placa base y el cono centrado en el Anillo J y manténgalo sujeto hacia abajo con firmeza (EFNARC, 2002)

Llene el cono con la pala, no tiene que compactarlo, tan sólo nivelar el hormigón de la parte superior del cono con la llana (EFNARC, 2002).

Quite el hormigón sobrante de alrededor de la base del cono (EFNARC, 2002).

Eleve el cono verticalmente y permita que el hormigón fluya hacia el exterior libremente (EFNARC, 2002)

Mida el diámetro final del hormigón en dos direcciones perpendiculares (EFNARC, 2002).

Calcule el promedio de los dos diámetros medidos (en mm), mida la diferencia de altura entre el hormigón justo en el interior de las barras y el que se encuentra justo en el exterior de las mismas; calcule el promedio de la diferencia de altura en cuatro lugares (en mm); observe cualquier borde del mortero o la pasta de cemento sin árido grueso en el límite del charco de hormigón (EFNARC, 2002).

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

1.11.3 Ensayo de Caja en L (6).

Este ensayo, basado en un diseño japonés para el hormigón submarino, ha sido descrito por Petersson (2) (EFNARC, 2002). El ensayo evalúa la capacidad de fluir del hormigón y también la medida en la que está sujeto a bloqueos por parte del armado (EFNARC, 2002). El aparato se muestra en la Figura 4.

El aparato consiste en una caja de sección rectangular con forma de “L”, con una sección vertical y otra horizontal, separadas por una puerta móvil, delante de la cual se encajan longitudes verticales de barras de armado, la sección vertical se llena de hormigón, acto seguido se eleva la puerta para permitir que el hormigón fluya hacia la sección horizontal, cuando el flujo se ha detenido, la altura del hormigón al extremo de la sección horizontal se expresa como una proporción del restante en la sección vertical (H_2/H_1 en el diagrama); indica el alcance del hormigón en reposo (EFNARC, 2002).

Se trata de una indicación de la capacidad de paso, o del grado en que se restringe el paso del hormigón a través de las barras; la sección horizontal de la caja puede marcarse a 200 mm y a 400 mm de la compuerta y pueden medirse los tiempos necesarios para alcanzar estos puntos (EFNARC, 2002).

Se conocen como los tiempos T20 y T40 y constituyen una indicación de la capacidad de relleno; las secciones de barras pueden ser de distintos diámetros y pueden espaciarse a diferentes intervalos, de conformidad con las consideraciones de armado normal, puede ser apropiado un tamaño tres veces superior al tamaño máximo de los áridos; las barras pueden ajustarse con cualquier espaciado para imponer una prueba más o menos exigente a la capacidad de paso del hormigón (EFNARC, 2002).

Evaluación del ensayo

El uso de este ensayo es muy frecuente; es adecuado para el laboratorio y quizá también para la misma obra (EFNARC, 2002).

Evalúa la capacidad de relleno y de paso del HAC y cualquier falta grave de estabilidad (segregación) puede detectarse visualmente, la segregación también puede detectarse posteriormente serrando e inspeccionando las fracciones del hormigón en su sección horizontal; lamentablemente, no existe un

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

acuerdo sobre los materiales y dimensiones, ni sobre la disposición de las barras de armado, de modo que resulta difícil comparar los resultados del ensayo (EFNARC, 2002).

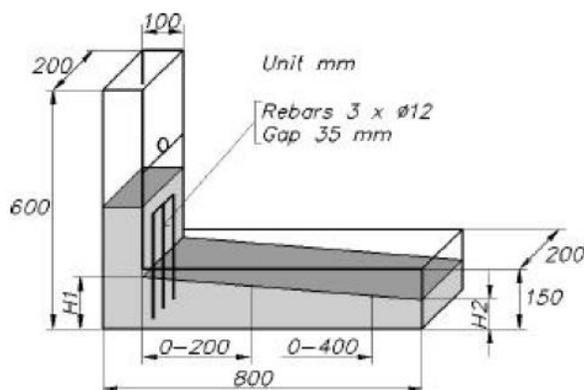
No hay indicios del efecto del muro del aparato y el consecuente “efecto de los muros” que pueda producirse sobre el flujo del hormigón, pero en cierta medida, esta disposición replica lo que sucede en la obra cuando se confina dentro del encofrado; si se miden los tiempos serán necesarios dos operarios y es inevitable un cierto grado de error del operario (EFNARC, 2002)

Equipamiento

- Caja en L de un material rígido no absorbente (EFNARC, 2002), véase la Figura 4.
- Llana (EFNARC, 2002)
- Pala (EFNARC, 2002)
- Cronómetro (EFNARC, 2002)

Figura 4.

Caja en L (EFNARC, 2002).



Procedimiento

Se precisan unos 14 litros de hormigón para realizar el ensayo, tomados como muestra de manera normal (EFNARC, 2002).

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Coloque el aparato sobre terreno firme y uniforme; asegúrese de que la compuerta deslizante puede moverse con libertad y luego ciérrela (EFNARC, 2002).

Humedezca las superficies interiores del aparato y elimine el agua sobrante (EFNARC, 2002).

Llene la sección vertical del aparato con la muestra de hormigón (EFNARC, 2002).

Déjelo reposar durante 1 minuto (EFNARC, 2002).

Eleve la compuerta deslizante y deje que el hormigón fluya hacia la sección horizontal (EFNARC, 2002).

De manera simultánea, active el cronómetro y registre los tiempos que requiere el hormigón para alcanzar las marcas de 200 y de 400 mm (EFNARC, 2002).

Cuando el hormigón deje de fluir, se miden las distancias "H1" y "H2" (EFNARC, 2002).

Calcule $H2/H1$, la relación de bloqueo (EFNARC, 2002).

Todo el ensayo ha de realizarse en menos de 5 minutos (EFNARC, 2002).

Interpretación del resultado (EFNARC, 2002)

Si el hormigón fluye tan libremente como el agua, en descanso estará horizontal, de modo que $H2/H1 = 1$; en consecuencia, cuanto más cerca esté el valor de este ensayo, la "relación de bloqueo", a la unidad, mejor será el flujo del hormigón; el equipo de investigación de la UE sugirió un valor mínimo aceptable de 0,8. Los períodos T20 y T40 pueden ofrecer una indicación sobre la capacidad de fluir, pero no hay un acuerdo general sobre los valores adecuados; un bloqueo eficiente del árido grueso detrás de las barras de refuerzo puede detectarse visualmente (EFNARC, 2002).

1.12 Criterios de trabajabilidad para el HAC en estado fresco

Estos requisitos deben cumplirse hasta el momento de la ejecución; en la producción hay que tomar en consideración los cambios probables en la trabajabilidad durante el tiempo de transporte; los criterios de aceptación habituales para el hormigón autoconsolidante con un tamaño máximo de áridos de hasta 20 mm se presentan en la Tabla 1 (EFNARC, 2002).

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Tabla 1.

Criterios de aceptación para el concreto autoconsolidante

	Método	Unidad	Margen habitual de valores	
			Mínimo	Máximo
1	Flujo asentamiento por cono Abrams	mm	650	800
2	Flujo de asentamiento $T_{50\text{ mm}}$	segundos	2	5
3	Anillo J	mm	0	10
4	Embudo V	segundos	6	12
5	Embudo V a $T_{5\text{ min}}$	segundos	0	+3
6	Caja en L	(h_2/h_1)	0,8	1,0
7	Caja en U	(h_2-h_1) mm	0	30
8	Caja de relleno	%	90	100
9	Ensayo de estabilidad GTM	%	0	15
10	Orimet	segundos	0	5

Estos requisitos habituales contrastados respecto a cada modelo de ensayo se basan en el conocimiento y la práctica actuales; no obstante, el futuro desarrollo puede conducir a la adopción de requisitos distintos (EFNARC, 2002).

Los valores que se encuentran fuera de estos márgenes pueden ser aceptables si el productor puede demostrar un rendimiento satisfactorio en sus condiciones específicas, por ejemplo, grandes espacios entre la armadura, espesor de capa inferior a 500 mm, distancia breve de flujo desde el punto de descarga, muy pocas obstrucciones en el encofrado, diseño de encofrado muy simple, etc (EFNARC, 2002)

Siempre deben tomarse precauciones especiales para garantizar que no se produzca una segregación de la mezcla puesto que en la actualidad no existe un ensayo sencillo y fiable que ofrezca esta información respecto a la resistencia a la segregación del HAC en todas las situaciones prácticas. (EFNARC, 2002)

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

EXPERIMENTAL

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

2. Metodología Experimental

El Concreto Autoconsolidante debe comportarse al igual que un concreto convencional, cumpliendo con todos los criterios en los estados como fresco y endurecido, por lo que debe tener una buena trabajabilidad, acomodo en espacios donde el concreto convencional se le dificulta llegar, fluido, una buena apariencia ante la segregación y acceso a espacios con un alto contenido de acero

2.1.- Método Utilizado para la Dosificación.

El método de dosificación de la ACI 211.1 (ACI, 2007) parte del resultado de ensayo de escurrimiento, a partir de este resultado se ajustan las proporciones de los materiales siguiendo las recomendaciones de las tablas 2 y 3; una vez fijada la dosificación, se fabrica el concreto y se realizan los ensayos de caracterización en estado fresco; en relación con los resultados se ajusta la dosificación hasta que se alcancen las propiedades autoconsolidantes (Carpio Coronel & Serrano Ruiz, 2019).

Tabla 2.

Sugerencia del contenido de finos de la ACI para 1 m³ de concreto

Ensayo de escurrimiento (mm)	<550	550 – 600	>650
Contenido de finos(kg)	355 – 385	385 – 445	>458

Tabla 3.

Valores recomendados para la dosificación de un concreto autoconsolidante según la ACI (ACI, 2007).

<i>Parámetro</i>	<i>Recomendación</i>
% Grava (< 12 mm)	28 – 32
% Pasta	34 – 40
% Mortero	68 - 72
Agua/Cemento	0.32 – 0.5
Contenido de cemento (kg)	386 - 475

2.2 Características de los componentes del CA

Los componentes básicos que constituyen el concreto autoconsolidante son:

- Cemento.
- Arena.
- Grava.
- Agua.
- Aditivo.
- Adición.

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

❖ Cemento

Se utilizó el cemento gris ordinario cruz azul, siendo el más comercial de la región, y que cumple con la instrucción RC-08.

Figura 5.

Cemento a utilizar en los ensayos



❖ Arena

Se utilizó arena de río, de Chiapa de Corzo, Chiapas; apegados a la NMX C-077-ONNCCE.

En las siguiente tabla y figura se proporcionan los valores de los parámetros físicos determinados en el laboratorio:

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Tabla 4.

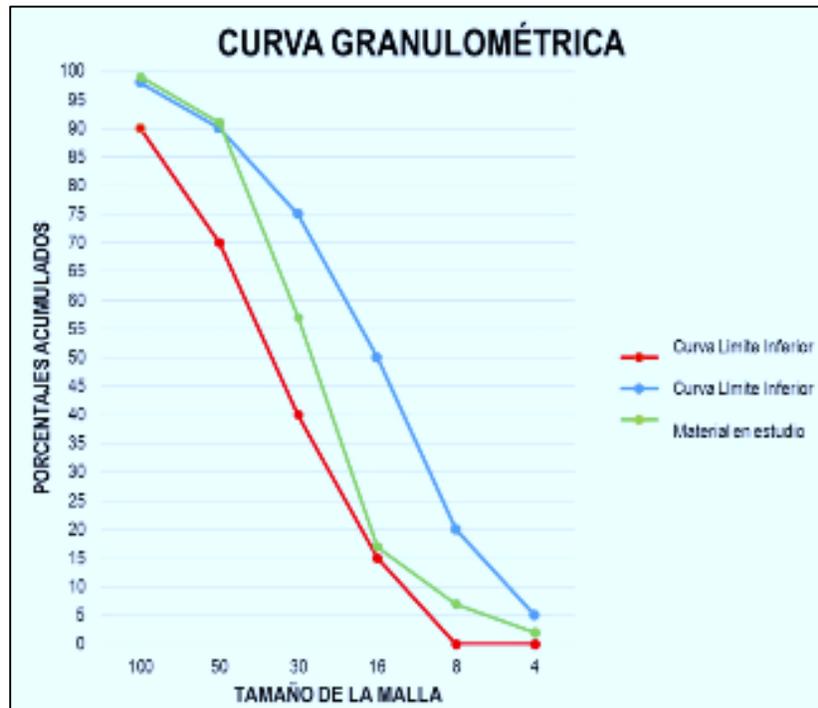
Granulometría de la arena.

RESULTADOS DE LA PRUEBA GRANULOMÉTRICA DE LA ARENA			
Procedencia: Arena del rio Santo Domingo			
Peso inicial de la muestra: 500 gr			
Tipo y tamaño de malla	Porcentaje que retiene (R%) Y pasa (P%)		
	Gr	R%	P %
N° 4 (4.75mm)	0	0	100
N° 8 (2.36mm)	21.76	4.35	95.65
N° 16 (1.18mm)	122.27	24.45	71.2
N° 30 (600 μmm)	152.85	30.57	40.63
N° 50 (300 μmm)	119.39	23.88	16.75
N° 100 (150 μmm)	61.24	12.25	4.5
N° 200 (75 μmm)	16.07	3.21	1.29
Charola	6.4	1.28	0
Suma	499.98	100	

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Figura 6.

Curva granulométrica de arena del río.



❖ Grava

La investigación fue realizado con grava 1/2" como tamaño máximo del agregado del banco seleccionado de Tuxtla Gutiérrez. En las siguientes tablas se observa el comportamiento de los materiales utilizados.

Tabla 5.

Propiedades de la Grava 1/2"

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

RESULTADOS DE LA PRUEBA GRANULOMÉTRICA DE LA GRAVA

Material: Grava

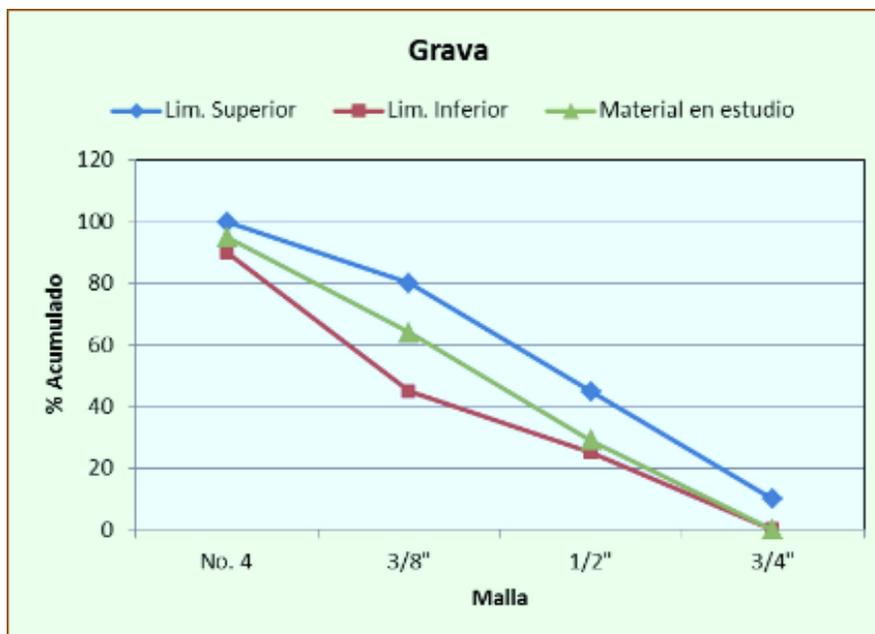
Procedencia: Banco CONSTHER

Peso inicial de la muestra: 1000 gr

Tipo y tamaño de malla	Porcentaje que retiene (R%) Y pasa (P%)		
	gr	R%	P %
3/4"	0	0	100
1/2"	624	62.4	37.6
3/8"	167	16.7	20.9
1/4"	121	12.1	8.8
Charola	88	8.8	0
Suma	1000	100	

Figura 7.

Propiedades de la grava de 1/2".



Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

❖ Agua

El agua utilizada fue del Sistema de Agua potable de la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, del laboratorio de Mecánica de Suelos, misma que es utilizada para las demás investigaciones de la Facultad de Ingeniería Campus I.

❖ Adición

Según (Quero, 2013) la composición de algunas cenizas de bagazo de caña, que permiten la utilización como adición en el concreto, se muestra en la tabla 6.

Tabla 6.

Composiciones de la Ceniza de Bagazo de Caña

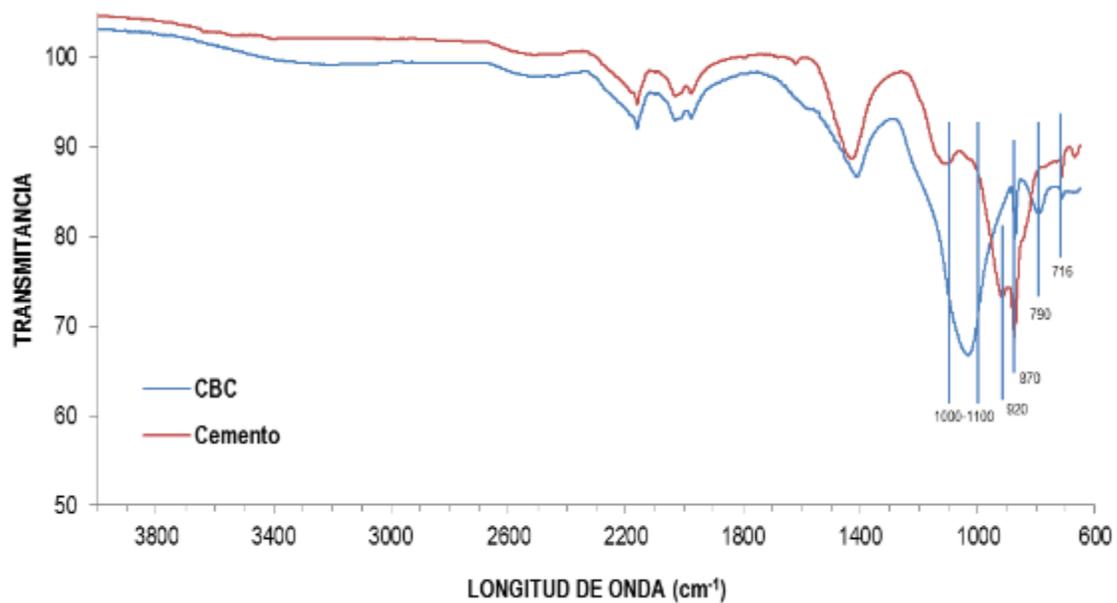
Composición química (%)	Ganesan 2007	Cordeiro 2009	Morales 2009	Cordeiro 2010	Sirirat 2010	Frías 2011
Temperatura de quemado (°C)	650	700-900	1000	600	1000	800
SiO ₂	64.15	78.34	59.35	60.96	75.96	69.40
Al ₂ O ₃	9.05	8.55	7.55	0.09	5.32	11.26
Fe ₂ O ₃	5.52	3.61	9.83	0.09	2.22	5.41
CaO	8.14	2.15	12.89	5.97	3.87	2.51
K ₂ O	1.35	3.46	3.41	9.02	3.10	1.28
MgO	2.85	1.65	2.10	8.65	1.15	1.83
Na ₂ O	0.92	0.12	0.96	0.70	0.02	0.009
SO ₃	----	----	3.41	----	0.21	6.87
LOI	4.90	0.42	0.81	5.70	6.58	1.56
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	78.72	90.50	76.73	61.14	83.5	86.07
IAR a 28 días	98.4	95.0	---	77.0	112.0	---

Del municipio de Pujilic fue de donde fue obtenida la Ceniza de Bagazo de Caña con la que se trabajó la investigación, cumpliendo la normativa correspondiente para el uso de la misma NMX-C-179-ONNCCE-2013.

Se emplearon dos técnicas las técnicas de Espectrometría Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR)

Figura 8.

Espectro FTIR de la ceniza de bagazo de caña (CBC) y cemento portland utilizado. Fuente: Laboratorio de la Facultad de Ingeniería, UNACH, Chiapas



En la interpretación de los espectros, es importante señalar, que la estructura de los silicatos y aluminosilicatos, componentes principales de las cenizas volantes y cemento, en general está constituida por unidades cíclicas que se forman por la conexión de tetraedros de aluminio y silicio a través de puentes de oxígeno, con diferente número de miembros (Kovalchuk et al. 2008).

En la tabla 7 se encuentran propiedades químicas de la CBC y del uso como adición dentro del concreto.

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Tabla 7.

Características químicas de la CBC y del cemento usado en los ensayos de adición

Características (%)	CBC	Cemento
SiO_2 (Óxido de Silicio)	55.1	24.3
Al_2O_3 (Óxido de Aluminio)	0.7	4.3
Fe_2O_3 (Óxido de Hierro)	1.0	3.0
CaO (Óxido de Calcio)	39.7	58.8
MgO (Óxido de Magnesio)	1.1	1.4
K_2O (Óxido de Potasio)	0.8	0.7
Na_2O (Óxido de Sodio)	0.9	0.8

❖ Aditivo

Como aditivo se utilizó MasterGlenium® 3200 es un aditivo reductor de agua de alto rango de nueva generación basado en la tecnología de polycarboxilatos; el aditivo MasterGlenium® 3200 es muy efectivo para producir mezclas de niveles de trabajabilidad, inyectando aplicaciones que requieren el uso de concreto autoconsolidante; el aditivo MasterGlenium® 3200 también es efectivo para producir mezclas con requisitos de resistencias iniciales muy altas cumpliendo con la norma NMX-C-255-ONNCCE-2013. (SOLUTIONS, 2017)

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

3. Resultados y análisis.

3.1.- Proceso de elaboración de concreto autoconsolidante.

3.1.1. Ensayo No. 1 “Muestra fluida”

Los materiales que se emplearon son (vea figura 9):

- Cemento Portland Compuesto tipo II.
- Arena de río.
- Grava de ½”
- Aditivo
- Agua.

Figura 9.

Materiales utilizados en el ensayo 1.



- ✓ Dosificación (vea tabla 8):

Tabla 8.

Dosificación empleada en la primera práctica.

Resistencia (kg/cm ²)	Arena (kg)	Grava (kg)	Agua (lts)	Aditivo 2%(ml)	Cemento (kg)
310	48.690	48.700	12.79	443.2	22.160

EL concreto se elaboró con una revolvedora, colocando primero la grava, el peso total de la arena, agua para humedecer el material, se colocó todo el cemento y al final el restante de agua, para revolver todo junto con el aditivo.

Al introducir todos los materiales, se procede a homegenizar la mezcla de acuerdo a la normativa vigente NMX-C-159-ONNCCE-2016, respecto a la elaboración y curado de las muestras de los cilindros de concreto, se revuelve por aproximadamente 3 minutos y posteriormente por oros dos minutos, para posteriormente vaciar el concreto y realizar las pruebas correspondientes de la ENFAR, como se demuestran en las figuras 10, 11, 12 y 13:

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Figura 10.

Extensión de flujo con anillo japonés para el ensayo 1.



Figura 11.

Extensión de flujo con anillo japonés para el ensayo 1.



Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Figura 12.

Método de la caja en L para el ensayo 1



Figura 13.

Extensión de flujo sin anillo del ensayo 1



Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

En la tabla 9 se muestran los datos de la prueba con anillo japonés.

Tabla 9.

Datos de la prueba con anillo japonés del ensayo 1.

MÉTODO DE EXTENSIÓN CON ANILLO

	D ₁	D ₂	D _f	H ₁ (INTERIOR)	H ₂ (EXTERIOR)	A ₁	A ₂
MUESTRA FLUÍDA	52.0	54.0	53.0	8.0	11.0	4.0	1.0

En la tabla 10 se muestran los resultados de la caja en L.

Tabla 10.

Resultados del método de la caja en L

MÉTODO DE LA CAJA EN "L"

	T ₆₀	H ₁	H ₂	H ₂ /H ₁
MUESTRA FLUÍDA	42.2	23.5	11.5	0.49

Vea tabla 11 para observar los resultados de la prueba extensión de flujo.

Tabla 11.

Resultados muestra fluida en la prueba de extensión de flujo

MÉTODO DE EXTENSIÓN DE FLUJO

	D ₁	D ₂	D _f	T ₅₀
MUESTRA FLUÍDA	57.0	59.0	58.0	9.21

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

NOTA. En la prueba del anillo J o japonés se puede comprobar que no cumple con las alturas requeridas, ya que las varillas dificultan el paso del concreto, no presenta una segregación pero no fluye, y con la prueba de extensión, se observa que no cumple, ya que los diámetros del ensayo están fuera del rango según la normatividad.

En el método de la caja en L, se puede observar erróneo, ya que la mezcla no fluyó entre las barras, por lo que no se puede definir como un Concreto Autoconsolidante.

Al finalizar se llenaron los cilindros que servirán como pruebas de resistencia (vea figura 14,15 y 16).

Figura 14.

Llenado de cilindros ensayo 1



Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Figura 15.

Realización de las pruebas en estado endurecido ensayo 1



Figura 16.

Prueba final de la mezcla en estado endurecido.



Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

NOTA. Al finalizar la prueba, se tomaron en cuenta información correspondiente para ser analizada y concluir si es un concreto Autoconsolidante, tomando en cuenta que la resistencia esperada es de 310 kg/cm².

3.1.2. Ensayo No. 2 “Muestra con CBC (5%) respecto al cemento”

A continuación, se usa la ceniza de bagazo de caña con un porcentaje del 5% respecto al peso del cemento. (vea tabla 12).

✓ Dosificación:

Tabla 12.

Dosificación para la mezcla con el 5% de CBC.

Resistencia (kg/cm ²)	Arena (kg)	Grava (kg)	Agua (lts)	Aditivo (ml)	Cemento (kg)	CBC 5% (kg)
310	48.690	48.700	12.79	443.2	22.160	1.108

Para llevar a cabo la fabricación del Concreto Autoconsolidante, es la misma que la anterior, al realizar la mezcla se realizan las pruebas normativas de la ENFAR, mostradas en las figuras 17, 18 y 19, así como en las tablas 13, 14 y 15.

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Figura 17.

Prueba con anillo japonés



Tabla 13.

Resultados de la prueba con anillo.

MÉTODO DE EXTENSIÓN CON ANILLO

	D1	D2	Df	H1 (INTERIOR)	H2 (EXTERIOR)	A1	A2
CAC - 5% CBC	48.0	51.0	49.5	8.0	11.0	4.0	1.0

Figura 18.

Prueba de extensión de flujo sin anillo



Tabla 14.

Resultados de la prueba extensión de flujo.

MÉTODO DE EXTENSIÓN DE FLUJO

	D ₁	D ₂	D _f	T ₅₀
CAC - 5% CBC	45.0	46.0	45.5	10.23

Figura 19.

Método de la caja en L



Tabla 15.

Resultados del método de la caja en L con el 5% de CBC.

MÉTODO DE LA CAJA EN "L"

	T_{60}	H_1	H_2	H_2/H_1
CAC - 5% CBC	103.1	---	---	---

NOTA. Al agregarle el 5% de CBC, no tuvo mucha variante a la anterior, sigue presentando mucha segregación, así como en las pruebas con y sin anillo no fluyó uniformemente, ya que gran parte de la mezcla quedó en las varillas, fluyendo únicamente el agua, en la prueba de extensión, los diámetros

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

no fueron los idóneos e incorrectos según la normativa ENFAR; para el método de la caja en L no fluyó uniformemente, se obstaculizó en las varillas, por lo que aún no se puede considerar un concreto Autoconsolidante.

Se realizaron los llenados de los cilindros para llevar a cabo las pruebas con el porcentaje del 5%, se realizaron las pruebas de resistencia a los 14, 28 y 56 días para obtener una referencia amplia, y así poder analizar los datos recabados de la investigación (véase la figura 20 y 21)

Figura 20.

Colocación del cilindro para realización de la prueba en estado endurecido.



Figura 21.

Ensayo en estado endurecido.

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.



3.1.3. Ensayo No. 3 “Muestra con CBC (10%) respecto al cemento”

Para éste capítulo, se aumentará el porcentaje de la ceniza a un 10%, se seguirá el mismo procedimiento inicial como en la tabla 16, teniendo una relación de agua y cemento del 0.5.

Al finalizar la mezcla, se vacía, en una carretilla, para poder realizar pruebas descritas anteriormente, como se muestra en la figura 22, 23 y 24, mostrando los resultados en las tablas 17, 18 y 19.

✓ Dosificación:

Tabla 16.

Dosificación para la mezcla con el 10% de CBC.

Resistencia (kg/cm ²)	Arena (kg)	Grava (kg)	Agua (lts)	Aditivo (ml)	Cemento (kg)	CBC 10% (kg)
310	48.690	48.700	12.79	443.2	22.160	2.216

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Figura 22.

Prueba de extensión de flujo con anillo japonés ensayo 3.



Tabla 17.

Resultados de la prueba extensión de flujo con anillo, con el 10% de CBC

MÉTODO DE EXTENSIÓN CON ANILLO

	D ₁	D ₂	D _f	H ₁ (INTERIOR)	H ₂ (EXTERIOR)	A ₁	A ₂
CAC - 10% CBC	64.0	65.0	64.5	8.0	10.5	4.0	1.5

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Figura 23.

Prueba de extensión de flujo sin anillo



Tabla 18.

Resultados prueba extensión de flujo con el 10% de CBC

MÉTODO DE EXTENSIÓN DE FLUJO

	D ₁	D ₂	D _f	T ₅₀
CAC - 10% CBC	69.0	69.0	69.0	2.90

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Figura 24.

Método de la caja en L



Tabla 19.

Resultados de la caja en L con el 10% de CBC.

MÉTODO DE LA CAJA EN "L"

	T ₆₀	H ₁	H ₂	H ₂ /H ₁
CAC - 10% CBC	21.2	10.0	8.5	0.85

NOTA. En comparación de la práctica anterior, se observa un cambio en el concreto, las pruebas realizadas de anillo J, están dentro del rango, fluyó de buena manera y no se obstaculiza en las varillas, en la prueba de extensión se presentaron diámetros dentro de la normatividad ENFAR para un Concreto Autoconsolidante, en la prueba de extensión se observaron diámetros permitidos, ya que no presentó segregación, para el método de la caja en L, el CAC cumplió con los segundos requeridos y fluyó de manera correcta, teniendo como resultado un CAC de buena calidad.

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Al finalizar las pruebas según la normatividad ENFAR, se llevó a cabo el llenado de los cilindros para realizar las mismas pruebas de la dosificación anterior, tal y como se muestra en la figura 25 y 26, en donde se observa los datos obtenidos en el siguiente capítulo.

Figura 25.

Ensayo del cilindro con porcentaje del 10% de CBC



Figura 26.

Finalización de la prueba en estado endurecido con el 10% de CBC



Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

3.1.4. Ensayos No. 4 “Muestra con el 15% de CBC”

En este subtema, se aumentará la ceniza de bagazo de caña al 15%, respecto al peso del cemento, para ver el comportamiento o los cambios que se muestren en los ensayos. (vea tabla 20).

✓ Dosificación:

Tabla 20.

Dosificación para la mezcla con el 15 % de CBC.

Resistencia (kg/cm ²)	Arena (kg)	Grava (kg)	Agua (lts)	Aditivo (ml)	Cemento (kg)	CBC 15% (kg)
310	48.690	48.700	12.79	443.2	22.160	3.324

Para llevar a cabo la mezcla se lleva el mismo procedimiento de las adiciones anteriores. (véase figura 27, 28 y 29 y tablas 21, 22 y 23)..

Figura 27.

Prueba de flujo con anillo japonés con el 15 % de CBC.



Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Tabla 21.

Resultados con el 15% de CBC en la prueba de extensión con anillo

MÉTODO DE EXTENSIÓN CON ANILLO

	D ₁	D ₂	D _f	H ₁ (INTERIOR)	H ₂ (EXTERIOR)	A ₁	A ₂
CAC - 15% CBC	59.0	58.0	58.5	8.5	11.0	3.5	1.0

Figura 28.

Prueba de extensión de flujo sin anillo con el 15% de CBC



Tabla 22.

Resultados con el 15% de CBC en la prueba extensión de flujo

MÉTODO DE EXTENSIÓN DE FLUJO

	D ₁	D ₂	D _f	T ₅₀
CAC - 15% CBC	69.0	71.0	70.0	3.22

Figura 29.

Método de la caja en L con el 15% de CBC



Tabla 23.

Resultados del método de la caja en L con el 15% de CBC.

MÉTODO DE LA CAJA EN "L"

	T ₆₀	H ₁	H ₂	H ₂ /H ₁
CAC - 15% CBC	13.8	10.0	8.0	0.80

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

NOTA.

Al concluir el procedimiento con este porcentaje de adición , la prueba de anillo J, los diámetros fueron mas reducidos en comparación con la adición anterior, presentando una mayor altura en ambos lados del anillo, en las varillas se obtuvo una menor obstaculización, el recorrido de la mezcla llevo un poco mas de tiempo que la adición anterior, dando diámetros de extensión de acuerdo a la normativa ENFAR.

Para el método de la caja en L se comportó de buena manera, ya que no existió segregación, por lo que se concluye como un CAC óptimo.

A continuación, se llenan los cilindros para llevar a cabo las pruebas de resistencia mecánica tal y como se muestran en las figuras siguientes.

Figura 30.

Realización de la prueba en estado endurecido con el 15% de CBC



Figura 31.

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Prueba concluida del cilindro en estado endurecido.



3.1.5. Ensayo No. 5 “Muestra con el 20% de CBC”

Conforme se han ido elaborando las pruebas, se ha ido mejorando los resultados, de acuerdo a lo esperado, en este tema se realizará un CAC con un 20% de CBC para realizar las pruebas y ver los resultados de la mezcla, con la dosificación de la tabla 24.

✓ Dosificación:

Tabla 24.

Dosificación para la mezcla con el 20% de CBC.

Resistencia (kg/cm ²)	Arena (kg)	Grava (kg)	Agua (lts)	Aditivo (ml)	Cemento (kg)	CBC 20% (kg)
310	48.690	48.700	12.79	443.2	22.160	4.432

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Se realiza el mismo procedimiento de las adiciones anteriores y se realizaron las mismas pruebas para observar el comportamiento de la mezcla (vea la figura 32, 33 y 34 y obtener los resultados de cada una de estas mostrados en la tabla 25, 26 y 27.)

Figura 32.

Prueba de extensión de flujo con anillo japonés con el 20 % de CBC



Tabla 25.

Resultados obtenidos de la prueba con anillo.

MÉTODO DE EXTENSIÓN CON ANILLO

	D ₁	D ₂	D _f	H ₁ (INTERIOR)	H ₂ (EXTERIOR)	A ₁	A ₂
CAC - 20% CBC	59.0	57.0	58.0	9.0	10.0	3.0	2.0

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Figura 33.

Prueba de extensión de flujo sin anillo con el 20% de CBC

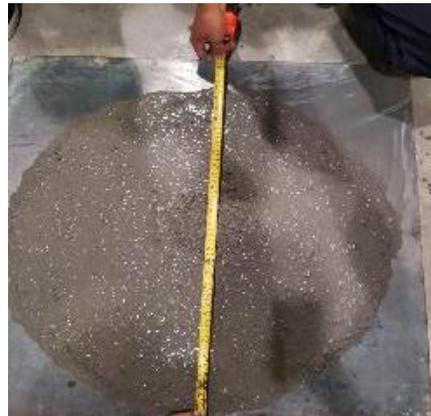


Tabla 26.

Resultados obtenidos de la prueba extensión de flujo sin anillo con el 20% de CBC

MÉTODO DE EXTENSIÓN DE FLUJO

	D ₁	D ₂	D _f	T ₅₀
CAC - 20% CBC	68.0	68.0	68.0	3.74

Figura 34.

Método de la caja en L



Tabla 27.

Resultados del método de la caja en L con el 20% de CBC.

MÉTODO DE LA CAJA EN "L"

	T ₆₀	H ₁	H ₂	H ₂ /H ₁
CAC - 20% CBC	8.6	9.0	8.0	0.89

NOTA. Para la prueba del anillo J se detuvo un poco más que la adición anterior, la cual provocó aumentos en las alturas, las pruebas de extensión fueron similares a las anteriores, para la prueba de

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

la caja en L el concreto avanzó más rápido y no hubo una segregación, dando parámetros dentro de las normas ENFAR, para posteriormente realizar el llenado de cilindros (véase la figura 35 y 36).

Figura 35.

Ensayo del cilindro con el 20% de CBC.



Figura 36.

Resultado del ensayo a compresión.



Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

3.1.6. Ensayo No.6 “Muestra con el 25 % de CBC”

Se realiza una prueba final, adicionándole el 25% de ceniza de bagazo de caña, para observar el comportamiento de la mezcla (ver figura 37).

✓ Dosificación:

Tabla 28.

Dosificación para la mezcla con el 25% de CBC

Resistencia (kg/cm ²)	Arena (kg)	Grava (kg)	Agua (lts)	Aditivo (ml)	Cemento (kg)	CBC 25% (kg)
310	48.690	48.700	12.79	443.2	22.160	5.540

Para elaborar el concreto, se seguirá el mismo procedimiento que con las adiciones anteriores, realizando la toma de resultados como se ve en la figura 37, 38 y 39. Observando los resultados en las tablas 29, 30 y 31.

Figura 37.

Prueba de extensión de flujo con anillo japonés.



Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Tabla 29.

Resultados de la última prueba con el 25% de CBC

MÉTODO DE EXTENSIÓN CON ANILLO

	D ₁	D ₂	D _f	H ₁ (INTERIOR)	H ₂ (EXTERIOR)	A ₁	A ₂
CAC - 25% CBC	69.0	68.0	68.5	9.5	11.0	2.5	1.0

Figura 38.

Extensión de flujo sin anillo con el 25% de CBC.



Tabla 30.

Resultados de la prueba sin anillo japonés con el 25% de CBC.

MÉTODO DE EXTENSIÓN DE FLUJO

	D ₁	D ₂	D _f	T ₅₀
CAC - 25% CBC	69.0	70.0	69.5	4.27

Figura 39.

Método de la caja en L.



Tabla 31.

Resultado de la última prueba con el 25% de CBC

MÉTODO DE LA CAJA EN "L"

	T ₆₀	H ₁	H ₂	H ₂ /H ₁
CAC - 25% CBC	4.2	9.0	8.0	0.89

NOTA. Al concluir el procedimiento se observaron los resultados con anillo J, y se demostró que al adicionar más CBC la mezcla se fue densificando, provocando mayor altura dentro y fuera del anillo, eso quiere decir que hubo una mayor segregación y dificultad al pasar las varillas. En la prueba de extensión la amplitud fue similar a las anteriores, aunque el tiempo fue mayor; para el método de caja en L, fluyó más lentamente, teniendo segregación en la mezcla

Se procede a llenar los cilindros, para realizar las pruebas mencionadas en los subtemas anteriores, que se muestran en las figuras 40 y 41.

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Figura 40.

Inicio de la prueba en estado endurecido con 25% de CBC



Figura 41.

Finalización de la prueba en estado endurecido con el 25% de C



Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

3.2.- Análisis de resultados.

La tabla 32 muestra los parámetros de la norma ENFAR, para determinar los parámetros de evaluación de un concreto autoconsolidante adicionado.

Tabla 32.

Parámetros establecidos por la norma ENFAR

MÉTODO / EVALUACIÓN	RANGOS		UNIDADES
	MIN	MAX	
Extensión de Flujo (Diámetro)	650	800	mm
Extensión de Flujo, T _{50cm}	2	5	seg
Extensión con Anillo (diferencia de alturas)	0	10	mm
Caja en L	0.8	1	H ₂ /H ₁

3.2.1. Pruebas de concreto en estado fresco.

En la tabla 33 se pueden ver los resultados de la prueba de extensión sin anillo J, de las muestras realizadas en el capítulo.

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Tabla 33.

Resultados de la prueba de extensión de flujo sin anillo japonés.

MÉTODO DE EXTENSIÓN DE FLUJO

	D ₁	D ₂	D _f	T ₅₀
MUESTRA DE CONTROL	---	---	---	---
MUESTRA FLUÍDA	57.0	59.0	58.0	9.21
Concreto con 5% de CBC	45.0	46.0	45.5	10.23
Concreto con 10% de CBC	69.0	69.0	69.0	2.90
Concreto con 15% de CBC	69.0	71.0	70.0	3.22
Concreto con 20% de CBC	68.0	68.0	68.0	3.74
Concreto con 25% de CBC	69.0	70.0	69.5	4.27

Para el método de extensión de flujo la diferencia de diámetros finales, tomando en cuenta el tiempo desde que se levanto el cono de Abrahams hasta alcanzar las marcas de 50 cms (T₅₀), demostrados en la tabla 34.

Tabla 34.

Ensayos que pasaron el método de extensión de flujo.

PORCENTAJES QUE PASAN EL METODO DE EXTENSION DE FLUJO

	D ₁	D ₂	D _f	T ₅₀
CAC - 10% CBC	69.0	69.0	69.0	2.90
CAC - 15% CBC	69.0	71.0	70.0	3.22
CAC - 20% CBC	68.0	68.0	68.0	3.74
CAC - 25% CBC	69.0	70.0	69.5	4.27

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Tabla 35.

Resultados de la prueba con el método de extensión de flujo con anillo japonés.

MÉTODO DE EXTENSIÓN CON ANILLO

	D ₁	D ₂	D _f	H ₁ (INTERIOR)	H ₂ (EXTERIOR)	A ₁	A ₂
MUESTRA DE CONTROL	---	---	---	---	---	---	---
MUESTRA FLUÍDA	52.0	54.0	53.0	8.0	11.0	4.0	1.0
Concreto con 5% de CBC	48.0	51.0	49.5	8.0	11.0	4.0	1.0
Concreto con 10% de CBC	64.0	65.0	64.5	8.0	10.5	4.0	1.5
Concreto con 15% de CBC	47.0	47.0	47.0	8.5	11.0	3.5	1.0
Concreto con 20% de CBC	59.0	57.0	58.0	9.0	10.0	3.0	2.0
Concreto con 25% de CBC	69.0	68.0	68.5	9.5	11.0	2.5	1.0

En los ensayos de la extensión con anillo se obtuvieron diferencias de alturas en los lados del anillo, los cuales no deben superar los 10 mm, las muestras con estas características se muestran a continuación. (vea tabla 36).

Tabla 36.

Ensayos que cumplen con los parámetros del método de extensión con anillo.

ENSAYOS QUE CUMPLEN LA PRUEBA CON ANILLO

	D ₁	D ₂	D _f	H ₁ (INTERIOR)	H ₂ (EXTERIOR)	A ₁	A ₂
CAC - 20% CBC	59.0	57.0	58.0	9.0	10.0	3.0	2.0

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Tabla 37.

Resultados de los ensayos del método de la caja en L

MÉTODO DE LA CAJA EN "L"

	T ₆₀	H ₁	H ₂	H ₂ /H ₁
MUESTRA DE CONTROL	---	---	---	---
MUESTRA FLUÍDA	42.2	23.5	11.5	0.49
Concreto con 5% de CBC	103.1	---	---	---
Concreto con 10% de CBC	21.2	10.0	8.5	0.85
Concreto con 15% de CBC	11.4	14.5	3.0	0.21
Concreto con 20% de CBC	8.6	9.0	8.0	0.89
Concreto con 25% de CBC	4.2	9.0	8.0	0.89

Para el procedimiento de la caja en L se identificaron valores, los cuales bloquearon al concreto al pasar por las varillas, el coeficiente del bloque entre H₂/H₁, resultados en la tabla 38

Tabla 38.

Ensayos que pasan los parámetros en el método de la caja en L.

MÉTODO DE LA CAJA EN "L"

	T ₆₀	H ₁	H ₂	H ₂ /H ₁
CAC - 10% CBC	21.2	10.0	8.5	0.85
CAC - 20% CBC	8.6	9.0	8.0	0.89
CAC - 25% CBC	4.2	9.0	8.0	0.89

En la tabla 39 se concentran cada uno de los resultados obtenidos.

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Tabla 39.

Comparación de los resultados de cada una de las pruebas realizadas.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERÍA				
COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS				
PRUEBA / MÉTODO	Extensión de Flujo (Diámetro)	Extensión de Flujo T50cm	Extensión con Anillo (diferencia de alturas)	Caja en L
MUESTRA DE CONTROL	x	x	x	x
MUESTRA FLUÍDA	x	x	x	x
Concreto con 5% de CBC	x	x	x	x
Concreto con 10% de CBC	√	√	x	√
Concreto con 15% de CBC	√	√	x	x
Concreto con 20% de CBC	√	√	√	√
Concreto con 25% de CBC	√	√	x	√

Se puede determinar que la ceniza de bagazo de caña se comporto de mejor manera adicionándole un 20% respecto al peso del cemento, ya que fue el único porcentaje que cumple con todos los parámetros de la normativa de la ENFAR, presentando mejores condiciones para un concreto autoconsolidante.

3.3. Pruebas de concreto para resistencia mecánica.

Las pruebas de resistencia mecánica se realizaron en el laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería en Tuxtla Gutiérrez, con la prensa que se especializa para los cilindros destructivos, tomando en cuenta que cada uno de los ensayos fueron diseñados para obtener una resistencia de 310 kg/cm² que será tomada en cuenta para resultados finales.

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

3.3.1. Muestra de control.

Los resultados para resistencia mecánica se muestran en la tabla 40 y graficándose en la tabla 3.3.1.1.

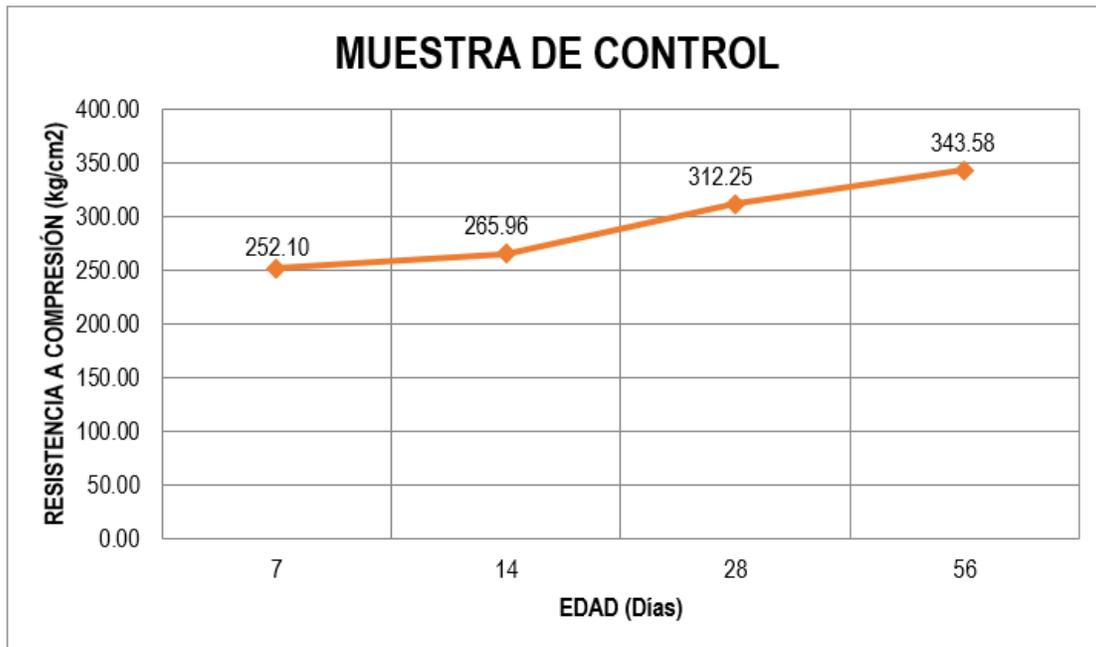
Tabla 40.

Resultados en estado endurecido a compresión de la muestra de control.

No. de muestra	Muestra	CBC	ADITIVO	Edad, Días	Ø ₁ (cm)	Ø ₂ (cm)	Ø prom (cm)	Área (cm ²)	Altura (cm ²)	Volumen (cm ³)	Peso (kg)	Peso volumétrico (kg/m ³)	Carga de ruptura (kg/cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)
1	CONTROL	0%	0%	7	15.0	15.0	15.0	176.71	30.0	5301.30	12.502	2358	47012	266.04
2	CONTROL	0%	0%	7	15.0	15.1	15.1	179.08	30.0	5372.40	12.360	2301	42648	238.15
3	CONTROL	0%	0%	14	15.0	15.1	15.1	179.08	30.0	5372.40	12.463	2320	45321	253.08
4	CONTROL	0%	0%	14	15.0	15.0	15.0	176.71	30.0	5301.30	12.396	2338	49274	278.84
5	CONTROL	0%	0%	28	15.2	15.0	15.1	179.08	30.0	5372.40	12.367	2302	54045	301.79
6	CONTROL	0%	0%	28	15.0	15.1	15.1	179.08	30.0	5372.40	12.540	2334	57789	322.70
7	CONTROL	0%	0%	56	14.9	15.0	15.0	176.71	30.0	5301.30	12.421	2343	62982	356.41
8	CONTROL	0%	0%	56	15.0	15.0	15.0	176.71	30.0	5301.30	12.388	2337	58446	330.75

Figura 42.

Gráfica de los Resultados de la resistencia a compresión de la muestra de control.



Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Cabe mencionar que cada una de las pruebas que se realizaron fue para un concreto de 310 kg/cm² para obtener un concreto autoconsolidante óptimo

3.3.2. Muestra fluida 2% de aditivo

Para la muestra inicial de la investigación se observaron los resultados en la tabla 41, las cuales fueron graficadas en la figura 43.

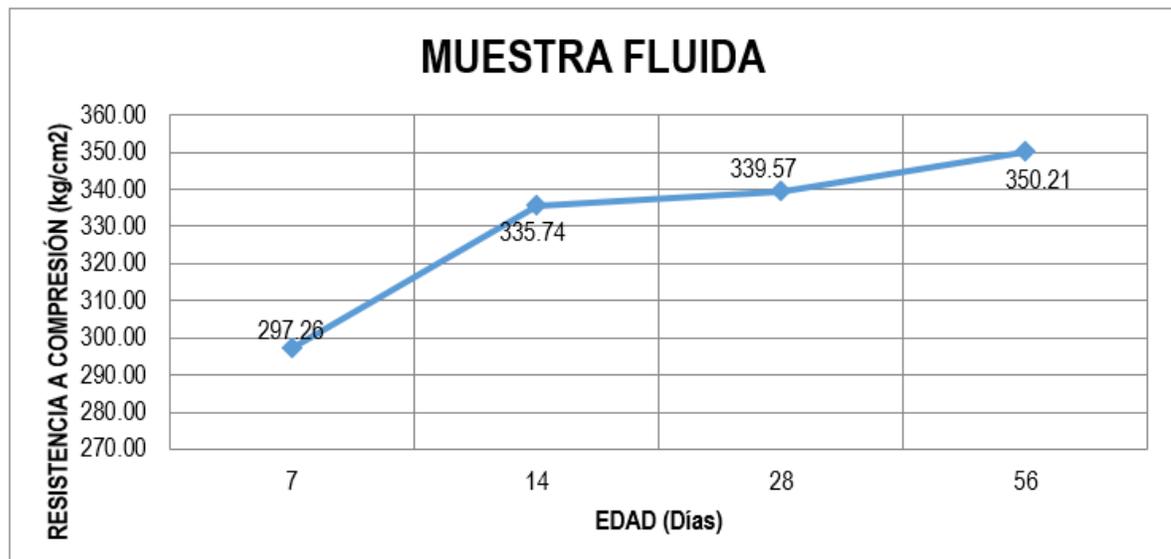
Tabla 41.

Resultados a compresión de la muestra fluida con el 2% de aditivo.

No. de muestra	Muestra	CBC	ADITIVO	Edad (Días)	Ø ₁ (cm)	Ø ₂ (cm)	Ø prom (cm)	Área (cm ²)	Altura (cm ²)	Volumen (cm ³)	Peso (kg)	Peso volumétrico (kg/m ³)	Carga de ruptura (kg/cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)
1	CONTROL	0%	2%	7	15.0	15.0	15.0	176.71	30.0	5301.30	12.215	2304	54413	307.92
2	CONTROL	0%	2%	7	15.0	15.1	15.1	179.08	30.0	5372.40	12.273	2284	51325	286.60
3	CONTROL	0%	2%	14	15.0	15.1	15.1	179.08	30.0	5372.40	12.377	2304	62158	347.10
4	CONTROL	0%	2%	14	15.0	15.0	15.0	176.71	30.0	5301.30	12.166	2295	57321	324.38
5	CONTROL	0%	2%	28	15.0	15.2	15.1	179.08	30.0	5372.40	12.320	2293	58132	324.61
5	CONTROL	0%	2%	28	15.0	15.1	15.1	179.08	30.0	5372.40	12.182	2268	63487	354.52
7	CONTROL	0%	2%	56	15.0	15.0	15.0	176.71	30.0	5301.30	12.021	2268	63410	358.84
8	CONTROL	0%	2%	56	15.2	15.0	15.1	179.08	30.0	5372.40	12.125	2257	61171	341.58

Figura 43.

Gráfica de resultados de las resistencias de la muestra fluida.



Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

El aditivo colaboro para obtener una mayor resistencia a comparación de la muestra realizada anteriormente.

3.3.3. Muestra con el 5 % de CBC.

En la tabla 42 se presentan los resultados con una adición del 5% de ceniza respecto al peso del cemento de la muestra. Misma que es graficada en la figura 44.

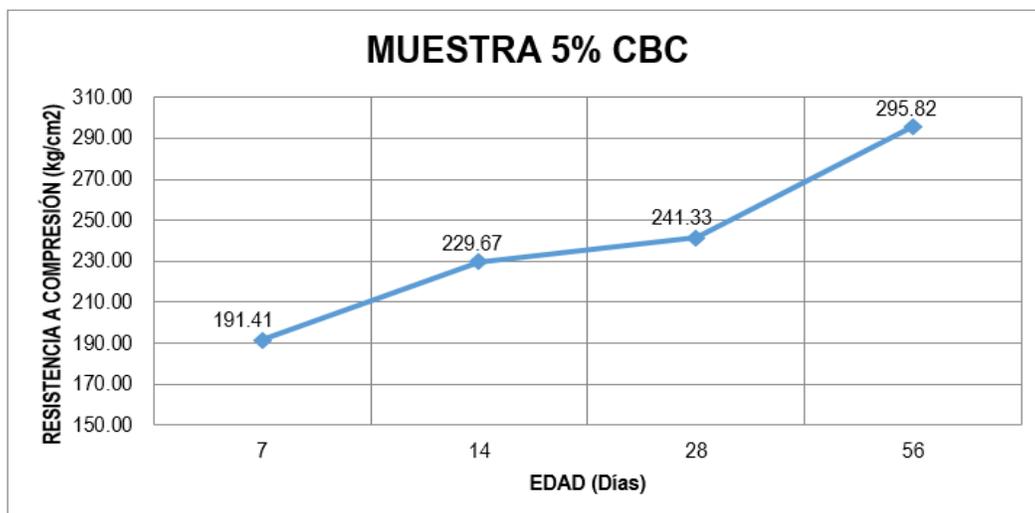
Tabla 42.

Resultados a compresión del ensayo con el 5% de CBC.

No. de muestra	Muestra	CBC	ADITIVO	Edad (Días)	\varnothing_1 (cm)	\varnothing_2 (cm)	\varnothing prom (cm)	Área (cm ²)	Altura (cm)	Volumen (cm ³)	Peso (kg)	Peso volumétrico (kg/m ³)	Carga de ruptura (kg/cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)
1	CONTROL	5%	2%	7	15.0	15.1	15.1	179.08	30.0	5372.40	12.520	2330	32868	183.54
2	CONTROL	5%	2%	7	15.0	15.0	15.0	176.71	30.0	5301.30	12.344	2328	35214	199.28
3	CONTROL	5%	2%	14	15.0	15.0	15.0	176.71	30.0	5301.30	12.574	2372	39394	222.93
4	CONTROL	5%	2%	14	15.1	15.0	15.1	179.08	30.0	5372.40	12.221	2275	42337	236.41
5	CONTROL	5%	2%	28	15.0	15.1	15.1	179.08	30.0	5372.40	12.470	2321	44960	251.06
6	CONTROL	5%	2%	28	15.1	15.1	15.1	179.08	30.0	5372.40	12.415	2311	41475	231.60
7	CONTROL	5%	2%	56	14.9	15.0	15.0	176.71	30.0	5301.30	12.093	2281	53354	301.93
8	CONTROL	5%	2%	56	15.0	15.1	15.1	179.08	30.0	5372.40	12.238	2278	51881	289.71

Figura 44.

Gráfica de resultados de las resistencias de la muestra con el 5% de CBC.



Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Como se logra ver, las pruebas mecánicas de resistencia no alcanzaron para lo que fue diseñado, teniendo como resistencia a los 56 días 295.82 kg/cm².

3.3.4. Muestra con el 10 % de CBC

En la tabla 43 se presentan los resultados con una adición del 10% de ceniza respecto al peso del cemento de la muestra. Misma que es graficada en la figura 45.

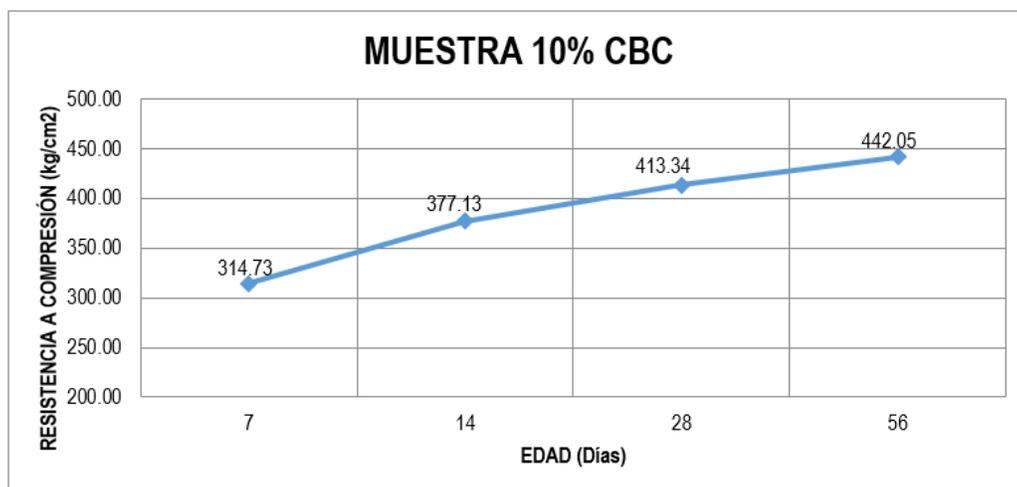
Tabla 43.

Resultados de la prueba a compresión del ensayo con el 10% de CBC.

No. de muestra	Muestra	CBC	ADITIVO	Edad (Días)	Ø ₁ (cm)	Ø ₂ (cm)	Ø prom (cm)	Área (cm ²)	Altura (cm ²)	Volumen (cm ³)	Peso (kg)	Peso volumétrico (kg/m ³)	Carga de ruptura (kg/cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)
1	CONTROL	10%	2%	7	15.0	15.0	15.0	176.71	30.0	5301.30	12.235	2308	57626	326.10
2	CONTROL	10%	2%	7	15.1	15.1	15.1	179.08	30.0	5372.40	12.455	2318	54324	303.35
3	CONTROL	10%	2%	14	15.1	14.9	15.0	176.71	30.0	5301.30	12.349	2329	65837	372.57
4	CONTROL	10%	2%	14	15.0	15.0	15.0	176.71	30.0	5301.30	12.276	2316	67446	381.68
5	CONTROL	10%	2%	28	15.0	15.0	15.0	176.71	30.0	5301.30	12.391	2337	70671	399.93
6	CONTROL	10%	2%	28	15.0	15.0	15.0	176.71	30.0	5301.30	12.495	2357	75411	426.75
7	CONTROL	10%	2%	56	15.1	15.0	15.1	179.08	30.0	5372.40	12.514	2329	80005	446.76
8	CONTROL	10%	2%	56	15.0	15.0	15.0	176.71	30.0	5301.30	12.473	2353	77282	437.34

Figura 45.

Gráfica de resultados de las resistencias de la muestra con el 10% de CBC.



Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

En este caso, se observa un buen comportamiento de la muestra, teniendo como resultado una alta resistencia a la que fue diseñada desde los 7 días.

3.3.5. Muestra con el 15 % de CBC.

En la tabla 44 se presentan los resultados con una adición del 15% de ceniza respecto al peso del cemento de la muestra. Misma que es graficada en la figura 46.

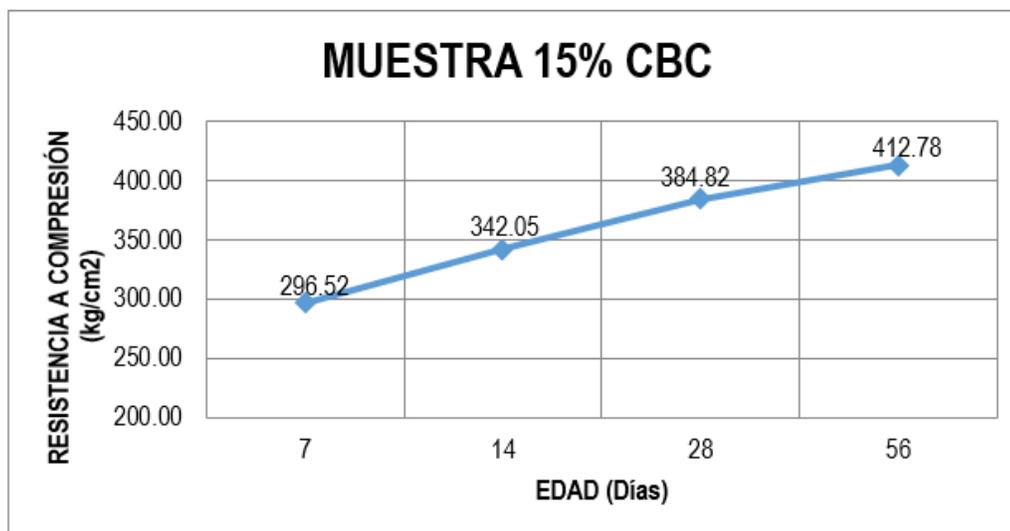
Tabla 44.

Resultados a compresión de la muestra con el 15 % de CBC.

No de muestra	Muestra	CBC	ADIT MO	Edad (Días)	Ø ₁ (cm)	Ø ₂ (cm)	Ø prom (cm)	Área (cm ²)	Altura (cm ²)	Volumen (cm ³)	Peso (kg)	Peso volumétrico (kg/m ³)	Carga de ruptura (kg/cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)
1	CONTROL	15%	2%	7	15.0	15.0	15.0	176.71	30.0	5301.30	12.269	2314	53839	304.67
2	CONTROL	15%	2%	7	15.1	15.0	15.1	179.08	30.0	5372.40	12.452	2318	51641	288.37
3	CONTROL	15%	2%	14	15.0	15.0	15.0	176.71	30.0	5301.30	12.431	2345	62292	352.51
4	CONTROL	15%	2%	14	15.1	15.1	15.1	179.08	30.0	5372.40	12.408	2310	59381	331.59
5	CONTROL	15%	2%	28	15.0	15.1	15.1	179.08	30.0	5372.40	12.333	2296	68599	383.06
6	CONTROL	15%	2%	28	15.1	15.0	15.1	179.08	30.0	5372.40	12.419	2312	69228	386.58
7	CONTROL	15%	2%	56	15.0	14.9	15.0	176.71	30.0	5301.30	12.345	2329	74167	419.71
8	CONTROL	15%	2%	56	15.0	15.0	15.0	176.71	30.0	5301.30	12.277	2316	71716	405.84

Figura 46.

Gráfica de resultados de las resistencias de la muestra con el 15% de CBC.



Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

La resistencia final del espécimen fue el correcto, superando la resistencia para la que fue diseñado.

3.3.6. Muestra con el 20% de CBC

En la tabla 45 se presentan los resultados con una adición del 20% de ceniza respecto al peso del cemento de la muestra. Misma que es graficada en la figura 47.

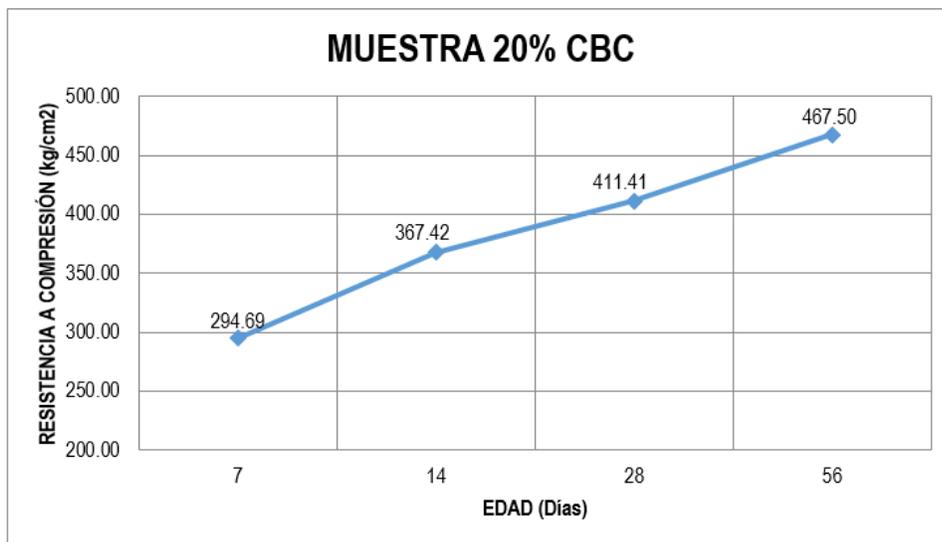
Tabla 45.

Resultados a compresión del ensayo con el 20 % de CBC.

No. de muestra	Muestra	CBC	ADITIVO	Edad (Días)	ϕ_1 (cm)	ϕ_2 (cm)	ϕ prom (cm)	Área (cm ²)	Altura (cm)	Volumen (cm ³)	Peso (kg)	Peso volumétrico (kg/m ³)	Carga de ruptura (kg/cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)
1	CONTROL	20%	2%	7	14.9	15.0	15.0	176.71	30.0	5301.30	11.814	2229	50553	286.08
2	CONTROL	20%	2%	7	15.0	15.1	15.1	179.08	30.0	5372.40	12.121	2256	54314	303.29
3	CONTROL	20%	2%	14	15.0	15.0	15.0	176.71	30.0	5301.30	11.973	2259	63203	357.67
4	CONTROL	20%	2%	14	15.1	15.0	15.1	179.08	30.0	5372.40	12.232	2277	67542	377.16
5	CONTROL	20%	2%	28	15.1	15.1	15.1	179.08	30.0	5372.40	12.248	2280	73227	408.91
6	CONTROL	20%	2%	28	15.0	15.2	15.1	179.08	30.0	5372.40	12.180	2267	74121	413.90
7	CONTROL	20%	2%	56	15.0	15.0	15.0	176.71	30.0	5301.30	12.143	2291	84868	480.27
8	CONTROL	20%	2%	56	15.1	15.1	15.1	179.08	30.0	5372.40	12.111	2254	81432	454.72

Figura 47.

Gráfica de las resistencias obtenidas para el 20% de CBC



Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Los especímenes con el 20% de CBC presenta una óptima resistencia mecánica después de ser evaluada en la prensa.

3.3.7. Muestra con el 25 % de CBC

En la tabla 46 se presentan los resultados con una adición del 25% de ceniza respecto al peso del cemento de la muestra. Misma que es graficada en la figura 48.

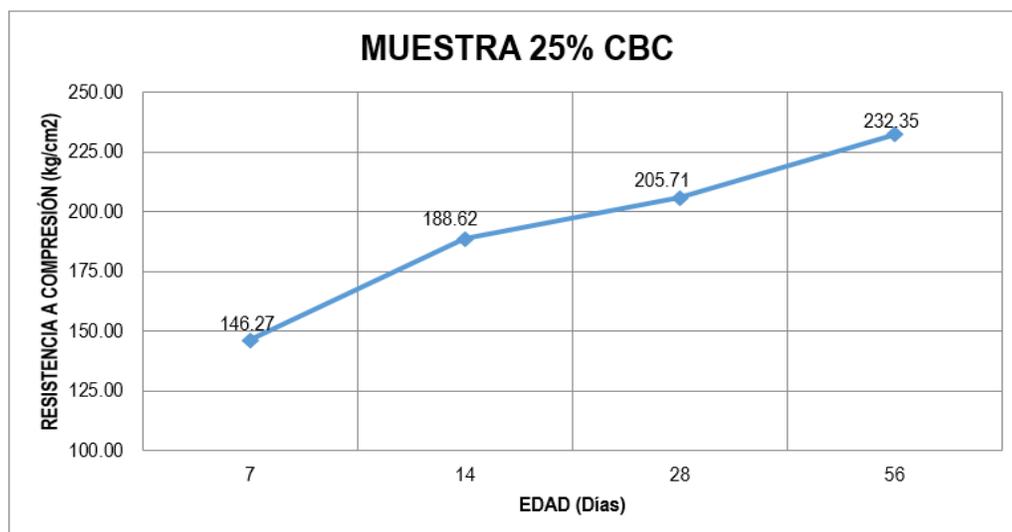
Tabla 46.

Resultados a compresión para las muestras con el 25% de CBC.

No. de muestra	Muestra	CBC	ADITIVO	Edad (Días)	\varnothing_1 (cm)	\varnothing_2 (cm)	\varnothing prom (cm)	Área (cm ²)	Altura (cm)	Volumen (cm ³)	Peso (kg)	Peso volumétrico (kg/m ³)	Carga de ruptura (kg/cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)
1	CONTROL	25%	2%	7	15.0	15.0	15.0	176.71	30.0	5301.30	11.490	2167	24733	139.96
2	CONTROL	25%	2%	7	15.1	15.0	15.1	179.08	30.0	5372.40	11.387	2120	27324	152.58
3	CONTROL	25%	2%	14	15.0	15.0	15.0	176.71	30.0	5301.30	11.430	2156	32215	182.30
4	CONTROL	25%	2%	14	15.1	15.0	15.1	179.08	30.0	5372.40	11.321	2107	34909	194.94
5	CONTROL	25%	2%	28	15.1	15.0	15.1	179.08	30.0	5372.40	11.335	2110	37506	209.44
6	CONTROL	25%	2%	28	15.0	15.0	15.0	176.71	30.0	5301.30	11.315	2134	35692	201.98
7	CONTROL	25%	2%	56	15.0	15.0	15.0	176.71	30.0	5301.30	11.339	2139	43160	244.24
8	CONTROL	25%	2%	56	15.1	15.1	15.1	179.08	30.0	5372.40	11.405	2123	39478	220.45

Figura 48.

Gráfica de resultados de las resistencias de la muestra con el 25% de CBC.



Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

3.4 Resistencia a compresión de todas las muestras

Al finalizar cada una de las pruebas mecánicas para los respectivos ensayos con las adicione, se elabora una gráfica para la comparación correspondiente.

Figura 49.

Gráfica de las resistencias a compresión de todas las muestras elaboradas.



Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES

4. Conclusiones

Al final de la investigación y analizando cada uno de los resultados que se obtuvieron después de los distintos procedimientos y pruebas realizadas, se puede determinar lo siguiente:

- Con los materiales utilizados de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez se pudo elaborar un concreto autoconsolidante, adicionando ceniza de bagazo de caña como filler.
- Las adiciones con mejor comportamiento fueron las del 10%, 15% y 20%, ya que cada uno presento una buena trabajabilidad y parámetros muy cercanos a los permitidos según la normativa ENFAR.
- Se puede determinar que la ceniza de bagazo de caña si funciona como una adición y filler, ya que ayuda a la mezcla a no segregarse.
- La adición con el porcentaje del 20% de ceniza de bagazo de caña fue la que tuvo un mejor comportamiento según la normativa europea y en las pruebas mecanizas en la prensa, realizadas en el laboratorio
- Al agregar la ceniza, las propiedades mecánicas de los ensayos, mejoraron notablemente, ya que aumentan en referencia a lo que fueron diseñados y elaborados.

El uso de la ceniza de bagazo de caña ayuda a la mezcla para elaboración de un concreto autoconsolidante, el cual ayuda a la industria de la construcción, ya que en ocasiones se presentan enconfrados donde se utiliza una gran cantidad de acero (varillas), las que impiden la fluidez de la mezcla; así mismo ayuda a la mitigación de un contaminante de los ingenios azucareros, os cuales no son aprovechados en su totalidad.

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Recomendaciones.

- La ceniza de bagazo de caña debe ser tamizada y posteriormente pasada por la malla número 200, esto colaborará a hacer una mezcla óptima.
- El tamaño de la grava utilizada en la investigación fue de $\frac{1}{2}$ " , esto ayudara a la fluidez de la mezcla
- Los parámetros idóneos para que un concreto autoconsolidante sea el adecuado, se deberán tomar los parámetros de la norma ENFAR.
- En esta investigación se agregó a la mezcla un aditivo reductor de agua de alto rango, la cual colabora para la fluidez de la mezcla.
- Se debe considerar realizar cada una de las pruebas de la normatividad ENFAR, las cuales nos brindarán los resultados adecuados y de características principales de un concreto autoconsolidante.
- El concreto autoconsolidante no se debe segregar, ni comportamientos que no permitan una mezcla correcta en donde los materiales se separen.

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

Referencias Bibliográficas.

- AGRICULTURA, O. D. (2016). *FAOSTAT*. Obtenido de www.fso.org
- APLICACIONES, I. E. (s.f.). *IECA*. Obtenido de IECA sitio web : <https://www.ieca.es/>
- ASSOCIATION, N. R. (2016). *NMRMCA*. Obtenido de www.nrmca.org
- Caicedo, S. H. (s.f.). *EVALUACIÓN DE LA CENIZA PROVENIENTE DEL BAGAZO DE CAÑA*.
- CALLEJA, D. J. (1983). *ADICIONES Y CEMENTO CON ADICIONES. MATERIALES DE CONSTRUCCION*, 9-11.
- Carpio Coronel, W., & Serrano Ruiz, G. (2019). *ELABORACIÓN DE UN CONCRETO AUTOCONSOLIDANTE CON ADICIÓN DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA COMO FILLER*. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- CERTIFICACION, A. E. (2013). *ESPAÑA Patente nº 83-300*.
- COLAN, P. B. (2013). *UTILIDAD DE LA NANOSILICE EN ELCONCRETO DE ALTA RESISTENCIA APLICADA A LA MINERIASUBTERRANEA*. Lima.
- DIANA V. VIDAL, J. T. (2014). *CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA PARA ELABORACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCION:ESTUDIO PRELIMINAR. REVISTA DE FÍSICA*, 1-10.
- E.Rama Sai, A. J. (2012). *worldsciencepublisher*. Obtenido de www.worldsciencepublisher.org
- EFNARC. (2002). *Especificaciones y directrices para el Hormigón autocompactable - HAC*.
- EFNARC achieving the highest standards Especificaciones y directrices para el Hormigón autocompactable - HAC* . (2002).
- ESQUIVEL, J. A. (2014). *EFFECTO SINÉRGICO DE LA CENIZA VOLANTE CON MICRO POLVO DE*. Nuevo León.
- LÒPEZ, H. J. (2012). *DISEÑO DE MEZCLA PARA UN CONCRETO AUTOCOMPACTANTE USANDO MATERIALES DE LA REGION* . TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS.

Estudio experimental de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autoconsolidantes.

MARTÍNEZ, O. G. (02 de Diciembre 2009). *CARACTERIZACIÓN ELECTROQUÍMICA DE CONCRETOS MODIFICADOS CON CBCA*. Xalapa, Veracruz: TESIS.

MARTÍNEZ, O. G. (2009). *CARACTERIZACIÓN ELECTROQUÍMICA DE CONCRETOS MODIFICADOS CON CBC*. XALAPA, VERACRUZ.

QUERO, M. C. (2013). EFECTO DE LA CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA Y CENIZA VOLANTE EN LA TRABAJABILIDAD, PROPIEDADES MECANICAS Y DURABILIDAD DE CONCRETOS TERNARIOS. CHIHUAHUA, CHIHUAHUA: CIMAV.

QUERO, M. C. (Abril 2013). *EFECTO DE LA CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA Y CENIZA VOLANTE EN LA*. Chihuahua, Chih.: TESIS .

RESERVADO. (s.f.). *FERRETERIA Y MADERAS*. Obtenido de <http://ferreteriamayol.com.do/ferreteria/materiales-de-construccion/cemento-gris-por-libra/>

REYES, A. A. (2007). *DESEMPEÑO DEL CONCRETO AUTOCOMPACTABLE*. Ciudad de México.

SOLUTIONS, M. B. (26 de 08 de 2016). *MASTER BUILDERS SOLUTIONS*. Obtenido de www.master-builders-solutions.basf.com.ve

SOLUTIONS, M. B. (2017). *Soluciones Químicas para la Industria de la Construcción*.

Tayyeb Akram, S. A. (18 de ABRIL de 2008). *CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS*. Obtenido de www.sciencedirect.com

TECNOLOGIA, N. D. (14 de FEBRERO de 2014). *NCYT*. Obtenido de <https://noticiasdelaciencia.com/art/9573/bagazo-de-cana-posible-componente-de-concreto-hidraulico>

TEQUENDAMA, C. (2017). *Copyright Cementos Tequendama*. Obtenido de www.cetesa.com

Toledo, U. I. (2010). *EFECTO DE UNA PUZOLANA DE DESPERDICIO AGRICOLA Y EL TIEMPO DE CURADO EN LA CORROSION DEL FERROCEMENTO*. SANTA CRUZ Xoxocotlan, Oaxaca: IPN.

UNE, A. E. (2013). *NORMAS UNE EN196-1:1994*. ESPAÑA