

Facultad de Tecnología de la Construcción

“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DEL CONCRETO EMPLEANDO LA CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR EN SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO”.

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero civil

Elaborado por:

Tutor:

Br. Jonatan David
Espinoza Morales
Carnet: 2017-0039U

Br. Jessy Osmary
Sobalvarro Monge
Carnet: 2017-0543U

Br. Eddy David
Munguia Munguia
Carnet: 2017-1044U

MSC. Silvia Isabel
Lindo O'connors

Agradecimientos

A Dios, por guiarnos, iluminarnos y darnos sabiduría, paciencia, entendimiento y fuerzas para sobrellevar todos los procesos para llegar a culminar esta etapa.

A nuestros padres, que son parte fundamental de nuestro crecimiento personal y profesional y siempre están dispuestos a todo por nosotros.

A nuestros maestros, especialmente a nuestra tutora, Ing. Silvia Lindo, por brindarnos su mano y guiarnos durante este camino; al Ing. Jhonny Robles por darnos su apoyo técnico y moral, regalarnos de su tiempo para compartir sus conocimientos con nosotros.

A nuestros amigos, que siempre estuvieron al pendiente de este proceso y nos brindaron su apoyo incondicional, en especial a nuestro estimadísimo amigo y colega Guillermo Corea, que contribuyó en el desarrollo de este trabajo.

Dedicatoria

A Dios por guiarme cada día a lo largo de esta travesía, dándome las fuerzas necesarias para salir adelante y poder superarme. A mis padres por todo el apoyo que me brindaron y sus consejos que nunca me faltaron. Así mismo agradezco a cada persona que se vio involucrada en apoyarme durante este camino.

Jonatan Espinoza

A Dios, primeramente, por darme salud y conocimiento para culminar mis estudios, por permitirme cumplir una más de las metas en mi vida, poder convertirme en un profesional y aportar al crecimiento de mi país.

A mis padres, Martha Adilia Munguía Estrada y Eddy Ramón Munguía Bermúdez, por ser los pilares fundamentales de mi vida, por el apoyo que día a día me brindaron con mucho amor y esfuerzo, por enseñarme que todo se puede lograr con dedicación, esfuerzo, perseverancia, deseo de superación, preparándome día a día para recorrer este camino y sus diferentes obstáculos con el deseo de seguir saliendo adelante y nunca rendirme.

A mi familia, en especial a mis hermanas Saedith Bismara Munguía y Katerin Karola Munguía, que juntos aprendimos a valorar la convivencia familiar y apoyarnos siempre ante los diferentes problemas con el fin de alcanzar cada uno de nuestros logros soñados con mucho esfuerzo y siempre de la mano de Dios.

A mis amigos Verónica Lisbeth Núñez, Kenner Antonio Báez, Tatiana González López, Grechell Yarusca Blandón por acompañarme en este largo y duro camino, por apoyarme siempre que los necesite, por brindarme su amistad sincera y apoyo incondicional, los cuales nunca dejaron de creer en mí, y siempre me alentaron a seguir triunfando en la vida.

A mi compañera de tesis Jessy Sobalvarro Monge por todo el esfuerzo, desvelo, y arduo trabajo ya que sin ella esto no hubiera sido posible.

Eddy David Munguía Munguía

A Dios, por regalarme la vida y darme la sabiduría y entendimiento para poder realizar este proyecto.

A mis padre y hermanas, por creer siempre en mí y darme su apoyo durante todas las etapas de mi vida y ser pilar fundamental durante todo mi crecimiento académico y personal,

A mis amigas, Kenia Córdoba y Giesell Downs, que me han brindado su amistad incondicional y me han dado ánimos durante todo mi camino en la universidad.

Jerry D. Sobalvarro Monge

Resumen

El concreto es un material indispensable en la construcción de obras civiles, por lo que es necesario buscar alternativas que permitan optimizar los recursos sin afectar la calidad de la obra, el presente documento abarca el estudio en el que, de manera comparativa, se determina el comportamiento que tiene el concreto al sustituir parcialmente cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar.

El Capítulo 1 define los objetivos que se llevan a cabo y se mencionan los antecedentes que preceden a dicha temática. Por lo tanto, se puede afirmar que esta monografía es continuación y ampliación de investigaciones documentales realizadas anteriormente. Además, que se presentan los fundamentos teóricos que sustentan este estudio con el fin de validarlo y buscar el cumplimiento de los estándares.

En el capítulo 2 se detallan cada uno de los ensayos y los primeros resultados obtenidos de cada uno de los elementos que contemplan las mezclas de concreto, permitiendo así analizar el comportamiento de estos. A lo largo del capítulo se describen las propiedades físicas del cemento, agregado fino y agregado grueso cuyos resultados son fundamentales en el desarrollo del diseño de mezcla de concreto.

El Capítulo 3 es el desarrollo del diseño de mezcla de concreto, el cual está en función de las propiedades y características determinadas a cada uno de los materiales involucrados. El diseño se realizó de acuerdo a la norma ACI 211.1 donde se lograron establecer las cantidades necesarias de agua, grava, arena cemento y ceniza para cada tipo de mezcla. También se describe la realización de las mezclas de concreto.

Posteriormente en el Capítulo 4 y 5, se llevan a cabo los ensayos al concreto tanto en estado fresco y endurecido, brindando un análisis del comportamiento de cada mezcla elaborada basado en lo observado y aprendido acerca de la sustitución

parcial de cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar, y se detallan previsiones a tomar en cuenta con respecto al uso de esta sustitución.

ÍNDICE

CAPITULO 1. ASPECTOS GENERALES	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. ANTECEDENTES	2
1.3. JUSTIFICACIÓN	3
1.4. OBJETIVOS	4
1.4.1. Objetivo General	4
1.4.2. Objetivos específicos	4
1.5. MARCO TEORICO	5
1.5.1. Concreto	5
1.5.2. Componentes del concreto	7
1.5.3. Materiales Puzolánicos	15
1.5.4. Diseños de mezclas	17
1.5.5. Pruebas de control de calidad realizadas al concreto	20
CAPITULO 2. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES	23
2.1. CEMENTO	24
2.1.1. Densidad	24
2.1.2. Consistencia normal	25
2.1.3. Tiempo de fraguado	26
2.2. AGREGADO FINO	28
2.2.1. Gravedad específica y porcentaje de absorción	28
2.2.2. Pesos unitarios secos sueltos y compactos	30
2.2.3. Análisis granulométrico	32
2.2.4. Contenido de impurezas orgánicas	35
2.3. AGREGADO GRUESO	36
2.3.1. Gravedad específica y porcentaje de absorción	36
2.3.2. Pesos unitarios secos sueltos y compactos	37
2.3.3. Análisis granulométrico	38
2.3.4. Resistencia al desgaste por cargas abrasivas	40
2.4. CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR	40
2.4.1. Densidad	41
2.4.3. Análisis químico	41

2.4.2. Finura de la ceniza	42
2.4.4. Contenido de humedad	43
2.4.5. Índice de actividad.....	43
2.4.6. Consistencia normal	43
2.4.7. Tiempo de fraguado	43
CAPITULO 3. DISEÑO Y ELABORACIÓN DE MEZCLA	44
3.1. DISEÑO DE MEZCLAS	45
3.1.1. Supuestos de diseño.....	45
3.1.2. Proceso de diseño inicial	46
3.2. ELABORACIÓN DE MEZCLAS.....	53
3.2.1. Proceso general de mezclado.....	53
CAPITULO 4. CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO	55
4.1. Estado fresco	56
4.2. Estado endurecido	59
CAPITULO 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	65
CONCLUSIONES.....	69
RECOMENDACIONES	70
BIBLIOGRAFIA	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Densidad del cemento	25
Tabla 2. Consistencia normal del cemento.....	25
Tabla 3. Registro del tiempo de fraguado.....	27
Tabla 4: Gravedades específicas y porcentaje de absorción de la arena.....	30
Tabla 5. Pesos Unitarios Suelos y Compactos de la Arena	31
Tabla 6. Granulometría Arena de Motastepe.....	33
Tabla 7. Gravedades específicas y porcentajes de absorción de la grava	37
Tabla 8. Pesos unitarios Suelos y Compactos de la Grava.....	38
Tabla 9. Granulometría Grava de PROINCO	39
Tabla 10. Composición química de CBCA (%peso)	41
Tabla 11. Distribución de tamaños de partículas de la ceniza	42
Tabla 12. Consistencia normal para combinaciones de cemento y ceniza.....	43
Tabla 13. Cantidad de Agua y Cemento.....	47
Tabla 14. Extrapolación del volumen de grava.....	48
Tabla 15. Temperaturas Registradas.....	56
Tabla 16: Datos de Revenimiento.....	57
Tabla 17: Pesos Volumétricos de Mezclas	58
Tabla 18. Resistencia a la Compresión de Cilindros de Concreto	60
Tabla 19: Promedio de la Resistencia a compresión PSI.....	61
Tabla 20: Cuadro comparativo de las propiedades de las mezclas de concreto ...	66
Tabla A-1. Requerimientos físicos del cemento	I
Tabla A-2. Datos recolectados de densidad para agregados finos.....	II
Tabla A-3. Límites de gravedades específicas para agregados finos.....	II
Tabla A-4. Límites granulométricos de la arena	III
Tabla A-5. Datos de densidad para agregados gruesos	III
Tabla A-6. Límites de gravedades específicas para agregados gruesos.....	IV
Tabla A-7. Rangos de propiedades físicas de los agregados	IV
Tabla A-8. Límites granulométricos de la grava.....	V
Tabla B-1. Valores de revenimiento.....	VI
Tabla B-2. Agua de mezclado y contenido de aire	VI
Tabla B-3. Resistencias a la compresión promedio	VII
Tabla B-4. Relación agua/cemento.....	VII
Tabla B-5. Peso del concreto fresco	VII
Tabla B-6. Volumen del agregado grueso	VIII
Tabla D-1. Registro de tiempo de fraguado para sustitución de 5% ceniza	XIV
Tabla D-2. Registro de tiempo de fraguado para sustitución de 10% ceniza	XVI
Tabla D-3. Registro de tiempo de fraguado para sustitución de 15% ceniza	XVIII

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Peso volumétrico compacto	11
Ecuación 2. Peso volumétrico suelto	11
Ecuación 3. Porcentaje Retenido Parcial.....	12
Ecuación 4. Porcentaje Retenido Acumulado.....	12
Ecuación 5. Porcentaje que pasa por el tamiz.....	12
Ecuación 6. Módulo de finura.....	12
Ecuación 7. Gravedad específica del cemento.....	24
Ecuación 8. Gravedad específica de la arena	29
Ecuación 9. Gravedad específica de la arena saturada superficialmente seca.....	29
Ecuación 10. Gravedad específica aparente de la arena.....	29
Ecuación 11. Porcentaje de Absorción	29
Ecuación 12. Peso Volumétrico Seco Suelto.....	30
Ecuación 13. Peso Volumétrico Seco Compacto	31
Ecuación 14: Porcentaje retenido parcial	32
Ecuación 15: Porcentaje retenido acumulado	32
Ecuación 16. Porcentaje que pasa	32
Ecuación 17: Módulo de finura.....	33
Ecuación 18. Gravedad específica de la grava	36
Ecuación 19. Gravedad específica de la grava saturada superficialmente seca ...	36
Ecuación 20. Gravedad específica aparente de la grava	36
Ecuación 21. Resistencia promedio requerida	46
Ecuación 22. Relación agua/cemento	47
Ecuación 23. Peso del agregado grueso	48
Ecuación 24. Volumen del cemento.....	49
Ecuación 25. Volumen de agua	49
Ecuación 26. Volumen de grava	50
Ecuación 27. Volumen de arena	50
Ecuación 28. Peso de la arena	51
Ecuación 29. Peso total de agua	51

ÍNDICE DE IMÁGENES Y GRÁFICOS

Ilustración 1. Partículas de arena separadas luego de realizar granulometría.	32
Ilustración 2. Índice de impurezas orgánicas.....	35
Ilustración 3. Material que pasa tamiz N12 después del ensayo	40
Ilustración 4. Ensayo de Temperatura	56
Ilustración 5: Ensayo de Revenimiento.....	57
Ilustración 6: Ensayo de Peso Volumétrico	58
Ilustración 7. Ensayo de Resistencia a la Compresión.....	59
Ilustración A-1. Determinación de la gravedad específica de la arena- Método del picnómetro.....	I
Ilustración A-2. Determinación de la gravedad específica de la grava - Método hidrostático	III
Ilustración C-1. Sustitución del 5% de ceniza.....	IX
Ilustración C-2. Inicio de proceso de mezclado	IX
Ilustración C-3. Temperaturas tomadas a las diferentes mezclas.....	X
Ilustración C-4. Proceso de homogenización de las mezclas	XI
Ilustración C-5. Lecturas de Revenimiento a las diferentes mezclas	XII
Ilustración C-6. Elaboración de las probetas para pruebas de resistencia a la compresión	XIII
Ilustración C-7. Proceso de curado de las probetas de concreto	XIII
Gráfico 1. Agua óptima para prueba de consistencia normal.....	26
Gráfico 2. Curva de tiempo de fraguado del cemento	28
Gráfico 3. Curva Granulométrica de la Arena.....	34
Gráfico 4. Curva granulométrica de la grava	39
Gráfico 5. Distribución de tamaños de partículas de la Ceniza de bagazo de caña	42
Gráfico 6. Resistencia a la compresión mezcla base	61
Gráfico 7. Resistencia a la compresión Sustitución 5%	62
Gráfico 8. Resistencia a la compresión Sustitución 10%	62
Gráfico 9. Resistencia a la compresión Sustitución 15%	63
Gráfico 10. Resistencia a la compresión por edad de las mezclas de concreto	63
Gráfico 11. Comparación de Mezclas por resistencias alcanzadas	67
Gráfico D-1. Tiempo de fraguado para sustitución de 5% ceniza	XV
Gráfico D-2. Tiempo de fraguado para sustitución de 10% ceniza	XVII
Gráfico D-3. Tiempo de fraguado para sustitución de 15% ceniza	XIX

CAPITULO 1. ASPECTOS GENERALES

1.1. INTRODUCCIÓN

Las construcciones de obras civil que utilizan concreto, requieren que las propiedades físicas-mecánicas que posee dicho material sean las adecuadas y estén de acuerdo a las normativas que lo rigen con el fin de brindar seguridad y una vida útil específica a las edificaciones, sin embargo, se es permitido proporcionar investigaciones que generen alternativas para elaborar concreto utilizando materiales o técnicas que satisfagan con las demandas que se le solicitan.

Los materiales puzolánicos han venido ganando espacio dentro de los nuevos productos usados en la elaboración del concreto. Las cenizas de bagazo de caña de azúcar son consideradas también como puzolanas, esto debido a su composición química principalmente, siendo clasificada como un material clase N según ASTM C618. La utilización de ceniza como sustituto parcial del cemento en la elaboración del concreto puede ser una técnica que permita al concreto desarrollar una resistencia requerida y además mejorar sus características permitiendo una menor cantidad de energía de trabajo.

Este trabajo partirá del análisis de los agregados a utilizar y de la elaboración de un diseño de mezcla de concreto empleando la sustitución parcial del cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar.

En esta presente investigación se trabajará con cenizas que resultan de la quema del bagazo de caña de azúcar en el ingenio Monte Rosa localizado en el departamento de Chinandega. La utilización de este residuo en la elaboración del concreto contribuiría al cuidado del medio ambiente ya que se reduce las cantidades de desechos que se depositan en los ecosistemas.

1.2. ANTECEDENTES

La utilización de ceniza de bagazo de caña de azúcar puede generar un gran impacto para la industria azucarera ya que brindaría una solución al tratamiento de los residuos que generan. Dentro de la elaboración del concreto, los materiales puzolánicos se pueden usar para modificar y mejorar las propiedades plásticas y endurecidas del hormigón.

Para poder llevar a cabo esta investigación se tiene que mencionar que se parte del estudio llevado a cabo por una monografía de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Ingeniería que lleva por tema “Influencia de la ceniza de bagazo de caña de azúcar proveniente del ingenio monte rosa sobre las propiedades físico-mecánicas y de durabilidad de morteros de cemento tipo GU” (Gaitán & Torrez, 2013), en la que se llevó a cabo el análisis químico de la ceniza y a su vez determinaron resistencias de morteros.

La facultad de ingeniería química ha demostrado el interés de realizar estudios en esta temática, ya que se contabilizan diversas monografías centradas en el estudio de las cenizas de bagazo de caña de azúcar del ingenio Monte Rosa. En el año 2014 se llevó a cabo el estudio de la microestructura y productos de reacción de cemento activados alcalinamente (Zúñiga, 2014), de igual manera trabajando con la ceniza del mismo lugar se llevó a cabo la valorización de dicha ceniza mediante activación alcalina para la síntesis de geopolímeros (Castro, 2014).

En esta investigación se valorarán las propiedades física-mecánicas del concreto al diseñar una mezcla en la cual se sustituirá parcialmente cemento tipo GU por ceniza de bagazo de caña de azúcar, cabe resaltar que se partirá del análisis químico de la ceniza y los datos obtenidos del estudio anteriormente citado.

1.3. JUSTIFICACIÓN

El concreto se ha posicionado como el material por excelencia en el mundo de la construcción, debido a sus muchas ventajas y el uso de residuos resultantes de la combustión de materiales ha generado un impacto en algunos países de Latinoamérica donde ya se implementa, y en otros ha despertado la curiosidad y se ha empezado a estudiar más su comportamiento y los efectos que presenta el producto final.

El propósito de esta investigación se centra en conocer alternativas de materiales que se puedan emplear en la elaboración del concreto como la ceniza de bagazo de caña de azúcar, con el fin de mejorar sus características, además la búsqueda de la disminución de la utilización del cemento que trae consigo una disminución de los costos de producción del hormigón y a su vez reducirá la contaminación ambiental.

Se busca indagar sobre los cambios que puede brindar este material en las mezclas de concreto y que ventajas tendría en el sector de la construcción en Nicaragua. Por lo que se ejecutarán ensayos en el concreto con base en la normativa ASTM, y a partir de los resultados se determina si esta ceniza es ideal para ser implementado en la ejecución de obras civiles.

En el futuro existe la posibilidad que se estudien todos los tipos de cenizas, desde artificiales hasta aquellas provenientes de fuentes naturales (volcanes) de las que nuestro país es poseedor y con esto incluir en la construcción el aprovechamiento de este residuo.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

- Analizar el comportamiento de las propiedades físico-mecánicas del concreto al sustituir parcialmente el cemento tipo GU por ceniza de bagazo de caña de azúcar.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físicas de los agregados gruesos y finos que se utilizarán en la elaboración de las mezclas de concreto.
- Recopilar las propiedades físico – químicas de la ceniza de bagazo de caña de azúcar para emplearlas en el diseño de mezclas de concreto
- Realizar el diseño de mezclas de concreto con resistencia a compresión de 3000 psi a los 28 días, empleando la sustitución parcial de cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar.
- Determinar las propiedades físicas y mecánicas del concreto en estado fresco y endurecido respectivamente empleando ensayos de laboratorio.
- Comparar los valores obtenidos de los ensayos realizados a las muestras de concreto en sus diferentes porcentajes de ceniza de bagazo de caña de azúcar.

1.5. MARCO TEORICO

1.5.1. Concreto

El concreto es una mezcla homogénea de cemento, agua, arena y grava y en algunos casos de aditivos. Es actualmente el material más empleado en la industria de la construcción por su duración, resistencia, impermeabilidad, facilidad de producción y economía. (Gutiérrez, 2003).

A pesar de ser el material por excelencia para la construcción, tanto en su fabricación como en su uso, es muy poco amigable con el medio ambiente por esta razón ha empezado una búsqueda por alternativas que disminuyan el impacto que el concreto convencional produce. Existen muchas opciones que se han venido estudiando en diferentes partes del mundo. Serrano-Guzmán presenta como propuesta la utilización de escombros, el cual es una combinación de hormigón, materiales de albañilería, asfalto y otros, como agregado. También menciona la limalla que es un residuo inerte.

“La naturaleza inerte tanto de la limalla como de los escombros permitió su uso en la producción de concreto. De esta manera se está contribuyendo a mitigar la incorrecta disposición de los residuos y el excesivo consumo de los agregados naturales, favoreciendo con ello la sostenibilidad del medio ambiente.” (Serrano-Guzmán. Pérez-Ruiz, 2001).

a. Características del Concreto

- **Manejabilidad**

La manejabilidad o trabajabilidad es una propiedad del concreto fresco que se define como su capacidad para ser colocado, compactado adecuadamente y para ser terminado sin segregación ni exudación; la manejabilidad va asociada al término plasticidad, definida como la propiedad del concreto fresco que le permite dejarse moldear y cambiar lentamente si se saca del molde. (Gutiérrez, 2003).

La manejabilidad queda definida como la cantidad de trabajo útil y necesario para producir una compactación completa, debido a que la fracción interna es una propiedad intrínseca de la mezcla y no depende de un tipo o sistema particular de construcción. (Sánchez, 2001)

- **Segregación**

Sánchez (2001) Plantea que la segregación se define como la separación de los materiales que constituyen una mezcla heterogénea (como es el concreto), de manera que su distribución deje de ser uniforme por falta de cohesión.

Entre los principales factores que producen segregación están la diferencia en tamaño de las partículas y la mala distribución granulométrica de los agregados. Otras causas se refieren a los inadecuados procesos del concreto: mezclado, transporte, colocación y compactación. (Gutiérrez, 2003).

- **Exudación**

El hormigón es un material compuesto por elementos de diferentes densidades. A causa de ello, durante el periodo de inactividad que precede al fraguado, las partículas sólidas sedimentan dando lugar a la acumulación de agua en la superficie. Este fenómeno llamado exudación conduce a la obtención de un hormigón en la zona superior de los elementos estructurales de mayor relación agua - cemento y, en consecuencia, mayor porosidad y menor resistencia. (Giaccio, 1999).

La exudación puede crear problemas en el concreto; cuando la velocidad de evaporación es menor que la velocidad de exudación, se forma una película de agua que aumenta la relación agua-cemento en la superficie y posteriormente esta zona queda porosa y de baja resistencia al desgaste; pero si la velocidad de evaporación es mayor que la velocidad de exudación se pueden producir grietas de contracción. (Gutiérrez, 2003).

- **Consistencia**

En términos generales, la consistencia se refiere a su estado de fluidez, es decir, que tan dura (seca) o blanda (fluida) es una mezcla de concreto cuando se encuentra en estado plástico, por lo cual se dice que es el grado de humedad de la mezcla. (Sánchez, 2001).

1.5.2. Componentes del concreto

Los agregados pueden ser obtenidos de diferentes tipos de materiales, sin embargo, principalmente hacemos uso de los materiales naturales, comúnmente rocas. Estos son esencialmente materiales inertes los cuales, por conveniencia, son separados en una fracción gruesa y en una fracción fina.

De la calidad y características de los agregados, así como sucede con el cemento, depende el desempeño y calidad de la mezcla de concreto que conforman. Por lo que los agregados también pasan por pruebas para comprobar sus características, de las que depende el diseño de la mezcla de concreto y su desempeño en obra.

a. Cemento

El cemento es un polvo fino que se obtiene de la calcinación a 1450° de una mezcla de piedra caliza, arcilla y mineral de hierro. El producto del proceso de calcinación es el Clinker (principal ingrediente del cemento), que se muele finamente con yeso y otros aditivos químicos para producir cemento. (Cemex, 2021).

A continuación, se muestra la clasificación que realiza la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense de Fabricación, Uso y Manejo de Cemento.

Cementos Hidráulicos

Para el caso de los Cementos Hidráulicos, éstos se clasifican de acuerdo a lo siguiente:

- ✓ Tipo GU: De uso general en construcción. Se emplean cuando no se requieren condiciones especiales.
- ✓ Tipo HE: De alta resistencia inicial o temprana.
- ✓ Tipo MS: De moderada resistencia a los sulfatos.
- ✓ Tipo HS: De alta resistencia a los sulfatos.
- ✓ Tipo MH: De moderado calor de hidratación.
- ✓ Tipo LH: De bajo calor de hidratación.

El cemento presenta diferentes propiedades, las cuales se pueden determinar por una serie de pruebas estándar.

A. Determinación del peso específico relativo del cemento hidráulico ASTM C188.

“Este método de prueba cubre la determinación de la densidad de cemento hidráulico. Su utilidad particular está en conexión con el diseño y control de mezclas de concreto.” (ASTM C-188, 2015)

B. Determinación del tiempo de fraguado del cemento por el método de la aguja de vicat ASTM C 191.

“Estos métodos de prueba determinan el tiempo de configuración del cemento hidráulico mediante la aguja de Vicat. Dos métodos pruebas se dan: El método A es el método de prueba de referencia utilizando el aparato Vicat estándar operado manualmente, mientras que el método B permite el uso de una máquina automática Vicat que tiene, de acuerdo con los requisitos de calificación de este método, desempeño aceptable.” (ASTM C-191, 2015)

C. Determinación de la consistencia normal de pastas de cemento hidráulico ASTM C187

“Este método de prueba está destinado a ser utilizado para determinar la cantidad de agua necesaria para preparar pastas de cemento hidráulico con consistencia normal, según lo requerido para ciertas pruebas estándar.” (ASTM C-187, 2015)

b. Agregados para el Concreto

Los agregados, también denominados áridos o inertes, son fragmentes o granos, usualmente pétreos, cuyas finalidades especificadas son abaratar la mezcla y dotarla de ciertas características favorables, entre las cuales se destaca disminución de la retracción de fraguados o retracción plástica. (Porrero, Ramos, Grases, Velazco, 2005).

Los agregados constituyen la mayor parte de la masa del concreto, ya que alcanzan representar entre el 70% y el 85% de su peso, razón por la cual las propiedades de los inertes resultan tan importantes para la calidad final de la mezcla

Agregado fino

El agregado fino o arena se usa como llenante, además actúa como lubricante sobre los que ruedan los agregados gruesos dándole manejabilidad al concreto. (Gutiérrez, 2003).

Se determina como el material que pasa por el tamiz No. 4 hasta el tamiz No.100 y se clasifica en arena natural, de canto rodado o de río, manufacturada o combinación de ambas.

Para la caracterización de la arena, se realizan las siguientes pruebas:

- Determinación de la gravedad específica y porcentaje de absorción del agregado fino según ASTM C-128:

“Este método de prueba cubre la determinación de la densidad y la absorción de agregados finos. La densidad relativa (gravedad específica), una cantidad adimensional, se expresa como secado en horno, saturado superficialmente seco (SSS), o como densidad relativa aparente. La densidad relativa del material seco se determina después de secar el agregado. La densidad relativa y la absorción de SSS se determinan después de remojar el agregado en agua por una duración establecida.” (ASTM C-128, 2015)

- Método de ensayo normalizado para la detección de impurezas orgánicas en agregados finos para concreto, ASTM C-40:

“Este método de prueba cubre dos procedimientos para una aproximación en la determinación de la presencia de impurezas orgánicas nocivas en agregados finos que se utilizarán en cemento hidráulico mortero u hormigón. Un procedimiento utiliza una solución de color estándar y el otro utiliza un vidrio de color estándar.” (ASTM C-40, 2015).

Agregado grueso

Esta formado fundamentalmente por gravas, gravas trituradas, piedra triturada, escoria de hornos de explosión, concreto de cemento hidráulico triturado o una combinación de lo anterior, se considera como el material retenido a partir del tamiz no. 4, para su buena utilización no deben ser demasiado porosos, ni de forma muy alargada de acuerdo con los requerimientos que establece la norma ASTM C-33

Sánchez (2001) dice que “la fracción gruesa, o sea aquellas partículas que tiene un diámetro superior a 4,76 mm, es la que normalmente se denomina agregado grueso o simplemente grava”.

- Método de prueba estándar para la resistencia a la degradación de agregado grueso de tamaño pequeño por abrasión e impacto en la Máquina de Los Ángeles, ASTM C-131.

“Este método de prueba cubre un procedimiento para la prueba de agregados con un tamaño máximo inferior a 37,5 mm ([1 1/2 in.] para la resistencia a la degradación utilizando la prueba de Los Ángeles máquina” (ASTM C-131, 2015).”

- Determinación de la gravedad específica y porcentaje de absorción del agregado grueso, ASTM C-127

“Este método de prueba cubre la determinación de la densidad (gravedad específica) y la absorción de agregados gruesos. La densidad relativa (gravedad

específica), una cantidad adimensional, se expresa como secado en horno (Seco), saturado superficialmente seco (SSS), o como densidad relativa aparente (aparente específica gravedad). La densidad relativa del material seco se determina después de secar el agregado. La densidad relativa y la absorción de SSS se determinan después de remojar el agregado en agua por una duración establecida.” (ASTM C-127, 2015)

Las pruebas estándar que se realizan a ambos agregados para su caracterización se describen a continuación:

- Determinación de los pesos secos sueltos y secos compactos de los agregados, ASTM C-29.

“Este método de ensayo cubre la determinación de la densidad bulk (“peso unitario”) del agregado en una condición compactada o suelta, y calcula los vacíos entre las partículas en el agregado fino, grueso o una mezcla de ellos, basado en la misma determinación. Este método de ensayo es aplicable a agregados que no excedan las 5 pulgadas (125 mm) de tamaño nominal máximo.” (ASTM C-29, 2015).

Ecuación 1. Peso volumétrico compacto

$$PVSC = \frac{W_S}{V} = \frac{(W_S + W_{Rec}) - W_{Rec}}{V}$$

Donde:

$PVSC$: Peso volumétrico seco compacto

$W_S = (W_S + W_{Rec})$: Peso del material más molde

W_{Rec} : Peso del recipiente volumétrico

V : Volumen del recipiente

Ecuación 2. Peso volumétrico suelto

$$PVSS = \frac{W_S}{V} = \frac{(W_S + W_{Rec}) - W_{Rec}}{V}$$

Donde:

$PVSC$: Peso volumétrico seco suelto

$W_S = (W_S + W_{Rec})$: Peso del material más molde

W_{Rec} : Peso del recipiente volumétrico

V : Volumen del recipiente

- Determinación del contenido de humedad de los agregados, ASTM C-566.

“Este método de prueba cubre la determinación del porcentaje de humedad evaporable en una muestra de agregado por secado tanto la humedad superficial como la humedad en los poros del agregado.” (ASTM C-566, 2015).

- Análisis granulométrico de los agregados gruesos y finos, ASTM C-136.

“Este método de prueba cubre la determinación de la distribución por tamaño de partícula de agregados finos y gruesos por tamizado.” (ASTM C136, 2015).

Ecuación 3. Porcentaje Retenido Parcial

$$\%RP = \frac{\text{peso retenido en cada tamiz}}{\text{peso seco total}} * 100$$

Ecuación 4. Porcentaje Retenido Acumulado

$$\%RA = \%RA_i + \%RP_{i+1}$$

Ecuación 5. Porcentaje que pasa por el tamiz

$$\%pasa = 100 - \%RA$$

Ecuación 6. Módulo de finura

$$M_f = \frac{\sum \%RA(3/8" - N^{\circ}100)}{100}$$

Donde:

$\%RA_i$: Porcentaje retenido acumulado

$\%RP_{i+1}$: Porcentaje retenido parcial

M_f : Módulo de finura

c. Propiedades de los agregados para el concreto

Los agregados para concreto deben estar formados de partículas compactas y duras, con textura, forma y granulometría adecuadas. Los agregados suelen estar contaminados con limo, arcilla, humus y otras materias orgánicas. Algunos tienen porcentajes altos de material ligero o de partículas de forma alargada o plana, tales sustancias o partículas defectuosas restan calidad y resistencia al concreto y las especificaciones fijan los límites permisibles de tolerancia. Se acepta como norma de calidad la especificación ASTM C-33.

- **Granulometría**

La granulometría o gradación se refiere al tamaño de las partículas y al porcentaje o distribución de las mismas en una masa de agregado. Se determina mediante el análisis granulométrico que consiste en hacer pasar una determinada cantidad del agregado a través de una serie de tamices standard, dispuestos de mayor a menor. (Gutiérrez, 2003). Los porcentajes de materiales que definirá la granulometría del material estará dado por las siguientes ecuaciones.

Tamaño máximo Nominal: Se define como la abertura inmediatamente superior a aquel cuyo porcentaje retenido acumulado es del 15% o más. Indica el tamaño promedio de partículas más grandes que hay dentro de una masa de agregado. (Gutiérrez, 2003).

Tamaño Máximo: Se define como la menor abertura del tamiz que permite el paso de la totalidad de muestra, Indica la dimensión de la partícula más grande que hay en la muestra.

Módulo de finura: El módulo de finura, también llamado modulo granulométrico por algunos autores, no es un índice de granulometría, ya que un número infinito de

tamizados da el mismo valor para el módulo de finura. Sin embargo, da una idea del grosor o finura del agregado, por este motivo se prefiere manejar el termino de Modulo de Finura. Se puede calcular con la siguiente formula.

El módulo de finura es un factor empírico que permite estimar que tan fino o grueso es un material. (Sánchez, 2001).

- **Porosidad y absorción**

La porosidad del agregado es una cualidad muy importante, directamente relacionada con la adherencia y resistencia a la compresión y flexión de las partículas, así como a su comportamiento frente a problemas de congelamiento, deshielo e intemperismo. La porosidad está asociada a la capacidad de absorción de agua u otro líquido que tienen los agregados, capacidad que depende del número y tamaño de los poros y de la continuidad de los mismos.

Los valores de absorción se usan para calcular el cambio de masa de un agregado debido al agua absorbida en los espacios porosos dentro de las partículas que lo componen, comparados a la condición seca, cuando se estima que el agregado ha estado en contacto con el agua por el tiempo suficiente para satisfacer el potencial de absorción.

- **Contenido de Agua**

Es el agua total que contienen los agregados, tomando en cuenta la interior en sus poros y la superficial. El contenido de humedad afecta la densidad de los agregados y los requerimientos de agua de mezcla. Puede influir en la resistencia y las propiedades de movimiento del concreto. (Alexander y Mindess, 2005).

- **Peso unitario**

Se define como la relación entre el peso de una muestra de agregado compuesta de varias partículas y el volumen que ocupan estas partículas agrupadas dentro de un recipiente de volumen conocido

Peso unitario o compactado: Se define como el peso compactado del material dividido entre el volumen que ocupa.

Peso unitario suelto: Es la relación que existe entre el peso del agregado suelto o en estado normal de reposo y el volumen que ocupa.

1.5.3. Materiales Puzolánicos

El código ASTM (1992), en la definición 618-78, define: "las puzolanas son materiales silíceos o alumino-silíceos quienes por sí solos poseen poco o ningún valor cementante, pero cuando se han dividido finamente y están en presencia de agua reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio a temperatura ambiente para formar compuestos con propiedades cementantes"

Las puzolanas contienen normalmente una gran cantidad de material amorfo y de minerales (olivino, piroxenas, hornablendas, feldespatos), desarrollando la mayoría de ellas su actividad hidráulica como consecuencia del material amorfo, materiales activos (zeolitas) y la superficie específica que les caracteriza, cualidades y compuestos que favorecen la reacción con el hidróxido de calcio.

a. Tipos de puzolanas

En una primera clasificación, las puzolanas se dividen en dos grandes grupos: naturales y artificiales.

Puzolanas naturales

Rocas volcánicas, en las que el constituyente amorfo es vidrio producido por enfriamiento brusco de la lava. Por ejemplo, las cenizas volcánicas, la pómez, las tobas, la escoria y obsidiana.

Rocas o suelos en las que el constituyente silíceo contiene ópalo, ya sea por la precipitación de la sílice de una solución o de los residuos de organismos de lo cual son ejemplos las tierras de diatomeas, o las arcillas calcinadas por vía natural a partir de calor o de un flujo de lava.

Puzolanas artificiales

- **Cenizas volantes**

Las cenizas que se producen en la combustión de carbón mineral (lignito) fundamentalmente en las plantas térmicas de generación de electricidad.

- **Arcillas activadas o calcinadas artificialmente**

Por ejemplo, residuos de la quema de ladrillos de arcilla y otros tipos de arcilla que hayan estado sometidas a temperaturas superiores a los 800 °C.

- **Escorias de fundición**

Principalmente de la fundición de aleaciones ferrosas en altos hornos. Estas escorias deben ser violentamente enfriadas para lograr que adquieran una estructura amorfa.

Puzolanas mixtas o intermedias

- **Las cenizas de residuos agrícolas**

La ceniza de cascarilla de arroz y las cenizas del bagazo y la paja de la caña de azúcar. Cuando son quemados convenientemente, se obtiene un residuo mineral rico en sílice y alúmina, cuya estructura depende de la temperatura de combustión.

A continuación, se detallan las características de las CBCA, como el material puzolánico que se utilizará en esta investigación.

b. Ceniza de bagazo de caña de azúcar

La ceniza de bagazo de caña de azúcar es un subproducto de los desechos de la fabricación del azúcar. Se utiliza como combustible para calentar las calderas de donde se obtiene el azúcar. La utilización de estas cenizas en diversos campos, como la agricultura, y ahora, en la construcción, será de gran aprovechamiento.

Esta ceniza constituye un problema medioambiental a medida que forma grandes acumulaciones en las áreas donde es dispuesta. En estado natural está conformada por partículas alargadas y tiene alta porosidad, bajo condiciones controladas muestra presencia de sílice amorfa, la cual tiene propiedades puzolánicas

Actualmente en los ingenios azucareros nicaragüenses existe una gran cantidad de bagazo que es utilizado como combustible para la producción de vapor de alta presión en las calderas, para la producción de energía eléctrica, de lo que resulta otro residuo: las cenizas, que en muchos de los casos no se les da ningún uso o se usan como abono.

La ceniza del bagazo de la caña de azúcar se obtiene luego de un proceso de producción que en este caso viene a ser la preparación y la molienda de la caña, donde se le extrae todo el jugo de la caña formándose de esta manera el bagazo de la caña.

Donde este producto ira a parar a las calderas que serán usadas como combustible para generar vapores que favorecerán en el proceso industrial, así mismo toda la ceniza que emanan las calderas serán derivadas mediante ductos a una piscina sedimentadora, para captar toda partícula volátil y así evitar que estas se expandan en el ambiente.

Posteriormente una vez asentada la ceniza de bagazo en los depósitos, estas cenizas pasan hacer extraídas en fajas transportadoras y llevadas a un lugar de almacenamiento para su posterior eliminación. Se establece que la producción del bagazo como subproducto de la molienda de la caña, es aproximadamente el 14% de la molienda de caña.

1.5.4. Diseños de mezclas

a. Consideraciones generales

Se conoce como diseño de mezcla el procedimiento mediante el cual se calculan las cantidades que deben haber de todos y cada uno de los componentes que

intervienen en una mezcla de concreto, para obtener de ese material el comportamiento deseado, tanto durante su estado plástico como después, en estado endurecido.

Un método de diseño de mezcla puede llegar a ser muy complejo si considera un gran número de variables y una gran precisión o exactitud en la expresión de sus relaciones. Pero debe al mismo tiempo, ser de fácil manejo y operatividad. Lo acertado es lograr un equilibrio entre ambos extremos.

El arte de diseñar una mezcla de concreto de manera económicamente eficiente y productiva, está en lograr una optimización adecuada de las proporciones de los materiales empleados, aprovechando sus propiedades y características para lograr los requisitos técnicos especificados. (Sánchez, 2001).

b. Método ACI

El método A.C.I. es un método de dosificación para el diseño de mezclas de concreto; se basa en medir los materiales (cemento, agua, grava y arena) en peso y volumen, y se diseña tanto para una mezcla en estado fresco como endurecido.

La norma que rige los diseños de mezclas de concreto es la ACI 211.1 que, a su vez, está basada en la norma ASTM C33, donde se hace referencia a las especificaciones granulométricas.

Antes de diseñar la mezcla, se deben tener datos previos del tipo de obra que se va a construir y los tipos de materiales que se van a usar para construir la obra.

A continuación, se muestra el procedimiento de diseño establecido por el método ACI.

- **Elección del Asentamiento**

La elección del asentamiento está relacionada de acuerdo a los diferentes tipos de construcción y sistemas de colocación y compactación.

- **Elección del tamaño máximo nominal**

Se trata de elegir una adecuada granulometría, tener una masa más compacta y con menos vacíos.

- **Estimación del contenido de aire**

El contenido de aire beneficia la manejabilidad y la cohesión de la mezcla.

- **Estimación del contenido de agua de mezclado**

La demanda de agua en las mezclas se debe a aspectos de manejabilidad, adherencia e hidratación.

- **Selección de la relación de agua-cemento**

Este es el factor más importante en el diseño de mezclas de concreto, porque con él se pueden determinar los requisitos de resistencia, durabilidad, permeabilidad y acabado.

- **Cálculo del contenido de cemento**

Una vez establecido la relación de agua-cemento se procede a determinar las cantidades de cemento por metro cubico de concreto.

- **Estimación de las proporciones de agregados**

El volumen total de los agregados conocidos, se resta del volumen unitario de concreto para obtener el volumen de agregado.

- **Ajuste por humedad de los agregados**

Se recopilan los datos obtenidos haciéndose las correcciones por humedad de los agregados para pesarlos correctamente.

- **Ajuste en la mezcla de prueba**

Se deben verificar las proporciones calculadas de la mezcla por medio de mezclas de prueba en el laboratorio o, en mezclas de campo de tamaño completo.

1.5.5. Pruebas de control de calidad realizadas al concreto

Para asegurar la calidad del concreto que se diseña se requiere someter la mezcla a diferentes pruebas de control de calidad, que pueden ser en campo o en laboratorio y bien, en estado fresco o estado endurecido de la mezcla. Estas pruebas se realizan utilizando especímenes que pueden tener diferente forma, dependiendo del ensayo y el tipo de estructura; en general se utilizan cubos, cilindros y vigas en el caso de losas.

Entre los ensayos más significativos de control de calidad del concreto están el revenimiento, peso unitario y el ensayo de resistencia a la compresión, el cual determina si el material aportará la resistencia física necesaria para que la estructura soporte los esfuerzos para la cual es diseñada.

a. Pruebas al concreto en estado fresco

- **Temperatura de la mezcla**

Un concreto con una temperatura inicial alta, probablemente tendrá una resistencia superior a lo normal a edades tempranas y más baja de lo normal a edades tardías. La calidad final del concreto probablemente se verá también disminuida.

A través de este ensayo se conoce la temperatura de una mezcla de concreto fresco y está detallado en la designación ASTM-C1064. Es necesario mantener el control de la temperatura de la mezcla, ya que de esta dependen otras propiedades como el tiempo de fraguado, la trabajabilidad y la resistencia. Se utiliza un termómetro, que se pueda sumergir dentro de la mezcla al menos 75 mm (3"). Es preciso un recipiente de material no absorbente y que permita contener suficiente mezcla para proporcionar al menos 75 mm de la misma en todas direcciones alrededor del termómetro. Y la prueba toma varios minutos, según el tamaño de los agregados.

- **Revenimiento**

Se usa como método para controlar la cantidad de agua cuando ésta no se dosifica, sino que se estima en la elaboración de las mezclas especialmente cuando no se hace corrección por humedad de los agregados; también puede reflejar cambios en la granulometría de los agregados, o en las propiedades del cemento; en general es un método de control de calidad del concreto fresco.

El ensayo se realiza al concreto fresco para determinar la consistencia del concreto ya sea en campo o en laboratorio, siguiendo la designación ASTM C143. Esta prueba puede influir en la aceptación de la mezcla.

- **Peso unitario**

El ensayo para determinar el peso unitario del concreto está detallado en la norma ASTM C-138, que además de brindar el peso del concreto, permite determinar el rendimiento, el contenido de cemento por unidad de volumen de concreto y el porcentaje de vacíos. El peso unitario del concreto se determina midiendo el peso del concreto requerido en estado fresco para llenar un molde de volumen conocido (Sánchez, 2001).

b. Pruebas al concreto en estado endurecido

- **Resistencia a la compresión**

La forma de evaluar la resistencia del concreto es mediante pruebas mecánicas que pueden ser destructivas, para lo cual se toman muestras y se hacen especímenes para fallar, o no destructivas, las cuales permiten probar repetidamente la muestra de manera que se pueda estudiar la variación de la resistencia u otras propiedades con el paso del tiempo. (Sánchez, 2001).

Para muestras sometidas a una carga axial a compresión, lo que generalmente interesa saber de su comportamiento esfuerzo-deformación unitaria son, su resistencia, que se define como el esfuerzo máximo que puede soportar ante la

carga de aplastamiento, y su módulo de elasticidad, como la pendiente de la curva en el rango elástico-lineal.

Las pruebas de resistencia a la compresión se usan fundamentalmente para verificar que la mezcla de concreto cumpla con los requerimientos de diseño. Esta prueba está definida en la norma ASTM-C39.

CAPITULO 2. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

La caracterización de los materiales está referido a la identificación de estos a partir del estudio de sus propiedades físicas, químicas o estructurales, en este capítulo se describen el proceso de obtención de los materiales a usar en esta investigación: grava, arena, cemento y ceniza de bagazo de caña de azúcar, y se analizan las propiedades según las normas ASTM.

2.1. CEMENTO

El cemento hidráulico a utilizar es el Cemento Canal tipo GU (usos generales). Es un cemento de origen nacional, fabricado y comercializado por CEMEX Nicaragua.

Las propiedades que se toman en cuenta son: densidad, consistencia normal y tiempo de fraguado, que se determinan por medio de ensayos de laboratorio descritos en sus respectivas normativas ASTM.

2.1.1. Densidad

El peso específico del cemento o densidad se determina según lo estipulado en ASTM C188, usando el cemento descrito. Se calcula usando la fórmula siguiente:

Ecuación 7. Gravedad específica del cemento

$$G_e = \frac{W}{V_f - V_o} = \frac{64gr}{21ml - 0.70ml} = 3.15$$

$$G_e = \frac{64gr}{21ml - 0.70ml} = 3.15$$

G_e : Gravedad específica del cemento

W : Peso del cemento

V_o : Volumen inicial

V_f : Volumen final

A continuación, se presentan los datos recabados en el laboratorio

Tabla 1. Densidad del cemento

Tipo de cemento:	Cemex GU	Procedencia:	
Peso de cemento (gr)	64 g	Tipo de líquido:	Kerosene
Lectura inicial	Lectura final	Temperatura inicial	Temperatura final
0.7ml	21ml	23°C	23.4°C
Peso específico relativo:		3.15 gr/ml	

Fuente: Elaboración propia

2.1.2. Consistencia normal

Según ASTM C187, se toman muestras de 650g de cemento a las que se les agrega diferentes porcentajes de agua hasta obtener una penetración de 10 ± 1 mm con el aparato de Vicat, se hicieron pruebas con porcentajes de 26% y 30%.

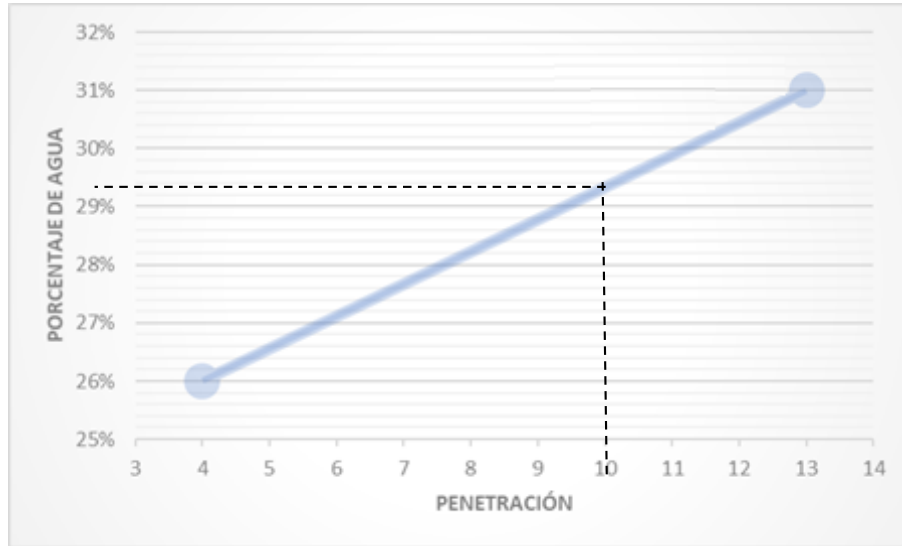
Tabla 2. Consistencia normal del cemento

Ensayo N°	Peso de la muestra (g)	Cantidad de agua (ml)	Penetración (mm)	% Agua
1	650	169	4	26%
2	650	195	13	30%
3	650	188.5	11	29%

Fuente: Elaboración propia

Por medio de un proceso de interpolación o bien por medio del trazo de los dos puntos conocidos se tiene un gráfico como el que se presenta a continuación, se obtiene la intersección donde se encuentra el valor de la penetración deseada.

Gráfico 1. Agua óptima para prueba de consistencia normal



Fuente: Elaboración propia

Usando el método de interpolación es posible conocer la cantidad de agua óptima para obtener la penetración establecida en la normativa.

$$x = \left(\frac{4mm - 10mm}{4mm - 11mm} \right) (26\% - 30\%) + 26\%$$

$$x = 29.4\%$$

Al ser esta una aproximación se tomó el valor entero para realizar la prueba.

2.1.3. Tiempo de fraguado

El tiempo de fraguado se determina por medio de la norma ASTM C191 donde se define el uso de la aguja de Vicat. El fraguado inicial transcurre desde el inicio de la elaboración de la mezcla hasta que la penetración es igual a 25 mm y el tiempo que transcurre hasta que la lectura es igual a 0 mm se define como fraguado final.

Conociendo el porcentaje de agua óptimo establecido por la consistencia normal, se realizan pastas de cemento y se colocan en un molde en forma de cono truncado para proceder a hacer lecturas cada 15 minutos con la aguja de Vicat hasta que la penetración sea igual a 0mm.

Tabla 3. Registro del tiempo de fraguado

Tipo de cemento:	Cemex GU		Procedencia:	
Lectura N°	Tiempo transcurrido		Penetración (mm)	Observaciones
	Hora	Minutos		
1	9:10 am	0		Inicio de mezclado
2	9:40 am	30	40	
3	9:55 am	45	40	
4	10:10 am	60	38	
5	10:25 am	75	29	
6	10:40 am	90	24	
7	10:55 am	105	21	
8	11:10 am	120	14	
9	11:25 am	135	8	
10	11:40 am	150	3	
11	11:55 am	165	1	
12	12:10 pm	180	0	Fraguado final

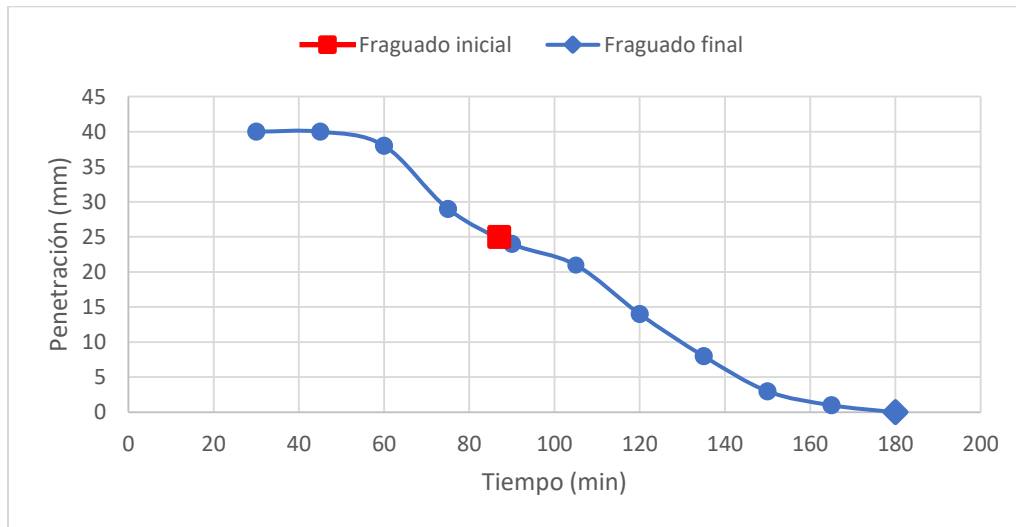
Fuente: Elaboración propia

Para conocer los tiempos de fraguado se realiza una interpolación con los límites donde se encuentra la penetración de 25mm.

$$\text{Penetración } 25\text{mm} = \left(\frac{29\text{mm} - 25\text{mm}}{29\text{mm} - 24\text{mm}} \right) (90\text{min} - 75\text{min}) + 75\text{min} = 87\text{min}$$

El tiempo de fraguado inicial para el cemento canal se registró en 87min y el final en 180min, según el fabricante los tiempos de fraguado inicial y final de este material se encuentran en 200min y 295min respectivamente. Las variaciones que se presentaron pueden ser debido a que el ensayo no se realizó en las condiciones ideales, sin embargo, los datos se encuentran en el rango de 45min a 375min que se muestra en la normativa ASTM C150 para cemento GU.

Gráfico 2. Curva de tiempo de fraguado del cemento



Fuente: Elaboración propia

2.2. AGREGADO FINO

El agregado fino o arena es proveniente de la extracción de material del cerro Motastepe de la ciudad de Managua.

Para cada prueba correspondiente a la arena se realiza un muestreo del material de acuerdo a la norma ASTM C702 la cual establece usar el método de apilado en miniatura para reducir el material a muestras representativas que presenten las características de todo el agregado. Los ensayos para la arena corresponden a obtener los datos de gravedad específica y porcentaje de absorción, pesos unitarios secos sueltos y compacto, granulometría y contenido de impurezas orgánicas.

2.2.1. Gravedad específica y porcentaje de absorción

Para la realización de esta prueba es necesario llevar al material a la condición saturada superficialmente seca, usando muestras de 500 ± 10 gr por medio del frasco de Le´Chatelier, para mayor acierto en los resultados es necesario realizar el procedimiento con tres muestras, según lo indica la norma ASTM C128 con este ensayo se calcula gravedad específica, gravedad específica aparente, gravedad

específica saturada superficialmente seca y porcentaje de absorción de la arena por medio de las ecuaciones siguientes.

Ecuación 8. Gravedad específica de la arena

$$G_e = \frac{A}{D + B - C}$$

Ecuación 9. Gravedad específica de la arena saturada superficialmente seca

$$G_{eSSS} = \frac{B}{D + B - C}$$

Ecuación 10. Gravedad específica aparente de la arena

$$G_{eAP} = \frac{A}{D + A - C}$$

Ecuación 11. Porcentaje de Absorción

$$\%Abs = \frac{B - A}{A} * 100$$

Donde:

A: Muestra seca

B: Muestra sss

C: Matraz + agua + material

D: Matraz lleno de agua (peso depende de la temperatura)

Los datos recolectados en el laboratorio se presentan en el Anexo A, Tabla A-2 y a continuación se muestra el desarrollo de las ecuaciones para la muestra 1.

$$G_e = \frac{649.90 - 170.80}{(679.60) + (672.40 - 170.50) - (990.60)} = 2.49$$

$$G_{eSSS} = \frac{672.40 - 170.80}{(679.60) + (672.40 - 170.80) - (990.60)} = 2.63$$

$$G_{eAP} = \frac{644.90 - 170.80}{(679.60) + (644.90 - 170.80) - (990.60)} = 2.91$$

$$\%Abs = \frac{(672.40 - 170.80) - (644.90 - 170.80)}{(644.90 - 170.80)} * 100 = 5.80$$

Los resultados de cada ensaye se presentan en la tabla:

Tabla 4: Gravedades específicas y porcentaje de absorción de la arena

ARENA DE MOTASTEPE	Ensaye 1	Ensaye 2	Ensaye 3
Gravedad Especifica	2.49	2.43	2.44
	2.455		
Gravedad Especifica (sss)	2.63	2.59	2.60
	2.607		
Gravedad Especifica Aparente	2.91	2.89	2.89
	2.894		
Porcentaje de Absorción	5.80	6.46	6.30
	6.185		

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de aceptación de gravedades específica están basados en las pruebas de AASHTO T84, la que a diferencia de lo que indica ASTM tienen menor tiempo de saturación. Los valores obtenidos en las pruebas realizadas se encuentran dentro de los límites de precisión tanto para las diferentes densidades y los valores de absorción.

2.2.2. Pesos unitarios secos sueltos y compactos

El peso específico unitario, es la relación de la masa del agregado que ocupa un volumen patrón unitario entre la magnitud de éste, incluyendo el volumen de vacíos propio del agregado, que ha de ir a ocupar parte de este volumen unitario patrón. (CALDERÓN ALAYO & CONTRERAS PEREZ, 2015).

Para esta prueba se tomó tres muestras diferentes para obtener mayor confiabilidad y se midió de acuerdo a lo establecido en ASTM C29, los valores pesos sueltos y compactos se calculan de la forma siguiente:

Ecuación 12. Peso Volumétrico Seco Suelto

$$PVSS = \frac{W_S}{V} = \frac{(W_S + W_{Rec}) - W_{Rec}}{V}$$

$$PVSS = \frac{7.316 - 2.865}{0.003} = 1390.94 \text{ kg/m}^3$$

Ecuación 13. Peso Volumétrico Seco Compacto

$$PVSC = \frac{W_S}{V} = \frac{(W_S + W_{Rec}) - W_{Rec}}{V}$$

$$PVSC = \frac{(7.465 - 2.865)}{0,003} = 1437.50 \text{ kg/m}^3$$

Donde:

W_S : Peso del molde + material

W_{Rec} : Peso del molde

V : Volumen del molde

A continuación, se presenta los datos obtenidos en el laboratorio y pesos correspondientes al agregado fino:

Tabla 5. Pesos Unitarios Suelos y Compactos de la Arena

	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Peso del molde (kg)	2.865	2.865	2.865
Peso Material suelto más molde (kg)	7.316	7.265	7.324
Peso Material compacto más molde (kg)	7.465	7.534	7.535
Volumen de molde (m³)	0.003	0.003	0.003
PVSS (kg/ m³)	1390.94	1375.00	1393.44
	1386.46		
PVSC (kg/ m³)	1437.50	1459.06	1459.37
	1451.98		

Fuente: Elaboración propia

El boletín E1-99 de ACI en la sección 3.4 del método de pesos unitarios, indica que los valores de pesos volumétricos compactos deben estar entre 1200 y 1760 kg/m³. Los valores obtenidos se encuentran dentro del rango para agregados para concreto.

2.2.3. Análisis granulométrico

Ilustración 1. Partículas de arena separadas luego de realizar granulometría.



Fuente: Elaboración propia

La granulometría por tamizado es un modo de medir los tamaños de partículas de una muestra de agregados haciéndolas pasar por mallas (o tamices) de distintas aperturas. El tamizado es la opción más tradicional y tiene la ventaja de su simplicidad mecánica y operativa.” (Gámez, s.f.).

En el ensayo para conocer la granulometría se obtienen los pesos retenidos por cada tamiz, se realiza con un peso seco inicial de aproximadamente 500g según lo establecido en ASTM C136.

Con las ecuaciones siguientes se calculan los porcentajes retenidos y que pasan.

Ecuación 14: Porcentaje retenido parcial

$$\%RP = \frac{\text{peso retenido en cada tamiz}}{\text{peso seco total}} * 100$$

Ecuación 15: Porcentaje retenido acumulado

$$\%RA = \%RA_i + \%RP_{i+1}$$

Ecuación 16: Porcentaje que pasa

$$\%pasa = 100 - \%RA$$

La tabla siguiente muestra los datos obtenidos del ensayo granulométrico de la arena.

Tabla 6. Granulometría Arena de Motastepe

Tamiz	Abertura libre del tamiz (mm)	Peso Retenido Parcial (gr)	Porcentaje Retenido Parcial (%)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Limites ASTM C-33
N°4	4.75	0	0.00	0.00	100	95-100
N°8	2.36	227.7	45.54	45.54	54.46	80-100
N°16	1.18	142.7	28.54	74.08	25.92	50-85
N°30	0.6	71.4	14.28	88.36	11.64	25-60
N°50	0.3	28.3	5.66	94.02	5.98	5-30
N°100	0.15	9.6	1.92	95.94	4.06	0-10
N°200	0.075	4.1	0.82	96.76	3.24	0-3
Pasa 200		16.2	3.24	100	0.00	
Sumatoria		500	100			

Fuente: Elaboración propia

El módulo de finura también forma parte de la granulometría de la arena, la cual se calcula con la siguiente ecuación:

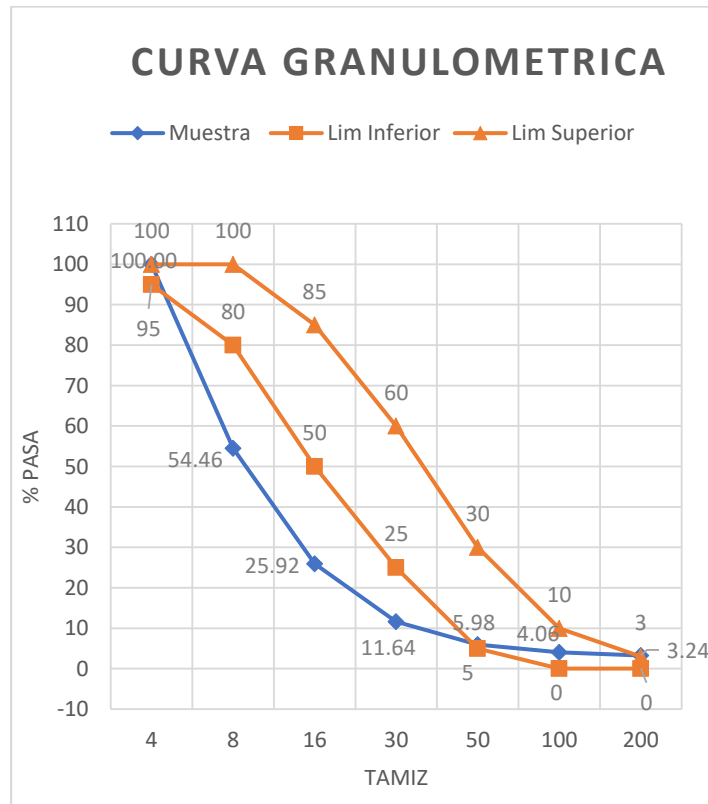
Ecuación 17: Módulo de finura

$$M_f = \frac{\sum \%RA}{100}$$

El módulo de finura obtenido para este material es de 3.98.

El porcentaje de material que pasa se utiliza para obtener la curva granulométrica del material, en la cual se grafican los límites para conocer el comportamiento de la arena.

Gráfico 3. Curva Granulométrica de la Arena



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico se observa que la curva se encuentra por debajo del límite establecido para los tamices nº8, 16 y 30 por la norma ASTM C33, esto indica que se tiene un agregado más grueso de lo normal, lo cual coincide con su módulo de finura obtenido que es de 3.98. Además, se encontró que la arena proveniente del cerro Motastepe presenta un sobre tamaño de alrededor de 16% de su peso.

Ambos valores se encuentran fuera de los rangos establecidos para estas características en las arenas, sin embargo, la normativa indica que se puede usar el agregado fino siempre que se pueda demostrar que este tendrá propiedades relevantes o que provenga de una fuente que tenga un historial de rendimiento aceptable en la construcción.

2.2.4. Contenido de impurezas orgánicas

Debido a que ciertos tipos de materia orgánica afectan el proceso de fraguado del cemento, interfiriendo con el desarrollo normal de la resistencia y endurecimiento del concreto, es sumamente importante determinar el grado de concentración que se encuentra presente en los agregados.

Para determinar el contenido de orgánicas se utiliza normalmente la prueba conocida como colorimetría o prueba de color, designada en la ASTM C 40. En la prueba realizada se obtuvo como resultado un color naranja, que corresponde al color 2, lo cual es aceptable.

Ilustración 2. Índice de impurezas orgánicas



Fuente: Elaboración propia

2.3. AGREGADO GRUESO

La grava usada es proveniente de la empresa de Productos Industriales de Concreto (PROINCO).

Al igual que con la arena, para los ensayos se realizan muestreos de material siguiendo los lineamientos de la normativa ASTM C702, donde se describen dos métodos para el agregado grueso: cuarteo mecánico y manual, en este caso se usó el cuarteo manual.

2.3.1. Gravedad específica y porcentaje de absorción

La norma ASTM C127 indica que la obtención de los datos de gravedad específica y porcentaje de absorción para la grava se realiza mediante el método de la balanza hidrostática, en la cual es necesario llevar al material a la condición saturada superficialmente seca, se realizaron tres pruebas con diferentes muestras, con los datos obtenidos mediante este ensayo se pueden obtener los valores de gravedad específica, gravedad específica aparente, gravedad específica saturada superficialmente seca y porcentaje de absorción.

Ecuación 18. Gravedad específica de la grava

$$G_e = \frac{A}{B - C}$$

Ecuación 19. Gravedad específica de la grava saturada superficialmente seca

$$G_{eSSS} = \frac{B}{B - C}$$

Ecuación 20. Gravedad específica aparente de la grava

$$G_{eAP} = \frac{A}{A - C}$$

Donde:

A: Muestra seca

B: Muestra sss

C: Peso del material sumergido

Los datos recolectados en el laboratorio se presentan en el Anexo A, Tabla A-5 y a continuación se muestra el desarrollo de las ecuaciones para la muestra 1.

$$G_e = \frac{3.692 - 0.326}{(3.733 - 0.326) - (4.028 - 0.921 - 0.921)} = 2.757$$

$$G_{eSSS} = \frac{3.733 - 0.326}{(3.733 - 0.326) - (4.028 - 0.921 - 0.921)} = 2.790$$

$$G_{eAP} = \frac{3.692 - 0.326}{(3.692 - 0.362) - (4.028 - 0.921 - 0.921)} = 2.853$$

En la tabla se muestran los resultados de cada una de las muestras tomadas.

Tabla 7. Gravedades específicas y porcentajes de absorción de la grava

GRAVA DE PROINCO	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Gravedad Específica	2.76	2.73	2.71
	2.73		
Gravedad Específica (sss)	2.79	2.76	2.74
	2.76		
Gravedad Específica Aparente	2.85	2.81	2.80
	2.82		
Porcentaje de Absorción	1.22	1.07	1.14
	1.14		

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de aceptación de gravedades específica para la grava, según la normativa C127 están basados en las pruebas de AASHTO T84, la que a diferencia de lo que indica ASTM tienen menor tiempo de saturación. Los valores obtenidos en las pruebas realizadas se encuentran dentro de los límites de precisión tanto para las diferentes densidades y los valores de absorción.

2.3.2. Pesos unitarios secos sueltos y compactos

En el caso de los pesos unitarios del agregado grueso se siguen los lineamientos de la norma ASTM C29. Se toman tres muestras diferentes para tener una mayor

certeza en ambas pruebas. El cálculo de los pesos volumétricos se realiza con la Ecuación 12 y Ecuación 13, usadas para los pesos del agregado fino.

En la siguiente tabla se encuentran los datos obtenidos en el laboratorio y los resultados para cada ensayo:

Tabla 8. Pesos unitarios Suelos y Compactos de la Grava

	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Peso del molde (kg)	5.652	5.652	5.652
Peso Material suelto más molde (kg)	19.935	20.095	20.026
Peso Material compacto más molde (kg)	21.145	21.228	21.235
Volumen de molde (m³)	0.010	0.010	0.010
PVSS (kg/m³)	1400.294	1415.980	1409.216
	1408.50		
PVSC (kg/m³)	1518.922	1527.059	1527.745
	1524.58		

Fuente: Elaboración propia

La tabla 2 expuesta en el boletín educativo ACI (Anexo A, Tabla A-7), indica que la densidad de los agregados gruesos para uso en el concreto debe encontrarse en un rango de 1280 y 1920 kg/m³. Las pruebas realizadas arrojan que la grava se encuentra dentro de los valores establecidos por las normativas de control de calidad de los agregados de concreto.

2.3.3. Análisis granulométrico

El proceso para la realización del análisis granulométrico del agregado grueso se lleva a cabo con el método de tamizado, de la misma forma que el agregado fino, siguiendo la norma ASTM C136, así mismo para el cálculo de los porcentajes necesarios para el análisis se toman las fórmulas descritas para la arena.

Para la grava se toma una muestra mayor a cinco kilogramos, esto en función del tamaño máximo nominal.

La tabla siguiente muestra los datos obtenidos del ensayo granulométrico del agregado grueso:

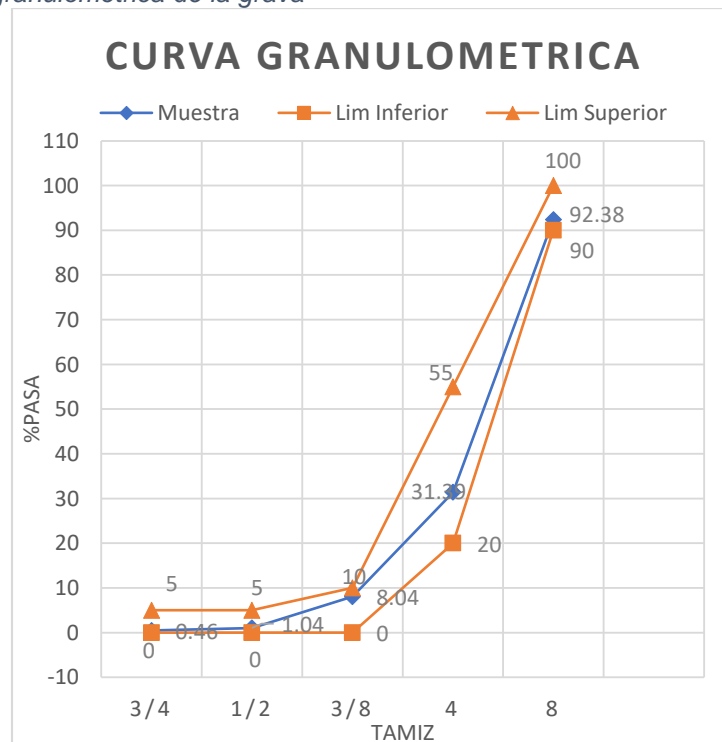
Tabla 9. Granulometría Grava de PROINCO

Tamiz	Abertura libre del tamiz (mm)	Peso Retenido Parcial (kg)	Porcentaje Retenido Parcial (%)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Limites ASTM C-33
¾	19.1	0.665	7.62	7.62	92.38	90-100
½	12.7	5.323	60.99	68.61	31.39	20-55
3/8	9.52	2.038	23.35	91.96	8.04	0-10
N° 4	6.35	0.611	7.00	98.96	1.04	0-5
N° 8	4.75	0.051	0.58	99.54	0.46	0
Pasa N°8	2.38	0.04	0.46	100.00	0.00	0
Sumatoria		8.728	100.00			

Fuente: Elaboración propia

Obtenidos los datos del análisis granulométrico, donde se tiene un tamaño nominal máximo de ¾" y tamaño máximo de 1", se procede a graficar los porcentajes pasantes por cada tamiz y los límites establecidos en ASTM C33 con los cuales se verá el comportamiento del material.

Gráfico 4. Curva granulométrica de la grava



Fuente: Elaboración propia

El material obtenido se encuentra dentro de todos los rangos establecidos por la normativa, lo que indica que es óptimo para el uso en mezclas de concreto.

2.3.4. Resistencia al desgaste por cargas abrasivas

En este ensayo se mide la resistencia que ofrecen los áridos a la abrasión o golpes, para la prueba de resistencia a la abrasión o al desgaste se utiliza la Máquina de los Ángeles en la que cual se introduce una determinada cantidad del material junto con esferas de acero, ambos en dependencia del grado y tamaño nominal máximo de la grava, dentro de un cilindro metálico que se pondrá a rotar hasta un determinado número de revoluciones.

Ilustración 3. Material que pasa tamiz N12 después del ensayo



Fuente: Elaboración propia

Por medio de la prueba se obtuvo que la grava presenta un porcentaje de desgaste a la abrasión de 38% aproximadamente, lo cual es aceptable ya que se encuentra bajo del 50% de desgaste máximo permitido según ASTM C33.

2.4. CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

El bagazo de la caña aporta alrededor de 2.8% de cenizas. Se plantea que el porcentaje de cenizas fluctúa entre 0.78 y 3.22, en dependencia del tipo de suelo, forma de alza y recolección. Los constituyentes de la ceniza varían en cantidad dentro de estrechos límites, de acuerdo con la cantidad de terreno, tipo de abono y variedad de la caña [Villegas, 2000; Pérez, 1997; Luna, 1972].

Al igual que el cemento, las puzolanas también cuentan con métodos estandarizados y especificados para su control de calidad. Las propiedades de las puzolanas para verificar su calidad son las siguientes según la especificación ASTM C618.

Con base en los argumentos mencionados anteriormente, se trabajó con las cenizas de bagazo de caña de azúcar provenientes del Ingenio Monte Rosa, ubicado en la ciudad de Chinandega, Nicaragua con el fin de evaluar su potencial uso.

La ceniza que se usó proviene del ingenio azucarero Monte Rosa ubicado en el departamento de Chinandega. Partiendo del estudio realizado en la monografía “Influencia de ceniza de bagazo de caña de azúcar proveniente del ingenio Monte Rosa sobre las propiedades físico-mecánicas y de durabilidad de morteros de cemento tipo GU”, se trabajó la ceniza de la misma forma para no alterar su composición. Se secó en horno a 110°C durante 24 horas y se molió para obtener un tamaño adecuado que pasara por la malla ASTM 200.

Alguna de las propiedades estudiadas por Gaitán & Torrez son la densidad, composición química y finura de la ceniza, se describen a continuación:

2.4.1. Densidad

Como con el cemento el peso específico o densidad, ASTM C311 explica que la determinación de la densidad se determina según lo estipulado en ASTM C188, la gravedad específica de la ceniza se fue determinada por Gaitán & Torrez por medio del desplazamiento de gasolina a través del matraz de Le Chatelier, y tiene un valor de 2.13kg/m³.

2.4.3. Análisis químico

La ceniza proveniente del ingenio Monte Rosa, está compuesta principalmente por SiO₂, Al₂O₃ y Fe₂O₃. Uno de los requerimientos de la normativa ASTM C618 es que la suma de estos compuestos no sea menor a 70%.

Tabla 10. Composición química de CBCA (%peso)

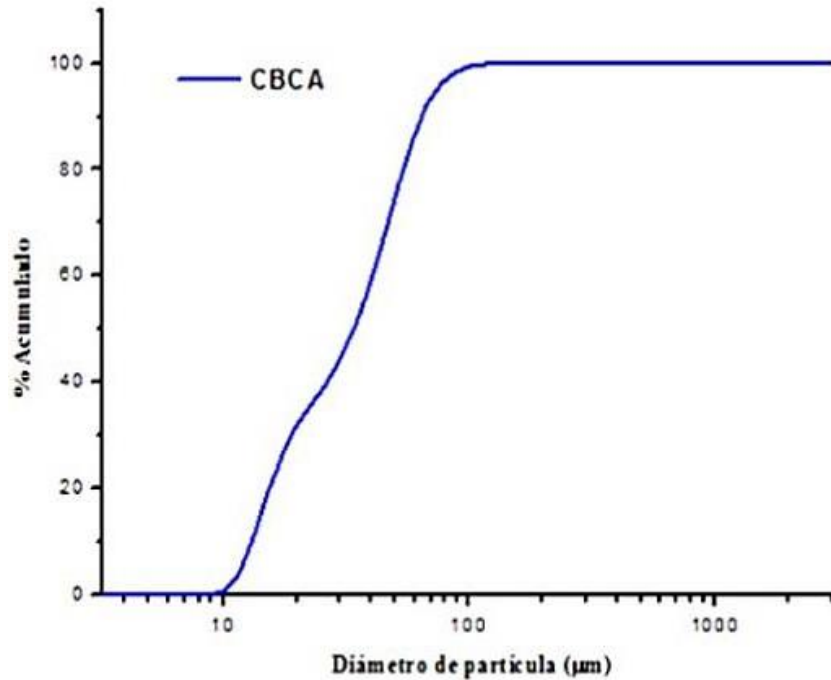
ZrO ₂	Cl	SrO	MnO	TiO ₂	SO ₃	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MgO	CaO	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	PPI	SiO ₂
0.006	0.017	0.031	0.095	0.395	0.399	0.509	1.15	1.59	3.556	4.145	4.921	6.726	14.13	62.33

Fuente: Gaitán & Torrez, 2013

2.4.2. Finura de la ceniza

Por medio de la difracción láser, se encontró la distribución de tamaños de las partículas las que tienen un tamaño promedio de $36.32\mu\text{m}$. El gráfico siguiente muestra cómo se comporta la estructura de las partículas de la ceniza.

Gráfico 5. Distribución de tamaños de partículas de la Ceniza de bagazo de caña



Fuente: Gaitán & Torrez, 2013

En la tabla siguiente se muestran los valores exactos de los diámetros que presentan las partículas.

Tabla 11. Distribución de tamaños de partículas de la ceniza

Volumen Acumulado (%)	Diámetro de Partícula (μm)
10	13.119
25	17.003
50	34.289
75	50.079
90	64.699

Fuente: Gaitán & Torrez, 2013

2.4.4. Contenido de humedad

Para el uso en mezclas el porcentaje de humedad no deberá exceder un 3%.

2.4.5. Índice de actividad

Se considerará como potencialmente reactiva a la puzolana si su resistencia a compresión resulte igual o mayor al 75% desarrollado por la mezcla control a la edad de 7 o 28 días.

2.4.6. Consistencia normal

Se determino el porcentaje de agua óptimo para cada combinación con el mismo método usado en el cemento. En la siguiente tabla se muestran los resultados del ensayo.

Tabla 12. Consistencia normal para combinaciones de cemento y ceniza

Mezcla	Peso de la muestra (g)		Cantidad de agua (ml)	Penetración (mm)	% Agua
	Cemento	Ceniza			
1	617.5	32.5	182	10	28%
2	585	65	205.4	11	31.6%
3	552.5	97.5	234	10	36%

Fuente: Elaboración propia

2.4.7. Tiempo de fraguado

Con el fin de observar las variaciones que aporta la ceniza de bagazo de caña de azúcar en el proceso de endurecimiento, se realizaron pruebas de tiempo de fraguado para las distintas combinaciones de estudio, los datos recabados en el laboratorio están reflejado en el Anexo D.

CAPITULO 3. DISEÑO Y ELABORACIÓN DE MEZCLA

3.1. DISEÑO DE MEZCLAS

Para realizar las diferentes mezclas de concreto de acuerdo al porcentaje de sustitución parcial de cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar, se parte de un diseño de mezcla base tomando en cuenta los pasos del manual del ACI 211.1.

La resistencia para la que se diseña el concreto simple es de 3000 PSI (210 kg/cm²). El concreto convencional es utilizado como parámetro comparativo para el análisis del desempeño de los concretos que contienen ceniza.

En total se elaboraron cinco diferentes mezclas de concreto entre las cuales están la de concreto convencional y otras cuatro mezclas en la que el cemento se sustituye por ceniza en porcentajes de 5%, 10%, 15% y 100%.

Para poder lograr un diseño eficiente el cual cumpliera con la resistencia mínima requerida se fabricaron muestras preliminares para determinar el comportamiento del concreto, la mezcla preliminar de concreto que se realizó obtuvo una resistencia por debajo de la esperada a los 28 días, por lo cual se incrementó en un 10% la cantidad de cemento y agua a utilizar, manteniendo así la relación agua/cemento y de esta manera poder lograr alcanzar los 3000 psi en los ensayos de resistencia a compresión en los especímenes de concreto.

3.1.1. Supuestos de diseño

Se propone:

Un concreto para utilizar en columnas y vigas

Una resistencia de 3000 PSI (210 kg/cm²) sin aire incluido.

3.1.2. Proceso de diseño inicial

a. Selección del revenimiento

La selección del revenimiento está de acuerdo al tipo de estructura en la que se utilizará el concreto, este diseño se realiza para un concreto a utilizar en vigas y columnas, por lo tanto, la Tabla 6.3.1 del ACI 211.1 (Ver anexo B, Tabla B-1) establece un revenimiento máximo de 100 mm y un valor mínimo de 25 mm, el valor seleccionado es de 100 mm para una mejor trabajabilidad.

b. Determinación del contenido de agua y aire

El tamaño máximo nominal del agregado a utilizar es de 19 mm y se propone un revenimiento de 100 mm, por lo tanto, en la Tabla 6.3.3 del ACI 211.1 (Ver Anexo B, Tabla B-2) se establece 205 kg/m³ de agua y 2% de aire por ser un concreto sin aire incluido.

c. Determinación de la relación agua/cemento (a/c)

La resistencia a alcanzar es de 3000 PSI (210 kg/cm²), por lo tanto, para poder alcanzar dicho valor se trabaja con un factor de seguridad establecido en la Tabla 5.3.2.2 del ACI 318 (Ver Anexo B, Tabla B-3), ya que no se cuenta con muestras disponibles. Con la siguiente ecuación se calculó dicha resistencia:

Ecuación 21. Resistencia promedio requerida

$$f'_{cr} = f'_c + 85 = \frac{210kg}{cm^2} + 85 = 295 \frac{kg}{cm^2} = 4200 \text{ psi}$$

Con la resistencia calculada anteriormente se localiza la relación agua/cemento dicho valor en la Tabla 6.3.4 (a) de ACI 211.1 (Ver Anexo B, Tabla B-4) dando como resultado de una interpolación lineal 0.552.

d. Cálculo del contenido de cemento

Partiendo de la relación agua/cemento de 0.552 y un peso de agua de 205 kg/cm³, se determina el contenido de cemento a utilizar para 1 m³ despejando de la Ecuación 22:

Ecuación 22. Relación agua/cemento

$$R_{\frac{a}{c}} = \frac{a}{c} ; C = \frac{205 \text{ kg/cm}^3}{0.552} = 371.376 = 8.738 \text{ bolsas de cemento}$$

R_{a/c}: Relación Agua – Cemento

a: Agua

c: Cemento

Sin embargo, debido a mezclas preliminares que brindaron un primer comportamiento de dicho concreto el cual no cumplía con la resistencia de 3000 psi, se procedió a incrementar la cantidad de cemento y agua en un 10%, resultando las siguientes cantidades:

Tabla 13. Cantidad de Agua y Cemento

Material	Kg	Relación A/C
Cemento	408.51	0.552
Agua	225.50	

Fuente: Elaboración propia

e. Primera estimación del peso del concreto en estado fresco

De la tabla 1.6.3.7.1 de la ACI (Anexo B, Tabla B-5), se obtiene una primera estimación del peso de la mezcla de concreto de 2345 kg/m³, esto para un tamaño máximo nominal de 19 mm (propuesto). Partiendo de este peso se calculan los pesos de los materiales y su volumen para 1 m³.

f. Determinación de cantidad de agregado grueso

Para la obtención del volumen de la grava es necesario utilizar la tabla 6.3.6 del ACI 211.1 (Ver anexo B, Tabla B-6). En donde a manera de extrapolación se determina el valor de 0.49 m³ de grava. Este volumen es compacto por lo que para obtener el peso real se utiliza el PVSC realizando el siguiente cálculo:

Tabla 14. Extrapolación del volumen de grava

Extrapolación	
M.F	Volumen Agregado Grueso
3.8	0.52
3.9	0.51
4	0.5

Fuente: Elaboración propia

Ecuación 23. Peso del agregado grueso

$$PVSC_G = \frac{W_G}{V_G} \rightarrow W_G = PVSC_G * V_G$$

$$W_G = 1524.58 \frac{kg}{m^3} * 0.502 m^3$$

$$W_G = 765.34 kg$$

$PVSC_G$: Peso Volumétrico Seco Compacto de la Grava

W_G : Peso de la Grava

V_G : Volumen de la Grava

Por lo tanto, se establece que para la fabricación de un metro cubico de concreto se requieren 765.34 kg de agregado grueso.

g. Determinación de cantidad de agregado fino

Una vez obtenidas las cantidades de cemento, grava, agua y aire, se procede a determinar los volúmenes que representaran en la mezcla de concreto para posteriormente determinar la cantidad de agregado fino.

- **Volumen del Cemento**

Ecuación 24. Volumen del cemento

$$V_C = \frac{W_C}{GE_C * \gamma_W}$$
$$V_C = \frac{408.51 \text{ kg}}{3.15 * 1000 \text{ kg/m}^3}$$

$$V_C = 0.129 \text{ m}^3$$

V_C : Volumen de Cemento

W_C : Peso del Cemento

GE_C : Gravedad Especifica del Cemento

γ_W : Densidad del Agua

- **Volumen de Agua**

Ecuación 25. Volumen de agua

$$\gamma_W = \frac{W_W}{V_W}$$
$$V_W = \frac{225.5 \text{ kg}}{1000 \text{ kg/m}^3}$$
$$V_W = 0.225 \text{ m}^3$$

γ_W : Densidad del Agua

W_W : Peso del Agua

V_W : Volumen del Agua

- **Volumen de grava**

Ecuación 26. Volumen de grava

$$V_G = \frac{W_G}{GE_G * \gamma_W}$$

$$V_G = \frac{765.34 \text{ kg}}{2.82 * 1000 \text{ kg/m}^3}$$

$$V_G = 0.271 \text{ m}^3$$

V_G : Volumen de Grava

W_G : Peso de la Grava

GE_G : Gravedad Especifica de la Grava

- **Volumen del Aire**

El contenido de la cantidad de Aire se determina a través de la tabla que se muestra en la Tabla 6.3.3 del ACI 211.1 (Ver Anexo B, Tabla B-2), donde dicha cantidad de aire está establecida en 2% debido al tamaño del agregado grueso definido en 19 mm.

- **Volumen de Arena**

Luego de obtener todos los volúmenes se resta al volumen total de la mezcla.

Ecuación 27. Volumen de arena

$$V_{AR} = 1\text{m}^3 - V_G - V_C - V_W - V_A$$

$$V_{AR} = 1\text{m}^3 - 0.271 \text{ m}^3 - 0.129\text{m}^3 - 0.225\text{m}^3 - 0.02\text{m}^3$$

$$V_{AR} = 0.353\text{m}^3$$

V_{AR} : Volumen de Arena

V_G : Volumen de Grava

V_C : Volumen de Cemento

V_W : Volumen del Agua

V_A : Volumen de Aire

- **Peso de la arena**

Por último, se utiliza la fórmula de pesos absolutos y se obtiene el valor de la arena.

Ecuación 28. Peso de la arena

$$W_{Ar} = V_{Ar} * GE_{Ar} * \gamma_W$$

$$W_{Ar} = 0.353m^3 * 2.90 * 1000 kg/m^3$$

$$W_{AR} = 1025.95 kg$$

W_{Ar} : *Peso de la Arena*

V_{Ar} : *Volumen de Arena*

GE_{Ar} : *Gravedad Especifica de la Arena*

γ_W : *Densidad del Agua*

h. Corrección de agua de mezclado

Para lograr una correcta hidratación de la mezcla es necesario tomar en cuenta el porcentaje de absorción de los agregados ya que de no ser así el agua sería insuficiente para poder cumplir con la relación agua cemento.

Ecuación 29. Peso total de agua

$$W_{Wmez} = W_W + W_{Wabs}$$

$$W_{Wmez} = W_W + \left[W_{AR} * \left(\frac{\%abs}{100} \right) + W_G * \left(\frac{\%abs}{100} \right) \right]$$

$$W_{Wmez} = 225.5 \text{ kg} + \left[1025.95 \text{ kg} * \left(\frac{6.185}{100} \right) + 765.34 * \left(\frac{1.141}{100} \right) \right] = 297.69 \text{ kg}$$

W_{Wmez} : *Peso del Agua de la Mezcla*

W_W : *Peso del Agua obtenido de la Relación Agua-Cemento*

W_{Wabs} : *Peso del Agua de absorción de los Materiales*

W_{AR} : *Peso de la Arena*

W_G : *Peso de Grava*

Sin embargo, los materiales utilizados para fabricar las mezclas de concreto estaban en estado seco por lo que no fue necesario realizar la corrección por humedad en la elaboración de mezclas de concreto.

i. Cálculo de proporciones

Para el cálculo de proporciones se toma en cuenta tanto el peso de los materiales y su volumen, para poder obtener dos tipos de proporciones.

- **Proporciones por volumen**

Una vez determinado los pesos volumétricos del cemento, arena y grava se proceden a calcular las proporciones por volumen, quedando de la siguiente manera:

$$\frac{V_C}{V_C} = \frac{0.320 \text{ m}^3}{0.320 \text{ m}^3} = 1.00$$

$$\frac{V_{AR}}{V_C} = \frac{0.754 \text{ m}^3}{0.320 \text{ m}^3} = 2.31$$

$$\frac{V_G}{V_C} = \frac{0.530 \text{ m}^3}{0.320 \text{ m}^3} = 1.70$$

La proporción en base a volumen es: 1: 2.31: 1.70

3.2. ELABORACIÓN DE MEZCLAS

3.2.1. Proceso general de mezclado

La fabricación de la mezcla de concreto se realizó de acuerdo a lo que dicta la norma ASTM C192, la cual cubre los procedimientos para hacer y curar especímenes de pruebas de concreto.

Para la elaboración de cada mezcla se usó una mezcladora marca HUMBOLDT con capacidad de $\frac{1}{2}$ m³ de concreto. Antes de proceder a la elaboración de las batchadas se realizó la preparación de los materiales y equipos a usar, este proceso estuvo definido por el pesaje de cada agregado y materiales cementantes, la aplicación de desmoldante a los cilindros, la humectación de los equipos de ensayo y mezclado.

Lista el área de trabajo se agregaron los materiales en el orden que indica la normativa, comenzando por agregar la grava con una porción de agua, se enciende la mezcladora y se va agregando los demás materiales finalizando por añadir el agua sobrante, una vez añadidos todos los materiales se procedió a mezclar durante 3 minutos, seguido de un periodo de descanso de 3 minutos cubriendo la parte superior de la mezcladora para evitar la evaporación, más una mezcla final de 2 minutos. Para evitar la segregación y obtener un mayor control y comodidad al momento de manipular la mezcla para las pruebas esta se colocó en una carretilla y se mantuvo la uniformidad de la mezcla con la ayuda de una pala.

Una vez terminado el mezclado y colocado en la carretilla, se inserta en esta el termómetro para tomar la temperatura de las mezclas.

Seguido de esto se realiza la prueba de revenimiento, la cual comienza humedeciendo el equipo para el ensayo, luego se llena el cono truncado en tres capas para las cuales se acomoda la mezcla dando 25 golpes con una varilla de 5/8" para cada capa según la normativa, terminado este proceso se levanta el cono y se coloca al lado de la mezcla para tomar la medida del asentamiento de la mezcla.

Otra prueba de control que se realiza es el peso volumétrico del concreto, al igual que la prueba de revenimiento se llena el molde en tres capas y se varilla 25 veces para acomodar las partículas complementándolo con golpes con un mazo por capa.

Realizadas todas las pruebas de control para el concreto se procede a elaborar las probetas de ensayo. Se usaron moldes de 4x8" para la cual la normativa correspondiente indica que para este tamaño se llenan en dos capas, varillando con una varilla de 3/8" y dando 15 golpes con un mazo por cada capa, terminado el proceso se enrasan los moldes, 24hrs después se desmoldan y se colocan en la pila de curado hasta el día que se realice la prueba.

CAPITULO 4. CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO

Las pruebas es estado fresco y endurecido se realizan con el fin de determinar la calidad del concreto y se llevaron a cabo para cada una de las mezclas siguiendo los lineamientos de las normativas ASTM.

4.1. Estado fresco

- **Temperatura – ASTM C1064**

Para el proceso de este ensayo se tomó como base lo estipulado en ASTM C106. Los resultados obtenidos se analizaron de acuerdo a lo establecido en el ACI 305, donde se indica que el concreto debe poseer una temperatura máxima para colocación en climas cálidos de 35°C, con el fin de evitar que el concreto endurezca más rápidamente.

Durante la elaboración de las distintas mezclas de concreto se pudo establecer que sus temperaturas cumplían lo establecido en el ACI puesto que la mayor temperatura registrada fue en la mezcla N°1 (100% Cemento) con un valor de 29°C.

Ilustración 4. Ensayo de Temperatura



Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 15 se muestran las temperaturas obtenidas en cada mezcla de concreto.

Tabla 15. Temperaturas Registradas

Temperaturas Registradas			
Mezcla	% Cemento	% Ceniza	Temperatura
1	100	0	29°C
2	95	5	28.8°C
3	90	10	27.3
4	85	15	27°C
5	0	100	N.R*

*N.R: No se realizó

Fuente: Elaboración Propia

La elaboración de las mezclas de concreto se ejecutó en horas tempranas de la mañana (8:00 am) con el fin de que la temperatura ambiente y sensación térmica no afectara el comportamiento de las mezclas que se estaban elaborando. Otro factor a tomar en cuenta es que estas se realizaron en los meses de julio y agosto, los cuales son característicos de ser de temporada lluviosa en que las temperaturas registradas en las horas de la mañana no son elevadas.

- **Revenimiento – ASTM C143**

Se ejecuto este ensayo de acuerdo a lo especificado en la norma ASTM C-143. El diseño de la mezcla se proyectó para un revenimiento de 4”, en las mezclas elaboradas dos estuvieron dentro del rango de ± 1 ” de tolerancia para el asentamiento.

Ilustración 5: Ensayo de Revenimiento



Fuente: Elaboración Propia

Debido a que esta investigación lleva a cabo el estudio del comportamiento de la sustitución parcial de cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar, la cantidad de agua para las mezclas en la que interactúa la ceniza se mantuvo igual a la cantidad de agua utilizada en la mezcla base de 100% cemento.

En la Tabla 16 se muestra los resultados de cada mezcla.

Tabla 16: Datos de Revenimiento

Datos de Revenimientos					
Mezcla	% Cemento	% Ceniza	Revenimiento		Cumple
			Pulg	mm	
1	100	0	3.78	96	SI
2	95	5	6.69	170	NO
3	90	10	3.54	90	SI
4	85	15	1.57	40	NO
5	0	100	N.R	N.R	-

**N.R: No se realizó*

Fuente: Elaboración Propia

En la información mostrada en la tabla anterior se puede observar que las mezclas que no cumplen con el asentamiento establecido son las numero 2 (5% ceniza) y 4 (15% ceniza), el revenimiento es inversamente proporcional a la cantidad de ceniza que se utilice en la mezcla.

- **Peso volumétrico del concreto – ASTM C138**

El peso volumétrico se determinó para cada tipo de mezcla elaborada, siguiendo la normativa ASTM C-138, en la siguiente tabla se muestran los datos obtenidos para cada mezcla.

Tabla 17: Pesos Volumétricos de Mezclas

Pesos Volumétrico de Mezclas					
	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5
% Cemento	100	95	90	85	100
% Ceniza	0	5	10	15	0
Peso del molde (kg)	2.423	2.423	2.423	2.423	N.R*
Peso concreto más molde (kg)	17.448	18.135	18.058	18.297	N.R*
Volumen de molde (m³)	0.007	0.007	0.007	0.007	N.R*
Peso Volumétrico (kg/m³)	2146.429	2244.571	2233.571	2267.714	N.R*

*N.R: No se realizó

Fuente: Elaboración Propia

El mayor peso volumétrico se obtiene en la mezcla donde no se emplea ceniza, mientras en las mezclas 2 y 3 se presenta una reducción más considerable del peso volumétrico, esto se debe a que la ceniza presenta menor densidad que el cemento provocando que el concreto reduzca dicho peso.

Sin embargo, la diferencia entre cada mezcla con respecto a la mezcla base no presenta grandes variaciones siendo la mayor diferencia de 87.142 g que es la mezcla número 3 (10% ceniza).

Ilustración 6: Ensayo de Peso Volumétrico



Fuente: Elaboración Propia

4.2. Estado endurecido

- **Resistencia a la compresión del concreto - ASTM C39**

Para llevar a cabo el ensayo de resistencia a la compresión se siguieron los criterios establecidos en la normativa ASTM C-39. Para cada mezcla de concreto se fabricaron 12 especímenes de ensayo con dimensiones de 4"x8", de los cuales se ensayaron 3 cilindros a edades de 7, 14 y 28 días. Antes de ejecutar la prueba de resistencia a la compresión, se procedió a tomar las muestras correspondientes de la pila curado y secarlos. Una vez que el exceso de humedad desapareció se tomaron los datos de su peso para posteriormente ensayarlos.

Ilustración 7. Ensayo de Resistencia a la Compresión



Fuente: Elaboración Propia

Para poder determinar la resistencia obtenida en cada cilindro se aplica la ecuación que se detalla a continuación, donde se utiliza la carga obtenida al momento que el cilindro llega a la falla y se divide entre el área de contacto del mismo.

Ecuación 31: Resistencia a la compresión

$$\text{Resistencia a la compresión} = \frac{\text{Carga Máxima}}{\text{Área de Contacto}}$$

En la Tabla 18 se muestran la resistencia a la compresión de todos los cilindros ensayados por cada edad. Para obtener los resultados reales se descartan los resultados no representativos, que corresponden a datos que difieren de la resistencia promedio en un 10.6% según la norma para este tamaño de especímenes.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan los resultados finales de la resistencia a compresión para cada muestra y en las edades correspondientes de los ensayos.

Tabla 18. Resistencia a la Compresión de Cilindros de Concreto

Resistencias a la compresión de cilindros de concreto					
Concreto	Id. Muestra	f'c psi	Cumplimiento %	f'c psi (Promedio)	Cumplimiento % (Promedio)
100% Cemento	7d-1	1790.49	59.68	1781.47	59.38
	7d-2	1621.79	54.06		
	7d-3	1932.14	64.40		
	14d-1	2112.78	70.43	2193.95	73.13
	14d-2	2256.82	75.23		
	14d-3	2212.25	73.74		
	28d-1	3092.38	103.08	3121.82	104.06
	28d-2	3151.27	105.04		
28d-3	2615.71	87.19			
95% Cemento y 5% Ceniza	7d-1	1231.06	41.04	1216.74	40.56
	7d-2	1270.85	42.36		
	7d-3	1148.30	38.28		
	14d-1	1666.35	55.55	1708.26	56.94
	14d-2	1765.03	58.83		
	14d-3	1693.41	56.45		
	28d-1	2158.94	71.96	2273.79	75.79
	28d-2	2289.44	76.31		
28d-3	2373.00	79.10			
90% Cemento y 10% Ceniza	7d-1	1000.29	33.34	1308.25	45.04
	7d-2	1308.25	43.61		
	7d-3	1394.20	46.47		
	14d-1	2041.16	68.04	1925.51	67.20
	14d-2	1991.03	66.37		
	14d-3	1744.34	58.14		
	28d-1	2154.96	71.83	2217.03	73.90
	28d-2	2147.80	71.59		
28d-3	2348.33	78.28			
85% Cemento y 15% Ceniza	7d-1	1059.18	35.31	1119.39	37.31
	7d-2	1196.85	39.89		
	7d-3	1102.15	36.74		
	14d-1	1556.54	51.88	1585.18	52.84
	14d-2	1501.63	50.05		
	14d-3	1697.39	56.58		
	28d-1	1979.09	65.97	2045.41	68.18
	28d-2	2124.72	70.82		
28d-3	2032.41	67.75			

Nota: Las cifras en rojos son valores de ensayos descartados por ser no representativo.

Fuente: Elaboración Propia

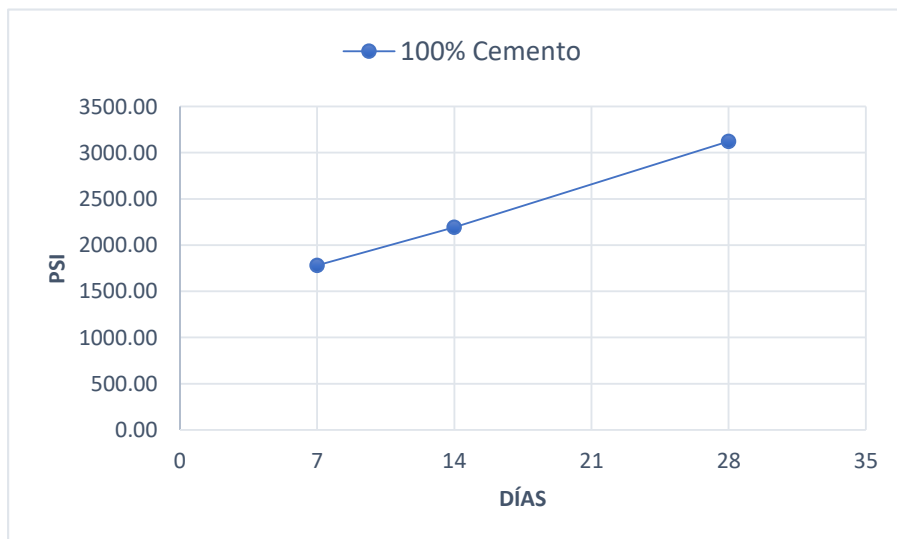
Tabla 19: Promedio de la Resistencia a compresión PSI

Promedio de la Resistencia a la Compresión (psi)			
MEZCLA	7 días	14 días	28 días
100% Cemento	1781.47	2193.95	3121.82
95% Cemento y 5% Ceniza	1216.74	1708.26	2273.79
90% Cemento y 10% Ceniza	1308.25	1925.51	2217.03
85% Cemento y 15% Ceniza	1119.39	1585.18	2045.41

Fuente: Elaboración Propia

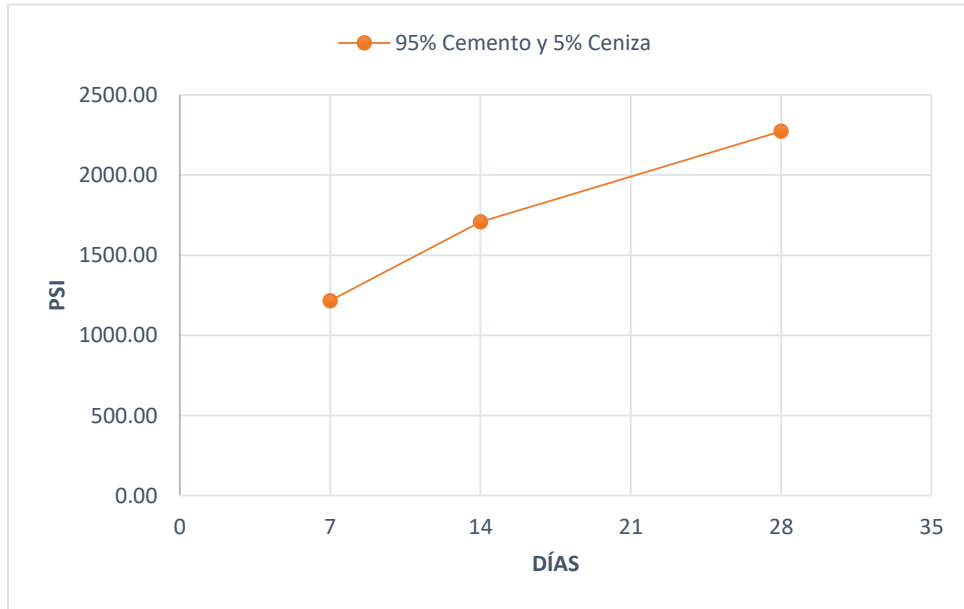
En los siguientes gráficos se muestra el desempeño de la resistencia a la compresión de cada mezcla realizada.

Gráfico 6. Resistencia a la compresión mezcla base



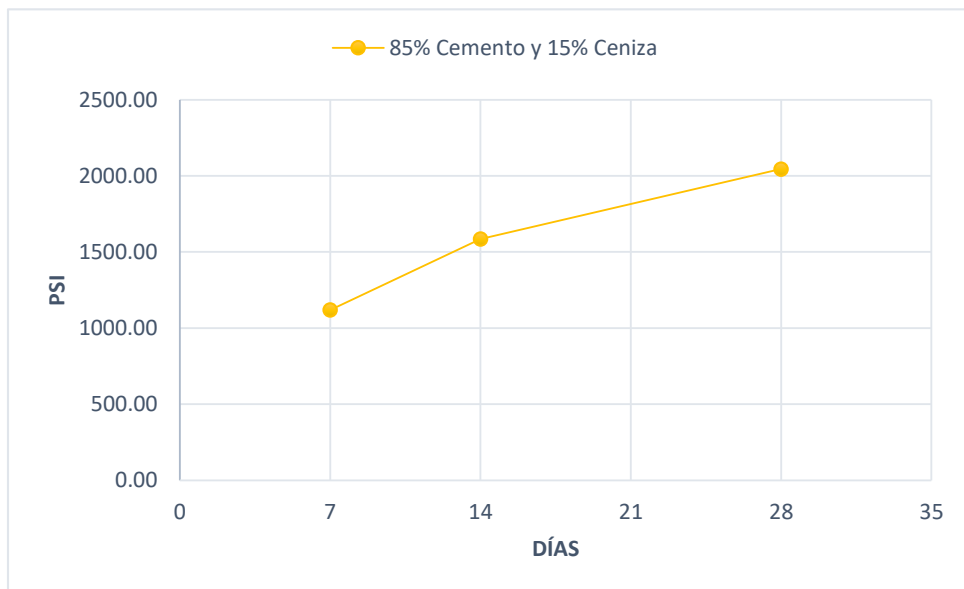
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 7. Resistencia a la compresión Sustitución 5%



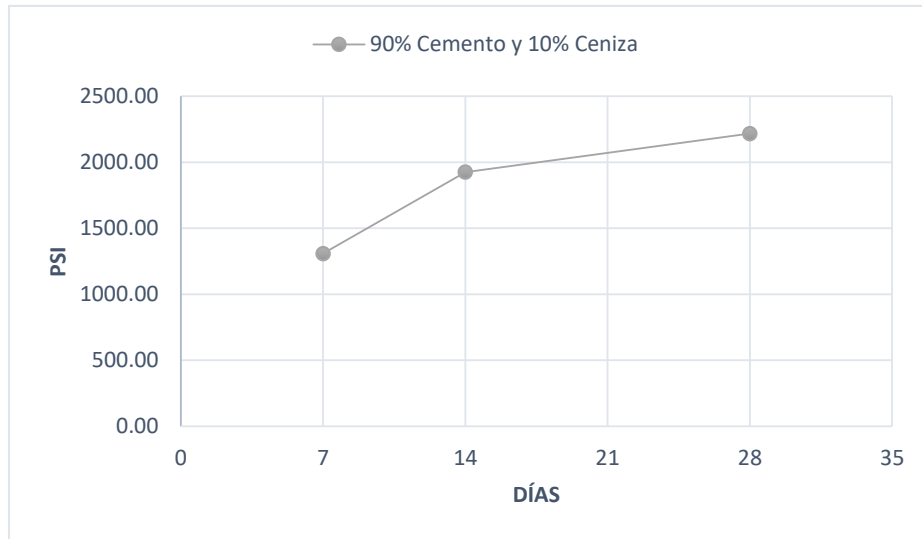
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 8. Resistencia a la compresión Sustitución 10%



Fuente: Elaboración Propia

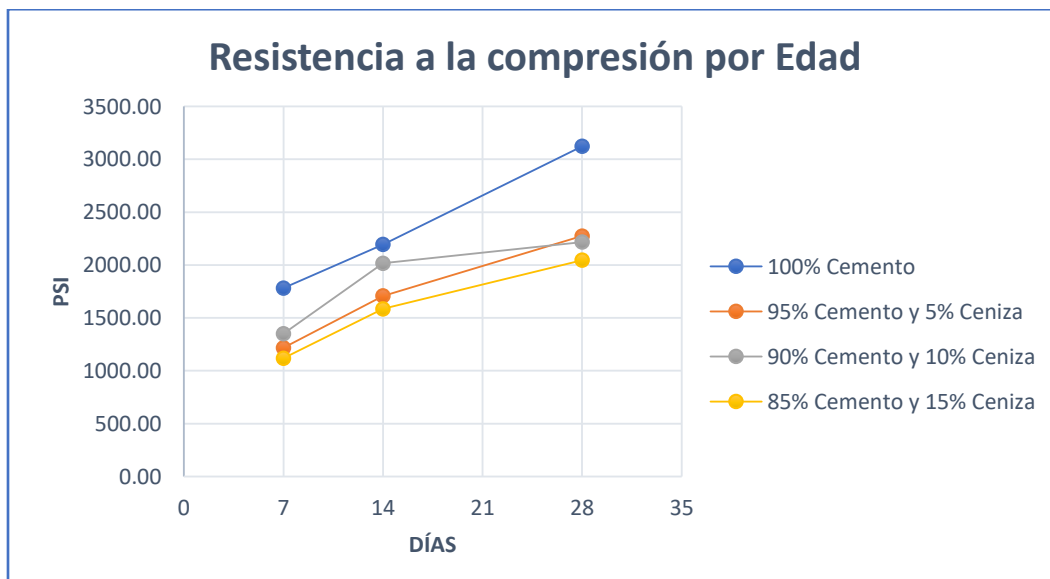
Gráfico 9. Resistencia a la compresión Sustitución 15%



Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se muestra una gráfica comparativa con el comportamiento de todas las mezclas estudiadas.

Gráfico 10. Resistencia a la compresión por edad de las mezclas de concreto



Fuente: Elaboración Propia

Para el diseño se estableció una resistencia de 3000 psi, en la mezcla patrón se logró alcanzar la resistencia deseada, sin embargo, las otras mezclas elaboradas no se obtuvo el valor esperado.

CAPITULO 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La tabla que se muestra a continuación presenta la recopilación de las propiedades determinadas en cada tipo de mezcla elaborada.

Tabla 20: Cuadro comparativo de las propiedades de las mezclas de concreto

MEZCLA	Temperatura (°C)	Peso Volumétrico (Kg/m ³)	Revenimiento (mm)	Resistencia a la Compresión 28 día (PSI)	% Cumplimiento
100% Cemento	29°C	2683.036	96	3121.82	104.06
95% Cemento y 5% Ceniza	28.8°C	2618.667	170	2273.79	75.79
90% Cemento y 10% Ceniza	27.3	2605.833	90	2217.03	73.90
85% Cemento y 15% Ceniza	27°C	2645.667	40	2045.41	68.18

Fuente: Elaboración Propia

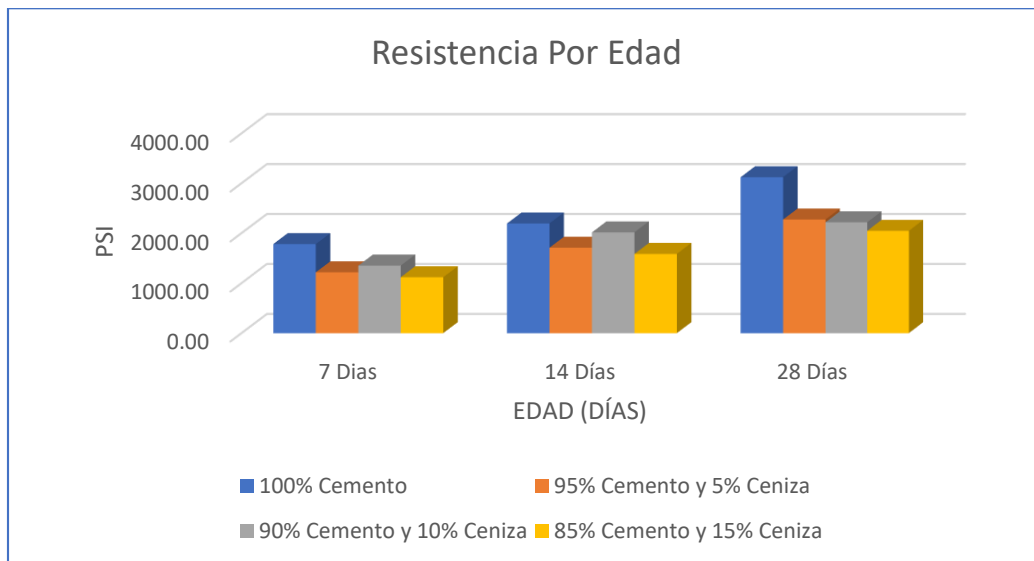
La principal variación que se pudo observar al momento de la realización de las mezclas fueron los valores de temperatura, la cual disminuye a medida que aumenta la cantidad de ceniza añadida.

En los valores de revenimiento se puede observar una gran variación a medida que se añade mayor cantidad de ceniza, lo que puede indicar que dicho material tiene mayor capacidad de absorción que el cemento y hace que el concreto presente una menor fluidez. Para complementar esto se realizaron pruebas de consistencia para las diferentes combinaciones estudiadas, teniendo mayores porcentajes de agua óptima en dependencia de la sustitución de ceniza que se hizo, así se pudo corroborar que la ceniza necesita mayor cantidad de agua para su hidratación.

Para la verificación de la densidad de cada mezcla se realizó el control para la mezcla en estado fresco donde los datos muestran que la mayor masa se encuentra en la mezcla en la que no se sustituye el cemento por ceniza, al realizar el pesaje de las probetas endurecidas a la edad de 7, 14 y 28 días las mezclas siguen teniendo el mismo comportamiento en su peso, teniendo el mayor peso la mezcla base y la mezcla con 15% de sustitución, respectivamente.

Si se analizan las diferentes mezclas según su porcentaje de ceniza, se puede determinar que a medida que esta aumenta la resistencia del concreto disminuye, por lo que podemos afirmar que tiene un comportamiento inversamente proporcional entre cantidad de ceniza y resistencia de concreto.

Gráfico 11. Comparación de Mezclas por resistencias alcanzadas



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico mostrado anteriormente se puede observar como la mezcla a base de 100% cemento posee un comportamiento típico de mezcla, en la que logra superar los 3000 psi, sin embargo, el resto de mezclas no superaron ni el 80% de la resistencia requerida a los 28 días, a su vez se puede analizar que la mezcla donde se utilizó 10% ceniza en las primeras dos semanas desarrolló mayor resistencia que la de 5% y 15% de ceniza.

Para la mezcla en la que se utilizó 5% de ceniza, la resistencia con respecto a la mezcla convencional tuvo una variación de 28.27%, para la mezcla donde se utilizó 10% de ceniza, la resistencia disminuyó un 30.16% en base la mezcla convencional y la mezcla en la que se implementó el 15% de ceniza tuvo una disminución del 35.88% respecto a la mezcla patrón.

Este comportamiento puede estar definido por la cantidad de agua absorbida por la ceniza, lo cual altera la relación agua/cemento, siendo este factor el que define la resistencia a la compresión del concreto, por eso se ve afectado directamente.

Una vez observado los escenarios principales de la investigación la hipótesis planteada sobre que la adición de un material más fino que el cemento rellenará mayor cantidad de poros en los agregados, produciendo una mezcla más densa y sin perder la resistencia mínima requerida del concreto, es rechazada, ya que los resultados obtenidos indican lo contrario.

Sin embargo, se observó que el uso de ceniza en las mezclas puede retardar el tiempo de fraguado en las mezclas, con la realización de la prueba de la aguja de Vicat se obtuvo que el endurecimiento de las combinaciones fue a 270min, 285min y 300min para 5%, 10% y 15% respectivamente. Al realizar la comparación con la mezcla de 15% de ceniza se tiene dos horas de diferencia respecto a la mezcla base, lo que puede ayudar a la disminución del uso de aditivos en el concreto.

CONCLUSIONES

- ✚ Las propiedades físicas del agregado grueso presentan un comportamiento normal en relación a lo estipulado en la norma ASTM C-33. Permitiendo así lograr un buen desempeño en las mezclas de concreto.
- ✚ El agregado fino (Arena de Motastepe) presenta características físicas y propiedades normales, a excepción de su curva granulométrica la cual se encuentra por debajo del límite establecido por la norma ASTM C-33, esto indica que se tiene un agregado más grueso de lo normal, lo que se comprueba con su módulo de finura de 4.11. Además, se encontró que presenta un sobre tamaño de alrededor de 16% de su peso.
- ✚ El diseño de mezcla de concreto se realizó de acuerdo a la norma ACI 211, en la cual se realizó siguiendo cada paso establecido en esta misma logrando un diseño que satisficiera las necesidades y características que se pretendían alcanzar en la mezcla de 100% cemento, permitiendo un cumplimiento del 104.06% en resistencia.
- ✚ Las características de las mezclas en estado fresco de concreto varían de acuerdo a cada porcentaje de sustitución, encontrando variaciones mínimas en los pesos volumétricos pero grandes diferencias en el revenimiento. La mezcla de 10% ceniza logró alcanzar un revenimiento dentro del límite de lo diseñado. La mezcla de 15% ceniza fue la que logró el peso volumétrico más próximo al de la mezcla de 100% cemento.
- ✚ La ceniza de bagazo de caña de azúcar reduce la resistencia del concreto, generando un comportamiento inversamente proporcional entre la cantidad de ceniza y la resistencia alcanzada. A su vez se puede establecer que entre mayor sea la cantidad de ceniza utilizada, la mezcla de concreto requiere una mayor cantidad de agua afectando directamente la relación A/C establecida.

RECOMENDACIONES

Para estudiantes que deseen continuar con el estudio de la ceniza de bagazo de caña

- ✚ Someter a estudio la implementación de ceniza de bagazo de caña de azúcar en otras áreas ingenieriles y determinar su comportamiento.
- ✚ Hacer un seguimiento a las mezclas de concreto más allá de los 28 días para determinar si logran alcanzar la resistencia deseada y a su vez poder determinar en qué tipo de estructuras se pueden utilizar.
- ✚ Estudiar el comportamiento que se genera de la interacción de agua con ceniza de bagazo de caña de azúcar, ya que al realizar las mezclas la relación agua cemento se altera debido a la absorción que genera dicha ceniza.
- ✚ Elaborar mezclas de concreto con otros tipos de cenizas y materiales para determinar sus propiedades y corroborar si se logra cumplir con las especificaciones adecuadas para utilizarse en la construcción de obras civiles.

BIBLIOGRAFIA

- ✓ Alexander, M. and Mindess, S. (2005) Aggregates in Concrete. USA and Canada. Taylor and Francis.
- ✓ Botto, Santa Cruz. (2017). Evaluación de las Propiedades en estado fresco y endurecido de un concreto para uso de pavimento rígido, adicionado con nanocompuestos de carbono [Tesis de Maestría]. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.
- ✓ Cemex.(2021). Cemex. Normas APA de <https://www.cemex.com/es/productos-servicios/productos/cemento>
- ✓ Gaitan, Torrez. (2016). Influencia de la ceniza de bagazo de caña de azucar proveniente de ingenio Monte Rosa sobre las propiedades Físico-Mecánicas y de durabilidad de Morteros de cemento Tipo GU [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Ingeniería, Managua.
- ✓ Giaccio, G. (1999). Exudación del hormigón: Efecto de la incorporación de cenizas volantes.
- ✓ Gutiérrez de López, L. (2003), El concreto y otros materiales para la construcción, Columbia: Universidad Nacional de Colombia.
- ✓ Harmsen, T. (2005). Diseño de estructuras de concreto armado. Cuarta Edición. Lima, Perú. Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- ✓ Ministerio de Transporte e Infraestructura (2017). Norma mínima de diseño y construcción de concreto estructural. Managua, Nicaragua. MTI.
- ✓ Porrero, Ramos, Grases, Velazco . (2005). Diseño de estructuras de concreto armado. Cuarta Edición. Lima, Perú. Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- ✓ Sánchez de Guzmán, D. (2001). Tecnología del concreto y del mortero, Colombia, Pontificia Universidad Javeriana.
- ✓ Serrano-Guzmán, M.F., Pérez-Ruiz, D.D. (2001). —Concreto preparado con residuos industriales: Resultado de alianza empresa-universidadII. Revista Educación en Ingeniería. Volumen 10, Junio.

- ✓ Serrano-G., M.F., Ferreira, J.S. (25 de septiembre 2009). —Aprovechamiento de los escombros para la producción de concretoll. Memorias II Simposio Iberoamericano de Residuos. Barranquilla.

ANEXO A. CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES

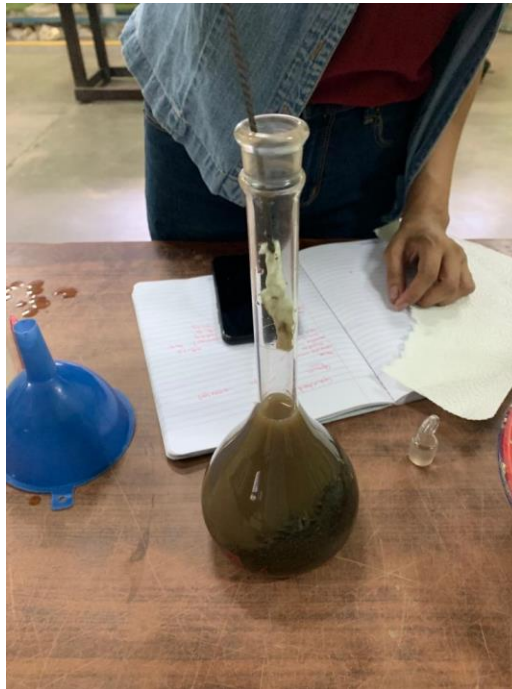
Tabla A-1. Requerimientos físicos del cemento

TABLE 3 Standard Physical Requirements												
Cement Type ^A	Applicable Test Method	I	IA	II	IIA	II(MH)	II(MH)A	III	IIIA	IV	V	
Air content of mortar, ^B volume %:	C185	max	22	22	22	22	22	22	22	22	22	
min		16	16	16	16	16	16	16	16	16		
Fineness, specific surface, m ² /kg	C204	min	260	260	260	260	260	260	260	260	260	
Air permeability test		max	...	...	...	...	430 ^C	430 ^C	...	...	430
Autoclave expansion, max, %	C151	min	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	
Strength, not less than the values shown for the ages indicated as follows: ^D		max	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	
Compressive strength, MPa [psi]:	C109/ C109M	1 day	...	...	...	...	...	12.0 [1740]	10.0 [1450]	...	...
3 days		12.0 [1740]	10.0 [1450]	10.0 [1450]	8.0 [1160]	10.0 [1450]	8.0 [1160]	24.0 [3480]	19.0 [2760]	...	8.0 [1160]	
7 days		19.0 [2760]	16.0 [2320]	17.0 [2470]	14.0 [2030]	17.0 [2470]	14.0 [2030]	...	...	7.0 [1020]	15.0 [2180]
28 days		17.0 [2470]	21.0 [3050]
Time of setting, Vicat test: ^F		C191	Time of setting, min, not less than	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Time of setting, min, not more than	375		375	375	375	375	375	375	375	375	375	

^A See Note 2.

Fuente: ASTM C150-15 Standard Specification for Portland Cement

Ilustración A-1. Determinación de la gravedad específica de la arena- Método del picnómetro



Fuente: Elaboración propia

Tabla A-2. Datos recolectados de densidad para agregados finos

	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Peso de Tara (gr)	170.80	167.1	157.7
Peso de Tara más agregado seco (gr)	644.90	637.7	629.5
Peso de Tara más agregado sss (gr)	672.40	668.1	659.2
Peso del Picnómetro lleno de agua (gr)	679.60	679.78	679.80
Peso del picnómetro con la muestra y lleno de agua (gr)	990.60	987.5	989.6

Fuente: Elaboración propia

Tabla A-3. Límites de gravedades específicas para agregados finos

TABLE 1 Precision		
	Standard Deviation	Acceptable Range of Two Results (d2s) ^A
Single-Operator Precision		
Relative density (specific gravity) (OD)	0.011	0.032
Relative density (specific gravity) (SSD)	0.0095	0.027
Apparent relative density (specific gravity)	0.0095	0.027
Absorption, ^B %	0.11	0.31
Multilaboratory Precision		
Relative density (specific gravity) (OD)	0.023	0.066
Relative density (specific gravity) (SSD)	0.020	0.056
Apparent relative density (specific gravity)	0.020	0.056
Absorption, ^B %	0.23	0.66

Fuente: ASTM C128-15 Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate

Tabla A-4. Límites granulométricos de la arena

Sieve (Specification E11)	Percent Passing
9.5-mm (3/8-in.)	100
4.75-mm (No. 4)	95 to 100
2.36-mm (No. 8)	80 to 100
1.18-mm (No. 16)	50 to 85
600- μ m (No. 30)	25 to 60
300- μ m (No. 50)	5 to 30
150- μ m (No. 100)	0 to 10
75- μ m (No. 200)	0 to 3.0 ^{A,B}

Fuente: ASTM C33-15 Standard Specification for Concrete Aggregates

Ilustración A-2. Determinación de la gravedad específica de la grava - Método hidrostático



Fuente: Elaboración propia

Tabla A-5. Datos de densidad para agregados gruesos

	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Peso de Tara (gr)	326.00	346.00	336.00
Peso de tara más agregados SSS (gr)	3733.00	4046.00	3889.00
Peso de Tara más agregado seco (gr)	3692.00	4007.00	3849.00
Peso de la cesta sumergida (gr)	921.00	921.00	921.00
Peso de la cesta y agregado sumergido (gr)	4028.00	3278.00	3178.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla A-6. Límites de gravedades específicas para agregados gruesos

	Standard Deviation	Acceptable Range of Two Results (d2s) ⁴
<i>Single-Operator Precision:</i>		
Relative density (specific gravity) (OD)	0.009	0.025
Relative density (specific gravity) (SSD)	0.007	0.020
Apparent relative density (specific gravity)	0.007	0.020
<i>Multilaboratory Precision:</i>		
Relative density (specific gravity) (OD)	0.013	0.038
Relative density (specific gravity) (SSD)	0.011	0.032
Apparent relative density (specific gravity)	0.011	0.032

Fuente: ASTM C127-15 Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate

Tabla A-7. Rangos de propiedades físicas de los agregados

Table 2—Ranges in physical properties for normal weight aggregates used in concrete

Property	Typical ranges	
Fineness modulus of fine aggregate	2.3 to 3.1	
Nominal maximum size of coarse aggregate	37.5 to 9.5 mm (1-1/2 to 3/8 in.)	
Absorption	0 to 8%	
Bulk specific gravity	2.30 to 2.90	
Dry-rodded bulk density* of coarse aggregate	1280 to 1920 kg/m ³ (80 to 120 lb/ft ³)	
Surface moisture content	Coarse aggregate	0 to 2%
	Fine aggregate	0 to 10%

*Previously dry-rodded unit weight.

Fuente: ACI Boletín Educativo E1-99

Tabla A-8. Límites granulométricos de la grava

Size Number	Nominal Size (Sieves with Square Openings)	Amounts Finer than Each Laboratory Sieve (Square-Openings), Mass Percent													
		100 mm (4 in.)	90 mm (3½ in.)	75 mm (3 in.)	63 mm (2½ in.)	50 mm (2 in.)	37.5 mm (1½ in.)	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (¾ in.)	12.5 mm (½ in.)	9.5 mm (¾ in.)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)	300 µm (No.50)
1	90 to 37.5 mm (3½ to 1½ in.)	100	90 to 100	...	25 to 60	...	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...
2	63 to 37.5 mm (2½ to 1½ in.)	...	...	100	90 to 100	35 to 70	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...
3	50 to 25.0 mm (2 to 1 in.)	...	...	...	100	90 to 100	35 to 70	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...
357	50 to 4.75 mm (2 in. to No. 4)	...	...	...	100	95 to 100	...	35 to 70	...	10 to 30	...	0 to 5	...	...
4	37.5 to 19.0 mm (1½ to ¾ in.)	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...
467	37.5 to 4.75 mm (1½ in. to No. 4)	...	...	...	...	100	95 to 100	...	35 to 70	...	10 to 30	0 to 5	...	...
5	25.0 to 12.5 mm (1 to ½ in.)	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 10	0 to 5	...	...	...
56	25.0 to 9.5 mm (1 to ¾ in.)	...	...	...	...	...	100	90 to 100	40 to 85	10 to 40	0 to 15	0 to 5	...	...
57	25.0 to 4.75 mm (1 in. to No. 4)	...	...	...	...	...	100	95 to 100	...	25 to 60	...	0 to 10	0 to 5	...
6	19.0 to 9.5 mm (¾ to ¾ in.)	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 15	0 to 5	...	...
67	19.0 to 4.75 mm (¾ in. to No. 4)	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	...	20 to 55	0 to 10	0 to 5	...
7	12.5 to 4.75 mm (½ in. to No. 4)	...	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	40 to 70	0 to 15	0 to 5	...
8	9.5 to 2.36 mm (¾ in. to No. 8)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 to 100	10 to 30	0 to 10	0 to 5
89	9.5 to 1.18 mm (¾ in. to No. 16)	100	90 to 100	20 to 55	5 to 30	0 to 10	0 to 5
9 ^A	4.75 to 1.18 mm (No. 4 to No. 16)	100	85 to 100	10 to 40	0 to 10	0 to 5

Fuente: ASTM C33-15 Standard Specification for Concrete Aggregates

ANEXO B. DISEÑO DE MEZCLA

Tabla B-1. Valores de revenimiento

TIPO DE CONSTRUCCION	Revenimiento, mm	
	Máximo*	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas reforzadas	75	25
Zapatas, campanas y muros de subestructura sencillos	75	25
Vigas y muros reforzados, Columnas para edificios	100	25
Pavimentos y losas	75	25
Concreto masivo	75	25

Fuente: Tabla 6.3.1 - ACI 211.1

Tabla B-2. Agua de mezclado y contenido de aire

Revenimiento, mm	Agua, Kg/m ³ de concreto para los tamaños máximos nominales de agregado, mm.							
	9.5	12.5	19	25	37.5	50	75	150
Concreto sin aire incluido								
De 25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
De 75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
De 150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	--
Cantidad aproximada de aire atrapado en concreto sin inclusión de aire Expresado como un porcentaje	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
De 3 a 5	181	175	168	160	150	142	122	107
De 8 a 10	202	193	184	175	165	157	133	119
De 15 a 18	216	205	197	184	174	166	154	--
Promedio recomendado del contenido total de aire, porcentaje de acuerdo con el nivel de exposición.								
Exposición ligera	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

Fuente: Tabla 6.3.3 - ACI 211.1

Tabla B-3. Resistencias a la compresión promedio

Specified compressive strength, psi	Required average compressive strength, psi
$f'_c < 3000$	$f'_{cr} = f'_c + 1000$
$3000 \leq f'_c \leq 5000$	$f'_{cr} = f'_c + 1200$
$f'_c > 5000$	$f'_{cr} = 1.10f'_c + 700$

Fuente: Tabla 5.3.2.2 - ACI 318

Tabla B-4. Relación agua/cemento

Resistencia a la compresión a los 28 días en PSI	Relación agua/cemento por peso	
	Concreto Sin aire incluido	Concreto Con aire incluido
6000	0.41	--
5000	0.48	0.40
4000	0.57	0.48
3000	0.68	0.59
2000	0.82	0.74

Fuente: Tabla 6.3.4(a) - ACI 211.1

Tabla B-5. Peso del concreto fresco

Tamaño Máximo Nominal del agregado, mm	Primera estimación de la masa unitaria del concreto, kg/m ³	
	Sin aire incluido	Con aire Incluido
9.5	2280	2200
12.5	2310	2230
19	2345	2275
25	2380	2290
37.5	2410	2350
50	2445	2345
75	2490	2405
150	2530	2435

Fuente: Tabla 6.3.7.1 - ACI 211.1

Tabla B-6. Volumen del agregado grueso

Tamaño máximo de agregado, mm	Volumen de agregado grueso* varillado en seco, por Volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de la arena.			
	2.40	2.60	2.8	3.00
10 (3/8")	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2")	0.59	0.57	0.55	0.53
20 (3/4")	0.66	0.64	0.62	0.60
25 (1")	0.71	0.69	0.67	0.65
40 (1 1/2")	0.75	0.73	0.71	0.69
50 (2")	0.78	0.76	0.74	0.72
70 (3")	0.82	0.80	0.78	0.76
150 (6")	0.87	0.85	0.83	0.81

. Fuente: Tabla 6.3.6 - ACI 211.1

ANEXO C. CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO

Ilustración C-1. Sustitución del 5% de ceniza



Fuente: Elaboración propia

Ilustración C-2. Inicio de proceso de mezclado



Fuente: Elaboración propia

Ilustración C-3. Temperaturas tomadas a las diferentes mezclas



(a) Mezcla base



(b) Mezcla con sustitución de 5% ceniza



(c) Mezcla con sustitución de 10% ceniza



(d) Mezcla con sustitución de 15% ceniza

Fuente: Elaboración propia

Ilustración C-4. Proceso de homogenización de las mezclas



Fuente: Elaboración propia

Ilustración C-5. Lecturas de Revenimiento a las diferentes mezclas



(a) Mezcla base



(b) Mezcla con sustitución de 5% ceniza



(c) Mezcla con sustitución de 10% ceniza



(d) Mezcla con sustitución de 15% ceniza

Fuente: Elaboración propia

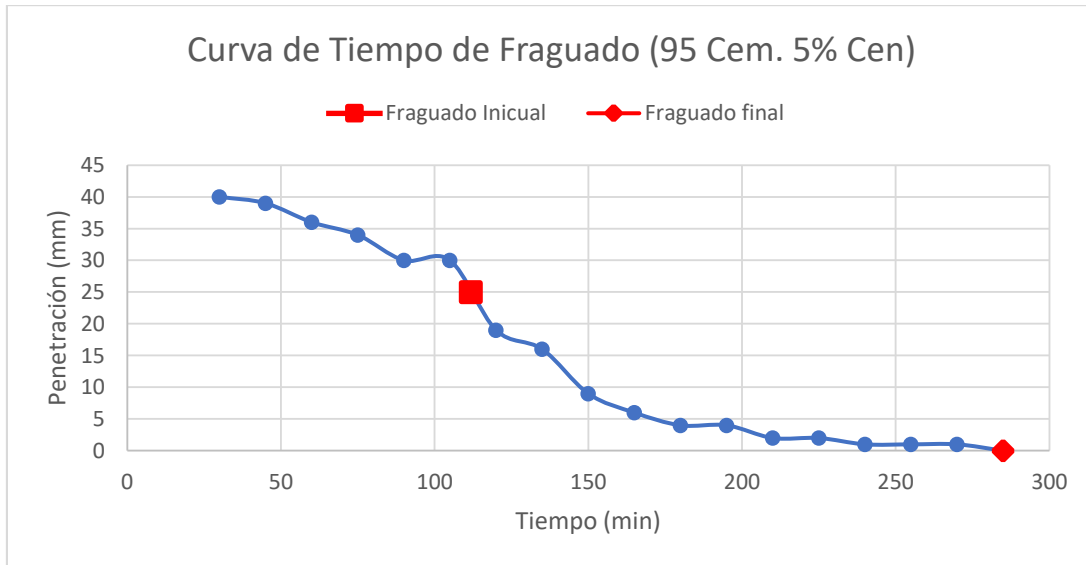
ANEXO D. PRUEBAS ADICIONALES

Tabla D-1. Registro de tiempo de fraguado para sustitución de 5% ceniza

Tipo de cemento:	Cemex GU		%Ceniza	5%
Lectura N°	Tiempo transcurrido		Penetración (mm)	Observaciones
	Hora	Minutos		
1	9:10 am	0		Inicio de mezclado
2	9:40 am	30	40	
3	9:55 am	45	39	
4	10:10 am	60	36	
5	10:25 am	75	34	
6	10:40 am	90	30	
7	10:55 am	105	30	Fraguado inicial
8	11:10 am	120	19	
9	11:25 am	135	16	
10	11:40 am	150	9	
11	11:55 am	165	6	
12	12:10 pm	180	4	
13	12:25 pm	195	4	
14	12:40 pm	210	2	
15	12:55 pm	225	2	
16	1:10 pm	240	1	
17	1:25 pm	255	1	
18	1:40 pm	270	1	
19	1:55 pm	285	0	Fraguado final

Fuente: Elaboración propia

Gráfico D-1. Tiempo de fraguado para sustitución de 5% ceniza



Tiempo de Fraguado Inicial (min)	111.82
Tiempo de Fraguado Final (min)	285.00

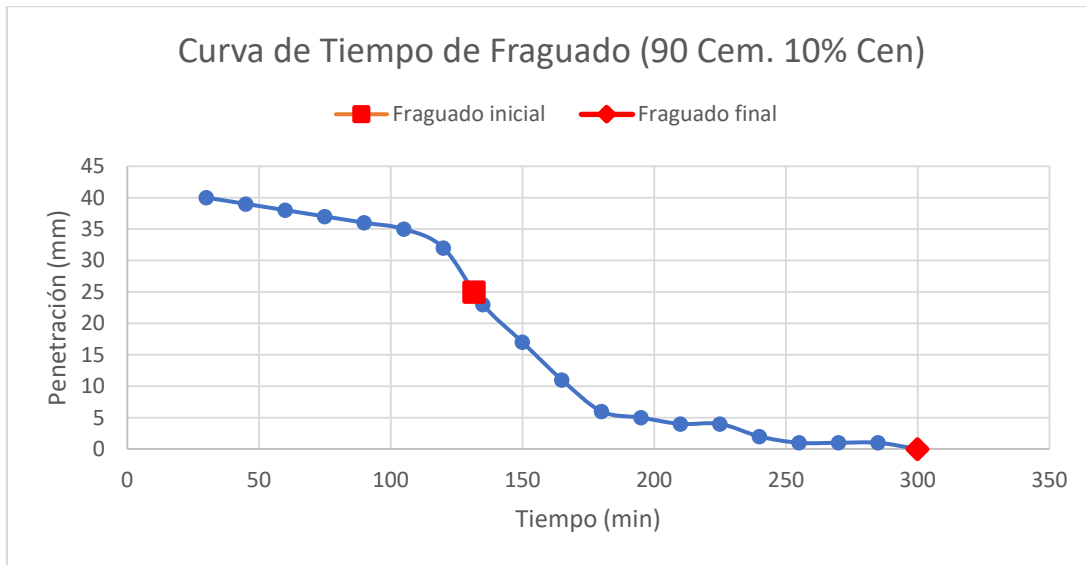
Fuente: Elaboración propia

Tabla D-2. Registro de tiempo de fraguado para sustitución de 10% ceniza

Tipo de cemento:	Cemex GU		%Ceniza	10%
Lectura N°	Tiempo transcurrido		Penetración (mm)	Observaciones
	Hora	Minutos		
1	9:10 am	0		Inicio de mezclado
2	9:40 am	30	40	
3	9:55 am	45	39	
4	10:10 am	60	38	
5	10:25 am	75	37	
6	10:40 am	90	36	
7	10:55 am	105	35	
8	11:10 am	120	32	Fraguado inicial
9	11:25 am	135	23	
10	11:40 am	150	17	
11	11:55 am	165	11	
12	12:10 pm	180	6	
13	12:25 pm	195	5	
14	12:40 pm	210	4	
15	12:55 pm	225	4	
16	1:10 pm	240	2	
17	1:25 pm	255	1	
18	1:40 pm	270	1	
19	1:55 pm	285	1	
20	2:10pm	300	0	Fraguado final

Fuente: Elaboración propia

Gráfico D-2. Tiempo de fraguado para sustitución de 10% ceniza



Tiempo de Fraguado Inicial (min)	131.67
Tiempo de Fraguado Final (min)	300.00

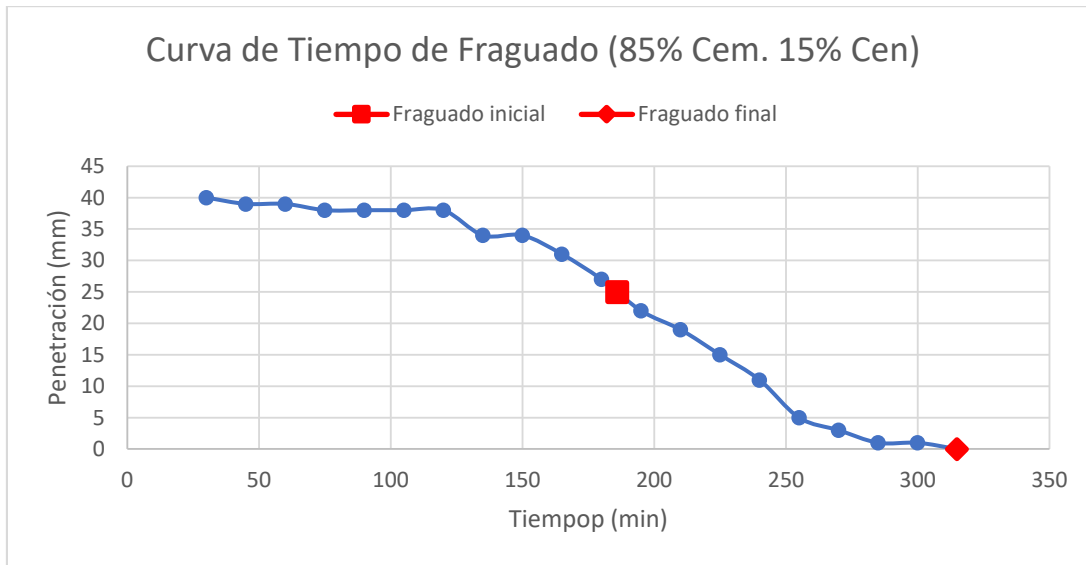
Fuente: Elaboración propia

Tabla D-3. Registro de tiempo de fraguado para sustitución de 15% ceniza

Tipo de cemento:	Cemex GU		%Ceniza	15%
Lectura N°	Tiempo transcurrido		Penetración (mm)	Observaciones
	Hora	Minutos		
1	9:10 am	0		Inicio de mezclado
2	9:40 am	30	40	
3	9:55 am	45	39	
4	10:10 am	60	39	
5	10:25 am	75	38	
6	10:40 am	90	38	
7	10:55 am	105	38	
8	11:10 am	120	38	
9	11:25 am	135	34	
10	11:40 am	150	34	
11	11:55 am	165	31	
12	12:10 pm	180	27	Fraguado inicial
13	12:25 pm	195	22	
14	12:40 pm	210	19	
15	12:55 pm	225	15	
16	1:10 pm	240	11	
17	1:25 pm	255	5	
18	1:40 pm	270	3	
19	1:55 pm	285	1	
20	2:10pm	300	1	
21	2:25pm	315	0	Fraguado final

Fuente: Elaboración propia

Gráfico D-3. Tiempo de fraguado para sustitución de 15% ceniza



Tiempo de Fraguado Inicial (min)	186.00
Tiempo de Fraguado Final (min)	315.00

Fuente: Elaboración propia