INCIDENCIA DE LA CENIZA DE GUADUA EN EL COMPORTAMIENTO FÍSICO DEL MORTERO Y CONCRETO

SOFIA CHIPATECUA CUBILLOS
STEPHANIA MORENO CARDENAS
DAVID STEVEN RIVERA GUTIERREZ

UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA
SEDE IBAGUÉ ESPINAL
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CAMPUS IBAGUÉ
2023

INCIDENCIA DE LA CENIZA DE GUADUA EN EL COMPORTAMIENTO FÍSICO DEL MORTERO Y CONCRETO

SOFIA CHIPATECUA CUBILLOS
STEPHANIA MORENO CARDENAS
DAVID STEVEN RIVERA GUTIERREZ

Informe final de Análisis sistemático de literatura presentado como requisito parcial para optar al título de ingenieros civiles

Oscar Hernán Cardona García
Ingeniero Civil
Juan Pablo Leyva
Ingeniero Civil

UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA
SEDE IBAGUÉ ESPINAL
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CAMPUS IBAGUÉ
2023

Nota de aceptación:

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

_____
Firma del jurado 1

_____
Firma del jurado 2

Ibagué, 20 de febrero de 2023

CONTENIDO

pág.

INTRODUCCIÓN……...11

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA…… 13

2. JUSTIFICACIÓN……... 14

3. OBJETIVOS……... 15
3.1. OBJETIVO GENERAL…… 15
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS……..... 15

4. MARCO TEÓRICO……... 16
4.1 MARCO CONCEPTUAL…… 16
4.2 MARCO REFERENCIAL……... 22
4.2.1 El rendimiento del hormigón con ceniza de cáscara de arroz, ceniza de concha de mar y adición de fibra de bambú…….. 22
4.2.2 Propiedades mecánicas del concreto con aditivo de ceniza de hojas de Bambú…… 22
4.2.3 Bambú/Guadua: ¿Una alternativa viable para reforzar el concreto?..... 22
4.2.4 Fibras de guadua, útiles para reforzar el cemento……... 23
4.2.5 Cenizas, cementos y hormigones con cenizas…… 23
4.2.6 Comportamiento del mortero y el concreto hidráulicos con adición de ceniza de cascarilla de café…….. 24
4.3 MARCO NORMATIVO……... 24

5. METODOLOGÍA…… 28
5.1 ETAPA 1 – ELABORACIÓN DE MORTEROS……. 28
5.1.1 Fase I - Recolección de materia prima……. 28
5.1.2 Fase II - Pulverizado y tamizado de la Ceniza de guadua……. 32
5.2 ETAPA 2 – ELABORACIÓN DE CONCRETOS……... 36

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS…… 39
6.1 RESULTADOS DE ESPECÍMENES DE MORTERO……... 39

6.1.1 Comportamiento mecánico de mortero convencional…… 40

6.1.2 Comportamiento mecánico de mortero con adición de ceniza de guadua (+2.5%)…… 44

6.1.3 Comportamiento mecánico de mortero con adición de ceniza de guadua (+3%)……47

6.1.4 Comportamiento mecánico de mortero con adición de ceniza de guadua (+3.5%)…… 50

6.1.5 Comportamiento mecánico de mortero con adición de ceniza de guadua (+4%)……53

6.1.6 Comportamiento mecánico de mortero con adición de ceniza de guadua (+5%)……56

6.2 RESULTADOS DE ESPECÍMENES DE CONCRETO……62

6.2.1 Comportamiento mecánico de concreto convencional…….. 64

6.2.2 Comportamiento mecánico de concreto con adición de ceniza de guadua (+3.3%)…… 67

6.2.3 Comportamiento mecánico de concreto con adición de ceniza de guadua (+3.5%)…… 70

6.2.4 Análisis comparativo de los comportamientos mecánicos de los concretos……... 73

6.3 ENSAYO DE DURABILIDAD…….. 76

7. CONCLUSIONES……. 78

8. RECOMENDACIONES…… 80

9. BIBLIOGRAFÍA……. 81

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1 - Clasificación de los morteros de pega para mampostería según resistencia a la compresión a 28 días y según su dosificación..... 16
Tabla 2 - Uso de los morteros de cemento..... 18
Tabla 3 - Clasificación del concreto según su resistencia a compresión (28 días) 19
Tabla 4 - Clasificación de Concretos según su Resistencia (Kg/cm^2)..... 20
Tabla 5 - Clasificación de los morteros según sus características mecánicas y físicas 25
Tabla 6 - Fuerzas de compresión (KN) soportadas por el mortero convencional.. 41
Tabla 7 - Resistencia a la compresión de los morteros convencionales..... 42
Tabla 8 Fuerzas de compresión (KN) soportadas por el mortero con adición de ceniza (+2.5%)..... 44
Tabla 9 - Resistencia a la compresión de los morteros con adición de ceniza (+2.5%) 45
Tabla 10 - Fuerzas de compresión (KN) soportadas por el mortero con adición de ceniza (+3%)..... 47
Tabla 11 - Resistencia a la compresión de los morteros con adición de ceniza (+3%) 48
Tabla 12 - Fuerzas de compresión (KN) soportadas por el mortero con adición de ceniza (+3.5%)..... 50
Tabla 13 - Resistencia a la compresión de los morteros con adición de ceniza (+3.5%)..... 51
Tabla 14 - Fuerzas de compresión (KN) soportadas por el mortero con adición de ceniza (+4%)..... 53
Tabla 15 - Resistencia a la compresión de los morteros con adición de ceniza (+4%) 54
Tabla 16 - Fuerzas de compresión (KN) soportadas por el mortero con adición de ceniza (+5%)..... 56
Tabla 17 - Resistencia a la compresión de los morteros con adición de ceniza (+5%) 57
Tabla 18 - Resultados finales de Resistencia a la compresión de los especímenes de mortero 59
Tabla 19 - Fuerzas de compresión (KN) soportadas por el concreto convencional 64
Tabla 20 - Resistencia a la compresión de los concretos convencionales..... 65

Tabla 21 - Fuerzas de compresión (KN) soportadas por el concreto con adición de ceniza (+3.3%) 67
Tabla 22 - Resistencia a la compresión de los concretos con adición de ceniza (+3.3%) 68
Tabla 23 - Fuerzas de compresión (KN) soportadas por el concreto con adición de ceniza (+3.5%) 70
Tabla 24 - Resistencia a la compresión de los concretos con adición de ceniza (+3.5%) 71
Tabla 25 - Resultados finales de Resistencia a la compresión de los especímenes de concreto 73

LISTA DE IMÁGENES

pág.

Imagen 1 - Guadual seleccionado para suministro del material en Icononzo, Tolima 29
Imagen 2 Posición de secado (Caballete) para la guadua 29
Imagen 3 Proceso de corte de la guadua..... 30
Imagen 4 - Proceso de incineración de la guadua..... 31
Imagen 5 - Ceniza de guadua tamizada..... 32
Imagen 6 - Arena tamizada para elaboración de muestras 33
Imagen 7 - Especímenes de mortero desencofrados y marcados 35
Imagen 8 - Especímenes de mortero en proceso de curado 35
Imagen 9 - Preparación de mezcla de concreto 38
Imagen 10 - Muestras de concreto..... 38
Imagen 11 - Falla a compresión de espécimen de mortero 39
Imagen 12 - Falla a compresión de espécimen de concreto..... 62
Imagen 13 - Fenolftaleína en espécimen de concreto (Perfil)..... 76
Imagen 14 - Fenolftaleína en espécimen de concreto (Planta)..... 77

LISTA DE GRÁFICOS

pág.
Gráfico 1 – Resistencia promedio a compresión de morteros patrón 43
Gráfico 2 - Resistencia a compresión de las muestras de mortero patrón..... 43
Gráfico 3 – Resistencia promedio a la compresión de los morteros con adición de ceniza (+2.5%) 46
Gráfico 4 - Resistencia a la compresión de las muestras de mortero con adición de ceniza (+2.5%) 46
Gráfico 5 – Resistencia promedio a compresión de los morteros con adición de ceniza (+3%) 49
Gráfico 6 - Resistencia a compresión de las muestras de mortero con adición de ceniza (+3%) 49
Gráfico 7 – Resistencia promedio a la compresión de los morteros con adición de ceniza (+3.5%) 52
Gráfico 8 - Resistencia a la compresión de las muestras de mortero con adición de ceniza (+3.5%) 52
Gráfico 9 – Resistencia promedio a la compresión de los morteros con adición de ceniza (4%) 55
Gráfico 10 - Resistencia a la compresión de los morteros con adición de ceniza (4%) 55
Gráfico 11 – Resistencia promedio a la compresión de los morteros con adición de ceniza (5%) 58
Gráfico 12 - Resistencia a la compresión de los morteros con adición de ceniza (5%) 58
Gráfico 13 - Comparación Resistencia a la Compresión de morteros 59
Gráfico 14 - Comparación Resistencia a la compresión de Morteros (Mpa) 61
Gráfico 15 – Resistencia promedio a compresión de concretos patrones 66
Gráfico 16 - Resistencia a compresión de muestras de concretos patrones 66
Gráfico 17 – Resistencia promedio a compresión de los concretos con adición de ceniza (+3.3%) 69
Gráfico 18 - Resistencia a compresión de las muestras de concreto con adición de ceniza (+3.3%) 69
Gráfico 19 - Resistencia promedio a compresión de los concretos con adición de ceniza (+3.5%) 72
Gráfico 20 - Resistencia a compresión de las muestras de concreto con adición de ceniza (+3.5%) 73
Gráfico 21 - Comparación Resistencia a la Compresión de concretos 74
Gráfico 22 - Comparación Resistencia a la compresión de Concretos (Mpa) 75

RESUMEN

En el proyecto investigativo realizado se prepararon mezclas de mortero y concreto patrón, las cuales fueron modificadas al agregar a las mezclas cenizas de guadua. La guadua *angustifolia* es un material renovable, con un modelo de producción para su utilización de corta duración. Actualmente la guadua está a la cabeza en materia ecológica debido a que tiene un crecimiento superior a cualquier otra especie maderable ya que alcanza su madurez en un periodo de 4 a 5 años, por lo que no es causante de problemas serios como la erosión y/o la deforestación.

El desarrollo de la investigación estuvo dividido en tres fases principalmente; la primera fase estuvo direccionada hacia la obtención, selección y preparación de los materiales necesarios para la realización de las muestras.

La segunda fase consistió en la preparación de las muestras de morteros y concretos con diferentes porcentajes de adición. Los porcentajes de adición para la mezcla de mortero fueron del 2.5%, 3%, 3.5%, 4% y 5% con relación al peso del cemento; por otro lado, los porcentajes de adición para la mezcla de concreto fueron del 3.3% y 3.5% con relación al peso del cemento igualmente. Después de haber realizado las diferentes probetas, se realizó una serie de ensayos de laboratorio para evaluar el comportamiento de las muestras a compresión durante diferentes periodos de tiempo establecidos, los cuales fueron de 7, 14, 28 y 60 días respectivamente.

La tercera fase tuvo como objetivo el análisis de resultados después de haber realizado todos los procesos de evaluación necesarios, los cuales fueron necesarios para determinar los porcentajes óptimos de adición para que las mezclas de mortero y concreto obtengan la mayor resistencia a la compresión.

Palabras clave: Mortero, Concreto, Materiales de construcción, Ceniza de guadua, Resistencia a compresión.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad Colombia es un país que se encuentra en un proceso de desarrollo social, económico y sostenible. La población del país ha crecido y algunas de las personas que antes solían vivir en espacios rurales, han emigrado hacia los asentamientos urbanos; de la misma manera, las necesidades para vivir, en este caso, la necesidad de vivienda para las nuevas poblaciones ha aumentado por igual.

La migración poblacional ha traído consigo la imprescindible necesidad de fabricar y producir grandes volúmenes de concretos y morteros, lo que ha generado considerables espacios de extracción de minerales que día a día inciden negativamente en nuestros recursos hídricos, biológicos, geológicos y atmosféricos. (Unidad de Planeación Minero Energética, 2015)

Por lo anterior, en la actualidad, la comunidad estudiantil, investigativa e ingenieril del país, se ha concientizado sobre el gran daño que involuntariamente el desarrollo constructivo del país acarrea y algunas de las mentes altruistas, ecológicas e innovadoras del mundo, han sugerido la posibilidad de utilizar materiales alternativos y diferentes a los convencionales, utilizándolos como aditivos, conglomerantes y/o agregados (áridos) que los morteros y concretos contienen, por lo cual actualmente se han realizado muchas investigaciones en el campo de la construcción con materiales innovadores.

En muchos de estos estudios, se han podido clasificar los diferentes tipos de elementos orgánicos e inorgánicos, que podrían servir para su respectiva utilización en un medio cementante, evaluando aspectos importantes como lo son, los costos de utilización (si aumentan o reducen), la seguridad que brinda el material en cuanto a los tipos de esfuerzos a los cuales podría ser sometido, para de esta manera poder determinar el uso más adecuado del mismo.

Uno de estos materiales orgánicos que llama la atención es la Guadua; la guadua es un material renovable, con un modelo de producción para su utilización de corta duración. Actualmente la guadua está a la cabeza en materia ecológica debido a que tiene un crecimiento superior a cualquier otra especie maderable ya que alcanza su madurez en un periodo de 4 a 5 años, por lo que no es causante de problemas serios como la erosión y/o la deforestación.

La ceniza de guadua clasifica según la NTC 3493 como un material puzolánico, y están clasificadas de igual manera como material cementante suplementario o aditivo mineral; con la adición de este material puzolánico se busca poder mejorar la resistencia del concreto y su durabilidad. Para lo mencionado anteriormente, se tienen investigaciones en Colombia en donde se ha demostrado que las cenizas de bagazo de caña y de hojas de bambú sí le han aportado mayor resistencia al concreto, ya que poseen propiedades cementantes que ayudan a mejorar el comportamiento del concreto endurecido. (Castro, 2013).

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Durante las últimas décadas, el crecimiento poblacional ha aumentado la demanda en el sector de la construcción y con esto la necesidad de innovar y generar alternativas de construcción que involucren materiales no contaminantes, esto ha llevado a la rama de investigación de la Ingería a realizar estudios con diferentes materiales naturales. (Unidad de Planeación Minero Energética, 2015)

Hoy en día, los materiales alternativos tienen cabida como materias primas o materiales cementosos de adición o reemplazo parcial o total del cemento en las mezclas de morteros y concretos (Escalante, 2002). La necesidad de nuevas alternativas busca que estas posean propiedades que mejoren la composición física y/o química del mortero y concreto tradicional, ya sea en cuanto a su resistencia, flexibilidad, durabilidad, permeabilidad y otras propiedades que permitan evolucionar el campo de la construcción.

Según los estudios realizados en el campo de la construcción enfocados hacia la utilización de materiales alternativos no contaminantes en concretos y morteros hidráulicos, se encontró que el contenido de sílice de las cenizas procedentes de la combustión de residuos orgánicos, pueden tener características puzolánicas, es decir, un material natural no contaminante, tal es el caso de materiales como la ceniza de guadua la cual en su estado natural ha demostrado, posee propiedades de alta resistencia y flexibilidad (Salas Delgado, 2006).

2. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto pretende investigar acerca de la incidencia de la ceniza de guadua como un aditivo en el mortero y concreto tradicional, centrándose en la posibilidad de generar más resistencia, para así estudiar su comportamiento cuando es fallado a compresión como lo establecen las normas (INV.E-323 - NTC 220 – INV.E-402-13), teniendo en cuenta que es un material natural, económico y de fácil acceso.

Hoy en día existen muchas variedades de aditivos, estos materiales provienen de la naturaleza y tienen cualidades que ayudan a mejorar las propiedades del concreto. Se han realizado ensayos con aditivos naturales como las cenizas de la caña de azúcar, la cascarilla de arroz, incluso con cenizas de las hojas de bambú, pero no se han realizado con las cenizas de la guadua angustifolia, nuestra guadua colombiana.

Como se menciona anteriormente, no se conocen estudios acerca de la incidencia de la ceniza de guadua como aditivo en el mortero o el concreto convencional, razón por la cual se determinó hacer uso de esta “faltante investigativa” para la realización de este proyecto, teniendo en cuenta también que la guadua posee múltiples cualidades tales como propiedades físico-mecánicas, amigable con el medio ambiente y de rápido crecimiento (Salas Delgado, 2006).

Con el presente proyecto se pretende realizar un aporte al campo de la investigación de materiales no convencionales, en este caso, buscando aumentar las propiedades físico-mecánicas (compresión) de un mortero patrón y del concreto ya que existe incertidumbre sobre sus características y efectos sobre el mortero y el concreto; para lograr esto, se tiene un enfoque hacia el alcance de los objetivos de desarrollo sostenible, como estrategia de investigación, siguiendo el noveno objetivo de desarrollo sostenible que se refiere a la industria, innovación e infraestructura, abordando la sostenibilidad ambiental y las necesidades actuales en el área de infraestructura sostenible. También se enfocará al objetivo número trece, acción por el clima, ya que la utilización del cemento empleado en las mezclas de mortero y cemento produce CO2, lo cual aporta a los gases de efecto invernadero y a la contaminación, causando así afectaciones a la salud. Esta investigación será de utilidad para el área de la construcción ya que se tendrán datos acerca de la viabilidad de la utilización de este aditivo y la resistencia que tendrá al ser utilizado en obra. (Departamento Nacional de Planeacion (DNP), 2015)

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la incidencia de la ceniza de la guadua *angustifolia* en el comportamiento del mortero y del concreto patrón sometido a pruebas de compresión.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Establecer la dosificación apropiada de ceniza de guadua para incorporar en el mortero y el concreto respectivamente.

Diseñar las mezclas de mortero y concreto con la dosificación establecida.

Realizar ensayos de resistencia a compresión del mortero y del concreto fabricado con diferentes porcentajes de adición de ceniza.

Analizar la resistencia a la compresión ofrecida por el mortero tradicional vs la resistencia presentada en los morteros fabricados con el aditivo natural y del concreto patrón vs el concreto con adición de ceniza de guadua igualmente.

Realizar el ensayo de durabilidad en los especímenes de concreto para determinar el nivel de carbonatación y posible incidencia de oxidación del concreto reforzado.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 MARCO CONCEPTUAL

El mortero es una mezcla homogénea de un material aglutinante o cementante (cemento), un material de relleno (agregado fino o arena), agua y en algunas ocasiones aditivos, que al endurecerse presenta propiedades químicas, físicas y mecánicas similares a las del concreto (Sánchez de Guzmán, 2001). El mortero puede clasificarse según su uso (pega de mampostería (simple o reforzada), relleno o recubrimiento) y según la composición de los materiales (proporción).

Según la Norma ASTM-270 la clasificación de los morteros según sus propiedades mecánicas establece que se tienen 4 tipos de morteros diferentes los cuales presentan las siguientes características.

De la clasificación establecida según su uso se puede clasificar de la siguiente manera:

Tabla 1 - Clasificación de los morteros de pega para mampostería según resistencia a la compresión a 28 días y según su dosificación

Tipo de mortero	**Resistencia a la compresión**			**Cemento portland**	**Agregado fino suelto**
	(Mpa)	***(Kg/Cm 2)***	***(P.S.I)***		
M	17,2	175	2500	1	Entre 2,25 y 3 veces la suma de cemento y cal utilizado
				1	
S	12,4	126	1800	0,5	
				1	
N	5,2	53	750	-	
				1	
O	2,4	25	350	-	
				1	

Fuente*:* (Salamanca Correa, 2001)

Mortero Tipo M: Es un mortero que ofrece alta resistencia y que posee más durabilidad en comparación con otros morteros. Este tipo de mortero es utilizado mayormente para mampostería reforzada o sin refuerzo, de igual forma, el mortero Tipo M debe usarse en estructuras en contacto con el suelo, cimentaciones, muros

de contención, aceras, tuberías de aguas negras, pozos etc. (Salamanca Correa, 2001).

Mortero Tipo S: Es un mortero que se caracteriza principalmente por alcanzar la máxima adherencia de un mortero de pega. Se recomienda usar este mortero en estructuras sometidas a cargas de compresión medias, pero que requieran una alta adherencia.

De igual forma, se debe usar en situaciones en donde el mortero es el único método de adherencia con la pared, por ejemplo, revestimientos cerámicos, baldosines de barro cocido, entre otros. (Salamanca Correa, 2001)

Mortero Tipo N: Es un mortero de uso general u ordinario, lo que significa que sea usa en el día a día para la pega de ladrillos, pega de baldosines, y pañetes interiores. Este mortero es reconocido por el hecho de que tiene la mejor combinación entre resistencia, trabajabilidad y economía. Se debe tener en cuenta que existen varios factores que afectan su resistencia al momento de ser colocado, como, por ejemplo, la calidad de mano de obra, y la succión de los elementos de mampostería. (Salamanca Correa, 2001)

Mortero Tipo O: Este mortero es el que posee menor resistencia y contiene un alto índice de cal. Por esto, se debe usar en paredes y divisiones que no posean carga, o para revestimientos exteriores que no estén sujetos a congelamiento. Este mortero es preferido por los albañiles, por su óptima trabajabilidad y bajo costo. (Salamanca Correa, 2001).

De la clasificación establecida según su proporción se tiene que:

Tabla 2 - Uso de los morteros de cemento

Mortero	Usos
1:1	Mortero muy rico para impermeabilizaciones. Rellenos
1:2	Para impermeabilizaciones y pañetes de tanques subterráneos. Rellenos.
1:3	Impermeabilizaciones menores. Pisos
1:4	Pega de ladrillos en muero y baldosines. Pañetes finos
1:5	Pañetes exteriores. Pega para ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería general. Pañetes no muy finos
1:6 y 1:7	Pañetes interiores: pega para ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería en general. Pañetes no muy finos.
1:8 y 1:9	Pegas para construcciones que se vayan a demoler pronto. Estabilización de taludes en cimentaciones.

Fuente: (Salamanca Correa, 2001)

- Los morteros 1:1 a 1:3 son morteros de gran resistencia y deben hacerse con arena limpia. (Gutiérrez de López, 2003)
- Los morteros 1:4 a 1:6 se deben hacer con arena limpia o semilavada. (Gutiérrez de López, 2003)
- Para los morteros 1:7 a 1:9 se puede usar arena sucia, ya que estos morteros tienen muy poca resistencia. (Gutiérrez de López, 2003)

Los morteros según su ocupación se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Morteros que tienen suficiente resistencia y por lo tanto pueden soportar cargas a compresión, como sucede en la mampostería estructural. (Gutiérrez de López, 2003)
- Morteros que mantienen unidos los elementos en la posición deseada, tal es el caso del mortero de pega. (Gutiérrez de López, 2003)
- Morteros que proveen una superficie lisa y uniforme, estos son los morteros de revestimiento y revoque. (Gutiérrez de López, 2003)
- Morteros que sirven para rellenar juntas entre diferentes elementos constructivos. (Gutiérrez de López, 2003)

Concreto: También conocido como Hormigón, se define como la mezcla de un material aglutinante que generalmente es cemento portland o simplemente cemento gris, junto con un material de relleno que vendrían siendo los áridos o agregados, agua y eventualmente se agregan algunos aditivos. Toda esta mezcla de materiales al endurecerse forma un material muy compacto, casi como una piedra artificial, que después de cierto tiempo es capaz de soportar considerables esfuerzos a la compresión. (Sánchez de Guzmán, 2001)

Los concretos pueden ser clasificados teniendo en cuenta sus características y propiedades de los materiales utilizados, las especificaciones y las condiciones de servicio bajo las cuales el concreto va a ser utilizado. Normalmente, el tipo de clasificación más utilizada en Colombia es la que viene dada por su resistencia a la compresión, valores los cuales se describen a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 3 - Clasificación del concreto según su resistencia a compresión (28 días)

Descripción	**Resistencia a la compresión**	
	Kg/cm^2	**Lb/Pulg^2**
Normal	70 - 420	1000 - 6000
Alta resistencia	420 - 1000	6000 - 14000
Ultra alta resistencia	Más de 1000	Más de 14000

Fuente: (Salamanca Correa, 2001)

Por otro lado, al consultar otra fuente de información, se tiene que los concretos se pueden clasificar de igual manera por su resistencia y según sea esta, se clasifican varios tipos para darle diferentes usos. En la tabla 4 se describen los tipos de usos que se le dan a los concretos según sea su resistencia a la compresión en un período de 28 días.

Tabla 4 - Clasificación de Concretos según su Resistencia (Kg/cm^2)

Clasificación	Tipo	Usos	Beneficios	Información técnica
Por su resistencia	Baja resistencia	• Losas aligeradas o Elementos de concreto sin requisitos estructurales	Bajo costo	• Propiedades en estado fresco similares a las obtenidas en concretos convencionales • Resistencia a la compresión <150 Kg/cm^2
	Resistencia moderada	• Edificaciones de tipo habitacional de pequeña altura	Bajo costo	• Propiedades en estado fresco similares a las obtenidas en concretos convencionales • Resistencia a la compresión entre 150 y 250 Kg/cm^2
	Resistencia Normal	• Todo tipo de estructuras de concreto	•Funcionalidad •Disponibilidad	• Propiedades en estado fresco similares a las obtenidas en concretos convencionales • Resistencia a la compresión entre 250 y 420 Kg/cm^2
	Muy alta resistencia	• Columnas de edificios muy altos • Secciones de	• Mayor área aprovechable en plantas bajas de	• Alta cohesividad en estado fresco • Tiempos de fraguado similares a los de los

		puentes con claros muy largos • Elementos presforzados • Disminución en los espesores de los elementos	edificios altos • Elementos presforzados más ligeros • Elementos más esbeltos	concretos normales • Altos revenimientos • Resistencia a la compresión entre 400 y 800 Kg/cm^2 • Baja permeabilidad • Mayor protección al acero de refuerzo

Fuente: (IMCYC, 2019)

Ensayo de granulometría: La granulometría de los agregados está definida como la distribución de los tamaños de las partículas que constituyen una masa de agregados. Se determina mediante el análisis granulométrico que consiste en dividir una muestra de agregado en fracciones de igual tamaño. (UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA "JOSE SIMEON CAÑAS", UCA , 2018)

En el desarrollo de la investigación, se convierte en una necesidad el análisis de las muestras de mortero y concreto patrón, por lo que es importante que se les realicen diversos ensayos. Uno de estos ensayos es el de resistencia a la compresión, siendo esta la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm^2, Mpa y libras por pulgada cuadrada o denominada PSI. (Osorio, 2013)

La Guadua Angustifolia "El Bambú Colombiano": Este Bambú ha sido el leñoso y nativo más útil para el hombre colombiano. Sin este recurso el desarrollo de la zona cafetera habría sido totalmente diferente. La guadua es una especie forestal representada por esbeltos y modulados tallos que enaltecen el paisaje de los valles interandinos es larga, recta, uniforme en su desarrollo, liviana, hueca, resistente, suave, de rápido crecimiento, de bello color e imperceptiblemente cónica. (Salas Delgado, 2006)

En Colombia la guadua es la especie forestal nativa con mayores posibilidades económicas, ya que su utilización en la construcción y la industria, permiten reducir costos, cuando es empleada como materia prima. Por sus excelentes propiedades físico-mecánicas, y por su resistencia al ataque de insectos. (Salas Delgado, 2006)

4.2 MARCO REFERENCIAL

4.2.1 El rendimiento del hormigón con ceniza de cáscara de arroz, ceniza de concha de mar y adición de fibra de bambú. En esta investigación se observó que el concreto tiene buena resistencia a la compresión, pero baja resistencia a la tracción y que la adición de fibra natural al hormigón fresco puede aumentar la ductilidad de la matriz de hormigón. Esta investigación tuvo como objetivo investigar la resistencia a la tracción del concreto con 0.50% de adición de fibra de bambú en base al peso del cemento. Para aumentar la resistencia del concreto, se utilizó la mezcla de ceniza de cascarilla de arroz (RHA) y ceniza de concha de mar (SSA) como reemplazo parcial del agregado fino. El reemplazo se divide en cuatro porcentajes diferentes, a saber, 10%, 20%, 30% y 40% en función del peso del agregado fino. El trabajo experimental consistió en el vaciado de 13 tipos diferentes de hormigón para ser comparados en términos de resistencia a la tracción por hendimiento a la edad de 28 y 90 días. En general, la resistencia a la tracción del hormigón armado con fibra de bambú es comparable a la del hormigón normal. (Direct, Science Direct, 2014)

4.2.2 Propiedades mecánicas del concreto con aditivo de ceniza de hojas de Bambú. Esta investigación estuvo enfocada en el uso de la ceniza de hojas de Bambú como material suplementario de cimentación en los concretos. Estas hojas fueron calcinadas en un horno eléctrico a una temperatura de 700°C, posteriormente se realizó una caracterización de la ceniza usando rayos x y se encontró que poseen propiedades puzolánicas, con contenido de sílice superior al 70%, para los ensayos, el cemento fue reemplazado por ceniza de hoja de Bambú al 5%, 10%, 15% y 20% con respecto al peso del cemento. El hormigón fabricado con este aditivo fue sometido a pruebas de compresión y resistencias a la tracción a los 7, 28 y 56 días de curado, obteniendo como resultado que con una adición del 5% de adición de ceniza de hojas de Bambú, hubo una mejoría en el hormigón. (Direct, Science Direct, 2022)

4.2.3 Bambú/Guadua: ¿Una alternativa viable para reforzar el concreto? En esta publicación de un blog, se obtuvo alguna información acerca de que algunos países en desarrollono tienen los medios para producir el acero, por lo que un laboratorio en Singapur propuso una solución a esta problemática, que es el bambú. Para comprobar que el bambú sí era una solución viable, se le realizaron algunos ensayos de resistencia a la tracción, donde los resultados mostraron que el bambú ha superado a muchos materiales, incluyendo al acero.

Además, el bambú es un material que se puede cosechar fácilmente y que crece muy rápido por lo que hace un material muy factible y amigable con el medio ambiente, ya que absorbe grandes cantidades de Co_2. (Walker, 2015)

4.2.4 Fibras de guadua, útiles para reforzar el cemento. En la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales se descubrió que la guadua tiene propiedades para usarse como material de construcción. Ricardo Tolosa Correa, profesor de la Escuela de Arquitectura y Urbanismo señaló que encontraron la posibilidad de usar algunas fibras naturales, siempre y cuando estas se sometan a un tratamiento específico con el fin de modificar ciertas propiedades para lograr que sean aptas para uso. Lo anterior con el fin de proponer soluciones partiendo de las realidades propias en el contexto nacional. En este trabajo, se mencionó de igual manera que a las ya conocidas características de resistencia de la guadua en el ámbito de la construcción, se le agrega ahora que las fibras de este material ayudan a evitar la contracción y expansión de estructuras de cemento durante algún movimiento.

Uno de los ingenieros civiles explicó que estas fibras poseen el grosor de un cabello humano, y que lo que se realiza es que se introducen en las matrices cimenticias y ayudan a evitar que el material por su movimiento se contraiga y expanda de manera inapropiada. (Manizales, 2015)

4.2.5 Cenizas, cementos y hormigones con cenizas. En la anterior investigación consultada se menciona que las cenizas, como subproducto, se han venido utilizando por varios motivos: conservación y reciclado de recursos y materias primas, ahorro de energía, protección ambiental y, en el campo del hormigón, por imperativos del desarrollo tecnológico moderno de este material. Las cenizas son aptas como adiciones activas al Clinker de cemento portland, en paralelo con las puzolanas naturales, ya que, como materiales activos, confieren a los cementos resultantes propiedades y comportamientos específicos distintos y mejores en muchos aspectos que los de los cementos portland ordinarios que no contienen adiciones activas o constituyentes secundarios.

Las cenizas se han utilizado también como elementos sustitutivos o complementarios de las fracciones finas de los áridos, cuando éstos son deficitarios en ellas. Finalmente se han empleado asimismo como aditivo en el recto sentido de este concepto para hormigón, o como material cementante complementario o sustitutivo del cemento. (Calleja, 1982)

4.2.6 Comportamiento del mortero y el concreto hidráulicos con adición de ceniza de cascarilla de café. Esta investigación tiene por objetivo indagar en el uso de la cascarilla de café en el sector de la construcción, debido a su alta producción en el departamento del Tolima y toda Colombia, ya que la mayoría termina siendo depositada en lugares inadecuados, generando contaminación en el ambiente. Por ende, es importante aprovechar los componentes físicos y químicos que contiene este material al ser calcinado, ya que coinciden con algunos componentes del cemento (aluminio, sílice, calcio, entre otros).

Por lo que, se decidió evaluar su comportamiento al utilizarla como aditivo en las mezclas de mortero y concreto hidráulicos. Se eligieron 3 muestras para analizar la incidencia que género la ceniza en la durabilidad del concreto. Los resultados obtenidos muestran una línea de investigación que mejora la calidad en la industria de la construcción y protege el medio ambiente. (Ortiz, Rojas, & Triana, 2021)

4.3 MARCO NORMATIVO

Inicialmente se debe tener en cuenta que, con referencia a lo anteriormente mencionado de manera general, todos los materiales utilizados en la construcción de estructuras de mampostería deben cumplir las normas y especificaciones relacionadas en el capítulo D.3. “Calidad de los materiales en la mampostería estructural” en el cual se encuentra que los materiales utilizados en las construcciones de mampostería estructural deben cumplir los requisitos de calidad especificados en la misma norma. (Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica, 2010)

Las normatividades para la realización de ensayos de laboratorio en Colombia, están regidas principalmente por dos instituciones las cuales son: El Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (NTC), junto con el Instituto Nacional de Vías (Invias), instituciones las cuales tienen determinadas una serie de ensayos de laboratorio certificados y validados ante entidades mundiales de alto prestigio como lo es la American Society for Testing and Materials (ASTM), donde se establecen las diferentes metodologías para la realización de ensayos de laboratorio para el óptimo desarrollo de las investigaciones ingenieriles.

Para la selección del material granular por medio de tamizaje necesario para las muestras de mortero y concreto se utilizó la siguiente normatividad:

- La norma NTC 77 (Segunda actualización) establece el método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos, esta norma abarca la determinación de la distribución de los tamaños de las partículas que componen los agregados finos y gruesos, a través de un proceso de tamizado. Este método de ensayo se usa principalmente para determinar la gradación de los materiales propuestos para usarse como agregados, o que se están utilizando como tales. Los resultados se usan para determinar la correlación entre la distribución de los tamaños de las partículas y los requisitos específicos de aplicación, y para suministrar los datos necesarios para el control de la producción de varios materiales y mezclas que contienen agregado. (Norma Técnica Colombiana (NTC), 2007)

Para la elaboración de las mezclas de mortero se utiliza:

- La norma NTC 3356 (Segunda actualización) Mortero premezclado para mampostería, esta norma establece los requisitos que debe cumplir todo mortero premezclado, seco o húmedo, empleado en la construcción de mampostería simple o reforzada, o en otros usos estructurales. (Norma Técnica Colombiana (NTC), 2000)

De acuerdo con lo indicado en la Tabla 3, se establecen tres tipos de morteros así: M, N y S. La clasificación de dicha tabla es válida para los morteros premezclados convencionales, para los morteros premezclados de larga duración y para los morteros premezclados secos. (Norma Técnica Colombiana (NTC), 2000)

Tabla 5 - Clasificación de los morteros según sus características mecánicas y físicas

Tipos de mortero	Resistencia a la compresión F'c [Mpa]	Retención mínima de agua (%)
M	17,5	75
S	12,5	75
N	7,5	75

Fuente: (Norma Técnica Colombiana (NTC), 2000)

Notas:

1. Ensayo de resistencia a la compresión a 28 días en cubos de 50 mm de lado (o cilindros de 75 mm de diámetro, por 150 mm de altura, correlacionando sus resultados a los cubos como referencia).

2. El mortero tipo N solo se permite en sistema con capacidad mínima de disipación de energía en el rango inelástico (DMI).

3. Los morteros tienen un contenido de aire máximo permitido del 12% a excepción de los morteros de larga vida donde el valor máximo aceptado es 18%.

Para la realización de los ensayos a compresión de los morteros se utiliza:

- La norma NTC 220 (Sexta actualización) Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico a la compresión, usando cubos de 50 mm o 2 pulgadas de lado, este método de ensayo cubre la determinación de la resistencia a la comprensión de morteros de cemento hidráulico utilizando cubos de 50 mm o 2 pulgadas de lado. Este método de ensayo cubre el uso de unidades del SI o en libra-pulgada. Los valores establecidos en unidades SI o en unidades libra-pulgada han de considerarse por separado como normativos. Los cubos de ensayo de 50 mm o 2 pulgadas se apisonan en dos capas. Los cubos se curan en un día en los moldes, luego se desmoldan y se sumergen en agua con cal hasta el momento del ensayo. (Norma técnica Colombiana (NTC), 2004)

Para la elaboración de las mezclas de concreto se utiliza:

- La norma INV E – 402 – 13 llamada “Elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio para ensayos de compresión y flexión” tiene por objeto los procesos técnicos de elaboración y curado de muestras de concreto en el laboratorio siguiendo un estricto control y dosificación de materiales, estableciendo las condiciones necesarias para la realización del ensayo, haciendo uso de concreto que puede ser compactado por apisonado o vibración. En la presente normatividad, se indican los procedimientos necesarios para la elaboración de concretos tanto para moldes prismáticos como cilíndricos, se establecen las diferentes varillas de compactación que se pueden usar, el número de golpes por cada capa de la muestra según sea su diámetro, entre otros aspectos importantes a tener en cuenta al momento de realizar las muestras de concreto. (INVIAS, 2013)

Para la realización de los ensayos a compresión de los concretos se utiliza:

- La norma INV E – 410- 13 llamada “Resistencia a la compresión de cilindros de concreto” tiene por objeto describir el método a seguir para la determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto. El ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a cilindros, con una velocidad de carga prescrita, hasta que se presente la falla. La importancia de este ensayo en las muestras de concreto radica que los resultados de este ensayo se utilizan como base para el control, de calidad de las operaciones de dosificación, mezclado y colocación del concreto y para verificar el cumplimiento de especificaciones del mismo; para evaluar la efectividad de los aditivos y para otros usos similares. (INVIAS, 2013)

5. METODOLOGÍA

La metodología de este proyecto se dividió en 2 etapas principales, la primera de ellas fue la elaboración de muestras de mortero y la segunda la elaboración de muestras de concreto, cada una con diferentes porcentajes de adición de ceniza de guadua.

5.1 ETAPA 1 – ELABORACIÓN DE MORTEROS

Inicialmente se realizaron muestras de mortero patrón y con adición de 2.5%, 3%, 3.5%, 4% y 5% de ceniza de guadua, esto con el fin de determinar los porcentajes óptimos de resistencia que posteriormente sirvieron para realizar las muestras de concreto utilizando estos porcentajes óptimos encontrados. La primera etapa del proyecto consistió en la realización de morteros y se divide en 3 fases que se describen a continuación:

5.1.1 Fase I - Recolección de materia prima. En primera instancia, para el desarrollo del proyecto investigativo fue de suma importancia encontrar una fuente de materiales óptimos para el desarrollo y realización de los especímenes a analizar, siendo la guadua el material más importante y pilar fundamental de la investigación. Por lo anterior, se realizó el proceso de búsqueda de varios centros maderables donde se nos pudiera suministrar este material que estuviera limpio, sin procesos de inmunización o tratamiento químico y que hubiera sido cultivada de manera orgánica sin ningún tipo de afectación por incidencia de algún tipo de contaminante en el ambiente (insecticidas o plaguicidas) puesto que esto podría afectar la composición química de la guadua, infiriendo posiblemente en los resultados de la investigación.

Finalmente, se encontró una finca en el municipio de Icononzo, en el departamento del Tolima, donde se tenían varios cultivos de guaduas (guaduales) que reunían todas las características o requerimientos anteriormente mencionados como se observa en la imagen 1.

Una vez encontrado el lugar de suministro, se escogió una serie de guaduas para cortarlas y colocarlas en posición de caballete para iniciar un proceso de secado preliminar por un período de ocho días, como se muestra en la imagen 2.

Imagen 1 - Guadual seleccionado para suministro del material en Icononzo, Tolima

Fuente: Agencia UNAL

Imagen 2 Posición de secado (Caballete) para la guadua

Fuente: Agencia UNAL

Después de haber realizado este proceso, se procedió a cortar las guaduas en secciones de 20 centímetros aproximadamente como se ve en la imagen 3, para así poder facilitar el proceso posterior a este, el cual fue la incineración del material. Una vez finalizado todo el proceso de corte de las guaduas, se procedió a incinerar el material, esto teniendo en cuenta todas las recomendaciones del Ingeniero Óscar Cardona, dentro de las cuales fue no hacer uso de ningún material combustible o inflamable para agilizar y facilitar el proceso de incineración, sino solamente hacer uso del fuego directamente hacia la guadua como se observa en la imagen 4, puesto que aunque el proceso se vea extenuado un poco, esto nos garantiza que no se modificará la estructura química de las cenizas.

Imagen 3 Proceso de corte de la guadua

Fuente: Autores

Imagen 4 - Proceso de incineración de la guadua

Fuente: Autores

Una vez finalizado el proceso de incineración de todos los trozos de guadua, proceso que tardó aproximadamente 5 horas, se debió esperar un tiempo adicional de 24 horas para que las cenizas se enfriaran y tuvieran la temperatura ambiente del lugar y así poder transportar y manipular adecuadamente la ceniza que iba ser transportada hacia el lugar donde se realizó el proceso de calcinación.

Después de haber almacenado en un lugar adecuado y libre de humedad las cenizas inicialmente obtenidas, se transportó el material hacia un centro de calcinación ubicado en la ciudad de Ibagué, lugar donde se tienen hornos con la capacidad de calcinar cualquier material a temperaturas promedio de 1200° Centígrados, temperatura a la cual nuestro material obtenido debió ser calcinado debido a que es a este rango de temperatura (800°C -1200°C), el material ha liberado todos los compuestos y gases orgánicos que podría tener, lo cual es lo ideal para así garantizar que nuestras cenizas no se van a ver afectadas por procesos de descomposición o degradación orgánica. Una vez se realizaron estos procesos, se dio lugar a la segunda fase de la etapa número uno.

5.1.2 Fase II - Pulverizado y tamizado de la Ceniza de guadua. Una vez terminada la primera fase, las cenizas fueron transportadas al laboratorio de la Universidad Cooperativa de Colombia sede Ibagué, para la debida caracterización del material mediante la utilización de los Tamices No. 80, 100, 200 y Fondo. Para que la ceniza de guadua pudiera ser clasificada y utilizada como aditivo dentro de las mezclas de mortero y concreto, tuvimos en cuenta que el material debía pasar el tamiz No. 200. No obstante, se encontró que inicialmente la ceniza obtenida en el proceso de incineración, seguía lo suficientemente densa para retener la mayor parte del material en el No. 80, por lo cual se tuvo que hacer un proceso adicional y preliminar al tamizaje, el cual fue llevar el material a la máquina de los ángeles para así aumentar la finura del material, garantizar una mayor cantidad de ceniza disponible para la elaboración de las muestras y aumentar la capacidad de reacciones con efecto puzolánico en la ceniza de guadua, debido a que a mayor finura la ceniza puede reaccionar en mayor porcentaje.

Después de haber degradado al máximo las partículas de ceniza de guadua, se procedió a tamizar el material haciendo uso de los tamices anteriormente mencionados para luego pesar y almacenar la ceniza obtenida en los tamices No. 200 y fondo que se muestran en la imagen 5, ya que con el material retenido en estos tamices se realizaron las muestras de mortero y concreto.

Imagen 5 - Ceniza de guadua tamizada

Fuente: Autores

Por otro lado, para la obtención de los otros materiales necesarios para la elaboración de las muestras, el equipo del proyecto investigativo decidió adquirir dichos materiales en un mismo lugar, que tuviera buena selección y gradación de los materiales (arenas y gravas para concretos), sin material orgánico ya que la presencia de este, presenta una condición desfavorable para los morteros y concretos ya que puede retardar el efecto de fraguado, reducir resistencias y durabilidad de los especímenes. Por otro lado, se buscó un lugar en donde se pudiera conseguir cemento Portland tipo I en unas condiciones de almacenamiento óptimas y de buena calidad, por lo cual se escogió como centro de suministros una ferretería de gran prestigio en la ciudad.

Una vez seleccionada la arena con la que se realizarían las muestras, inicialmente se llevó al horno por 24 horas para quitarle toda la humedad que esta tuviera para Posteriormente realizar un nuevo proceso de tamizaje, pero en este caso para la arena haciendo uso de los tamices No. 18, 40 y 80.

Por un lado, el material que retiene el tamiz N° 18 se desechó, mientras que la arena que se quedó retenida en los tamices N° 40 y 80 se mezcló y almacenó como se observa en la imagen 6, ya que con esta se realizarían las muestras de mortero.

Imagen 6 - Arena tamizada para elaboración de muestras

Fuente: Autores

FASE III - Elaboración de muestras y ensayos de laboratorio. Una vez se tuvieron todos los materiales listos, se procedió a la realización de las diferentes mezclas para la elaboración de los especímenes de mortero. Para la realización de las muestras, se tuvo como proporción o relación base 1:2, la cual indica que, para cierta cantidad de cemento, se usaba el doble de esta cantidad de arena, mientras que, por otro lado, el agua se iba midiendo o determinando según se fuera consiguiendo una consistencia adecuada. Para la realización de las muestras o especímenes de morteros se siguió la metodología descrita en el paso a paso de la norma NTC 3356. Por lo tanto, el procedimiento realizado fue el siguiente:

1. El primer paso consistió en definir qué tipo de muestra se iba a realizar, para así seleccionar y definir la cantidad de cada material que se iba a emplear según fuera el tipo de mortero y la cantidad de muestras a realizar. En primera instancia, se realizaron los especímenes sin adición de ceniza de guadua, es decir, las muestras de mortero patrón, realizando un total de 12 muestras de mortero patrón, las cuales fueron falladas a compresión a los 7, 14, 28 y 60 días respectivamente (3 muestras por fecha). Después de haber definido esto, se calculó la cantidad de material necesario para el mezclado de los cubos de mortero que la norma NTC nos indica.

2. El siguiente paso que se realizó fue humectar y lubricar los moldes o formaletas de los cubos con aceite, esto con el fin de que, al momento de desencofrar los especímenes, no quedaran adheridas las muestras al molde y sea fácil realizar este procedimiento.

3. Después de haber lubricado las formaletas, se procedió a verter la mezcla de mortero patrón en los cubos con la ayuda de una espátula para no segregar la mezcla; mientras un integrante del grupo vertía la mezcla en un molde, otro se encargaba de cimentar de forma correcta la mezcla, sin tocar los bordes y paredes del molde, para que de esta forma no quedara ningún espacio sin mezcla y que así a la hora de fallarlos exista una precisión y área de contacto más precisa.

4. Al finalizar este procedimiento, se dejaron las muestras en el cuarto de curado, para al día siguiente desencofrarlos; posterior a esto se marcaron los cubos con el porcentaje respectivo de ceniza (en este caso 0%), el tiempo al que debían ser fallados como se observa en la imagen 7 y se ingresaron a la cámara de curado. Después de haber realizado inicialmente este proceso con las muestras de mortero patrón, se repitió el mismo proceso con las mismas cantidades de arena y cemento, pero ahora adicionándole el porcentaje deseado de ceniza en relación al peso del

cemento, en la mezcla de mortero (porcentajes de adición de ceniza de guadua de 2.5%, 3%, 3.5%, 4% y 5%). Realizando igualmente doce muestras de mortero, clasificando cada muestra según hubiera sido el porcentaje de adición, teniendo así un total de 72 especímenes de morteros, con diferentes porcentajes de adición de ceniza de guadua como se muestra en la imagen 8, los cuales se fallaron a los 7, 14, 28 y 60 días de curado.

Imagen 7 - Especímenes de mortero desencofrados y marcados

Fuente: Autores

Imagen 8 - Especímenes de mortero en proceso de curado

Fuente: Autores

5.2 ETAPA 2 – ELABORACIÓN DE CONCRETOS

Al terminar de realizar los ensayos de compresión en los especímenes de morteros hidráulicos, se analizaron los resultados obtenidos para determinar los porcentajes óptimos de resistencia a compresión, para usarlos en la elaboración de los especímenes de concreto patrón y con adición de ceniza de guadua. Al analizar los resultados obtenidos, se llegó a la conclusión de que los morteros que obtuvieron la mayor resistencia fueron los que tenían adición de ceniza de guadua al 3% y al 3.5%; por lo que el equipo de trabajo decidió adicionar a las mezclas de concreto un 3.3% y 3.5% de ceniza de guadua en relación al peso del cemento.

En cuanto a los materiales necesitados para la elaboración de las muestras de concretos, se tiene que el nuevo material a utilizar en estas mezclas fue la gravilla. La cual fue adquirida de tamaño nominal mayor a 3/8 de pulgada de tal manera que la gravilla quedara retenida en este tamiz ya que este era el material con el tamaño nominal adecuado para la realización de las muestras. Cabe recalcar que este material, al igual que la arena y el cemento, fue adquirido durante todo el proceso investigativo en el mismo lugar o centro de acopio, el cual fue una prestigiosa ferretería de la ciudad que se caracteriza por suministrar materiales de buena calidad, con buena gradación y limpieza.

Teniendo en cuenta que ya se contaba con el material necesario para realizar las muestras de concreto, se realizaron las mezclas para los especímenes de concreto. Para la realización de estas muestras se tuvo como proporción o relación base 1:2:2; la cual indica que, para cierta cantidad de cemento, se usaba el doble de esta cantidad de arena, y el doble de grava mientras que, por otro lado, el agua se midió o determinó según se fuera consiguiendo una consistencia adecuada y manejable. Para realizar las mezclas de los morteros se tuvo en cuenta la norma INV- 402 - 13. Por lo tanto, el procedimiento realizado fue el siguiente:

1. El primer paso fue, definir qué tipo de muestra se iba a realizar, y de esta manera seleccionar y definir la cantidad de cada material que se iba a utilizar según el tipo de concreto y la cantidad de muestras a realizar. Los primeros especímenes que se realizaron fueron los de concreto patrón como se puede observar en la imagen 9, y se realizaron en total 16 muestras, las cuales fueron falladas a los 7, 14, 28 y 60 días respectivamente (4 muestras por fecha).

2. En segundo lugar, se lubricaron de manera adecuada los cilindros con aceite desmoldante para no permitir que el concreto se adhiriera a las paredes de los moldes y que, al momento de desencontrar, se facilitara la realización de este proceso.

3. Después de haber lubricado los cilindros, se vertió la mezcla en los cilindros en 3 capas, posteriormente, con una varilla lisa se cimentaron las capas con 25 golpes alrededor del molde evitando tocar el fondo del molde y los bordes de este. Al tener la mezcla ya cimentada, se usó un chipotle para golpear los moldes con el objetivo de que al aire que queda almacenado fuese eliminado y saliera a la superficie. Por último, se completó el llenado de molde y se niveló con un palustre.

4. Por último, estos especímenes fueron llevados al cuarto de fraguado que es un sitio cubierto y sin posibles alteraciones de las muestras por otras personas o por contaminación del ambiente. Las muestras se dejaron en el cuarto de fraguado por un período de 24 horas y posterior a esas horas fueron desencofradas las muestras como se muestra en la imagen 10; después de este proceso, se marcaron los cilindros con el porcentaje respectivo de ceniza (0%, 3%, 3.5%) y el tiempo al que debían ser fallados (7, 14, 21 y 60 días) y se ingresaron a la cámara de curado.

Después de haber realizado este proceso con las muestras de concreto patrón, se repitió el mismo proceso con las mismas cantidades de arena, cemento y grava, pero adicionando el porcentaje de ceniza de guadua en relación con el peso del cemento, en la mezcla del concreto (porcentajes de 3.3% y 3.5%). Se realizaron de igual manera 16 muestras de concreto, clasificando cada muestra según hubiera sido el porcentaje de adición, teniendo así un total de 48 especímenes de concreto, con diferentes porcentajes de adición de ceniza de guadua los cuales fueron fallados a los 7, 14, 28 y 60 días.

Imagen 9 - Preparación de mezcla de concreto

Fuente: Autores

Imagen 10 - Muestras de concreto

Fuente: Autores

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 RESULTADOS DE ESPECÍMENES DE MORTERO

Para la evaluación del comportamiento mecánico presentado por los especímenes de mortero, se realizaron los ensayos a compresión como se observa en la imagen 11, de acuerdo a la normatividad NTC 220 y la INV E 323, donde para cada tipo de mortero y cada día de fallado, se fallaron 3 muestras.

Imagen 11 - Falla a compresión de espécimen de mortero

Fuente: Autores

En las pruebas a compresión para los morteros, se hallaron inicialmente las fuerzas que soportaron cada una de las muestras debido a que la máquina para ensayos de compresión usada en el laboratorio de la Universidad, arrojó los resultados en Kilo Newton (KN).

En cada fecha de día de fallado se pusieron a prueba 3 tipos muestras de morteros con las mismas características, esto con la finalidad de no sesgar los resultados a una sola muestra, sino tener mayor nivel de confiabilidad al testear 3 de los mismos. Al fallar las tres muestras de morteros, se obtuvieron tres fuerzas diferentes en cada ensayo, con valores muy cercanos entre ellos lo cual indica que la elaboración de las muestras estuvo bien ejecutada (varianza muy mínima). Al obtener las tres fuerzas, se calculó un promedio entre ellas y se fijaba el dato de una sola fuerza para un solo tipo de mortero con una edad específica.

Con el dato anteriormente analizado y calculado, se debió calcular el esfuerzo soportado por los cubos (Resistencia), por medio del uso de datos como la fuerza arrojada por el equipo (fuerza promediada) y el área de contacto de los cubos, la cual era 250mm (5cm x 5cm), para poder calcular matemáticamente la resistencia. La ecuación utilizada para hallar el esfuerzo de cada espécimen de mortero fue la siguiente:

$$\mathbf{Esfuerzo} = \frac{\mathrm{F(KN)}}{\mathrm{A(mm^2)}} = Mpa$$

Donde:

- **F:** Valor de la fuerza (promediado) dado en el ensayo de la máquina (KN)
- **A:** Área de contacto del espécimen (cubo o cilindro) dada en mm^2

A continuación, se mostrarán y analizarán las características mecánicas y resultados de los morteros fallados con cada uno de los porcentajes de adición en los diferentes tiempos de fallado ejecutados.

6.1.1 Comportamiento mecánico de mortero patrón. A causa de que en toda investigación científica de tipo experimental se debe tener una referencia o patrón de medida de alguna magnitud ya conocida, existente y con valores previamente establecidos para así evaluar la efectividad o ineficacia de las muestras alternas o innovadoras en estudio, se elaboraron 12 muestras de morteros sin adición de ceniza de guadua para tomar estos valores como referencia central para evaluar la efectividad de nuestro aditivo. A continuación, se presentan las diferentes tablas y gráficos realizados con los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio.

La tabla 6 representa los valores de las fuerzas soportadas en los ensayos de laboratorio realizados en los especímenes de mortero patrón o sin adición de ceniza de guadua.

Tabla 6 - Fuerzas de compresión (KN) soportadas por el mortero patrón

Mortero patrón		
Días de curado	**Fuerza (KN)**	***Promedio***
7	46.5	50.0
	53.4	
	50.2	
14	78.1	63.3
	53.2	
	58.7	
28	74.1	67.93
	74.7	
	55	
60	72.23	70.8
	66.6	
	73.5	

Fuente: Autores

Por otro lado, en la tabla 7 se encuentran los valores en términos de esfuerzo (Mpa) soportados por los especímenes de mortero calculados con los valores y método anteriormente expuestos.

Tabla 7 - Resistencia a la compresión de los morteros patrón

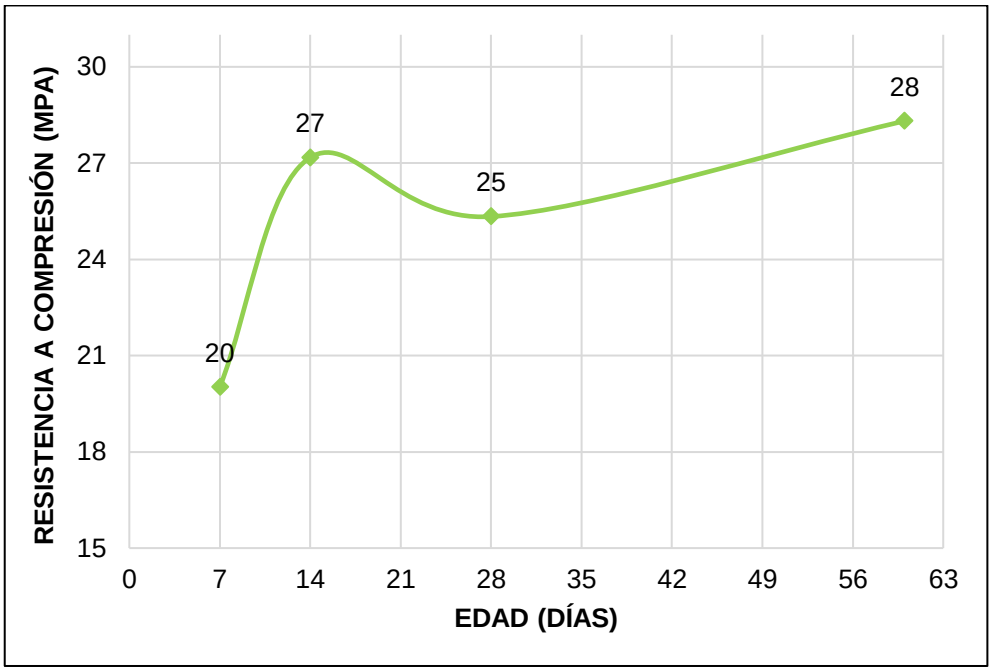
Mortero patron			
Días de curado	**Fuerza (kN)**	**Esfuerzo (Mpa)**	***Promedio Mpa***
7	46,5	18,6	20,0
	53,4	21,4	
	50,2	20,1	
14	74,1	29,6	27,2
	74,7	29,9	
	55	22,0	
28	78,1	31,2	25,3
	53,2	21,3	
	58,7	23,5	
60	72,23	28,9	28,3
	66,6	26,6	
	73,5	29,4	

Fuente: Autores

A continuación, el gráfico 1 representa el comportamiento mecánico a compresión promedio presentado por las muestras de mortero patrón falladas en el laboratorio. El gráfico representa la Resistencia a la compresión (Mpa) V.S La edad (días) de las muestras.

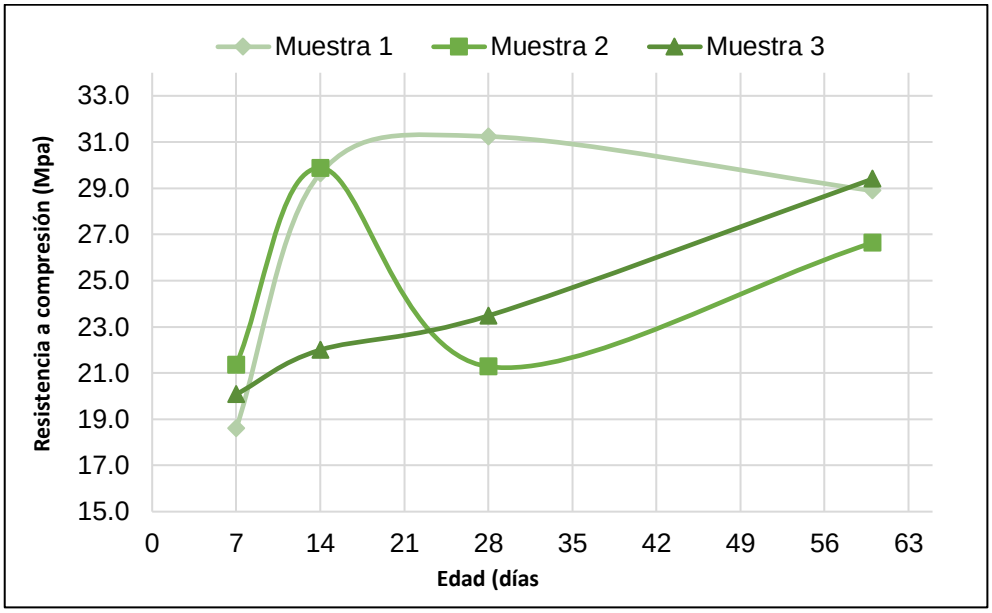
En el comportamiento presentado por las muestras, se evidencia un comportamiento normal, creciente lineal, lo cual indica que la elaboración de las mezclas, el proceso de fraguado y curado se dieron en óptimas condiciones, se fabricó un mortero patrón de alta resistencia (Según la clasificación encontrada en el cuadro 1)

Gráfico 1 – Resistencia promedio a compresión de morteros patrón



Fuente: Autores

Gráfico 2 - Resistencia a compresión de las muestras de mortero patrón



Fuente: Autores

6.1.2 Comportamiento mecánico de mortero con adición de ceniza de guadua (+2.5%). La segunda serie de ensayos realizados fueron en los especímenes de mortero hidráulico con adición de ceniza de guadua del 2.5 % en relación al peso del cemento. Se elaboraron 12 muestras de morteros en total, 3 muestras para fallar en cada edad o tiempo definido (7, 14, 28 y 60 días). A continuación, se presentan las diferentes tablas y gráficos realizados con los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio.

La tabla 8 representa los valores de las fuerzas soportadas en los ensayos de laboratorio realizados en los especímenes de mortero con adición de ceniza de guadua en una concentración del 2.5 % respecto al peso del cemento.

Tabla 8 Fuerzas de compresión (KN) soportadas por el mortero con adición de ceniza (+2.5%)

Mortero con 2.5% ceniza		
Días de curado	**Fuerza (KN)**	***Promedio***
7	38.4	39.10
	38.1	
	40.8	
14	43.5	47.03
	47.6	
	50	
28	74.6	70.93
	69.2	
	69	
60	58.4	60.03
	59.2	
	62.5	

Fuente: Autores

Por otro lado, en la tabla 9 se encuentran los valores en términos de esfuerzo (Mpa) soportados por los especímenes de mortero con adición del 2.5% de ceniza de guadua, calculados con los valores y método anteriormente expuestos.

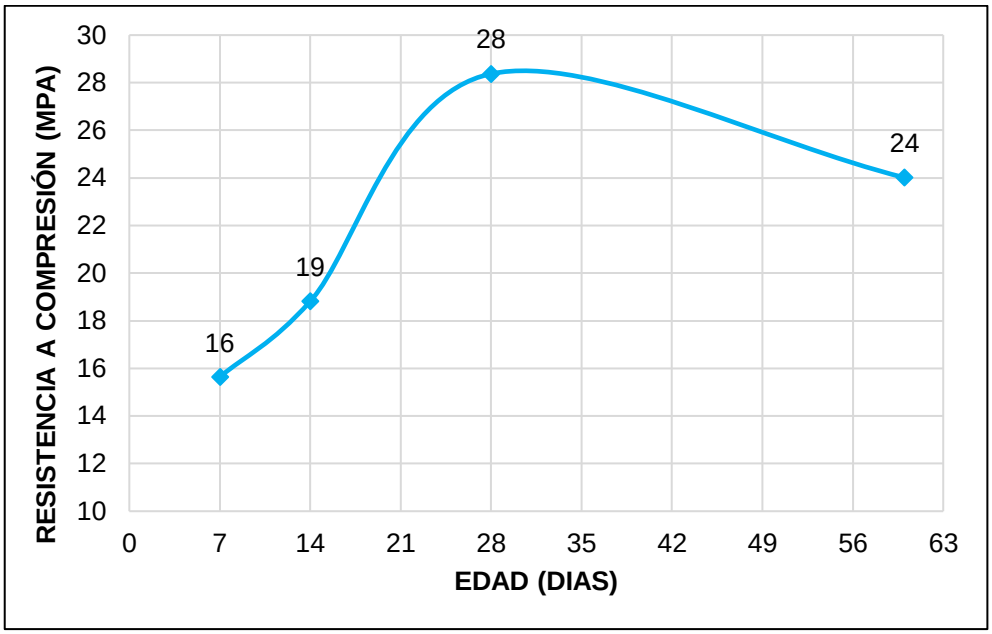
Tabla 9 - Resistencia a la compresión de los morteros con adición de ceniza (+2.5%)

Mortero con 2.5% de Ceniza			
Días de curado	**Fuerza (kN)**	**Esfuerzo (Mpa)**	***Promedio Mpa***
7	38,4	15,4	15,6
	38,1	15,2	
	40,8	16,3	
14	43,5	17,4	18,8
	47,6	19,0	
	50	20,0	
28	74,6	29,8	28,4
	69,2	27,7	
	69	27,6	
60	58,4	23,4	24,0
	59,2	23,7	
	62,5	25,0	

Fuente: Autores

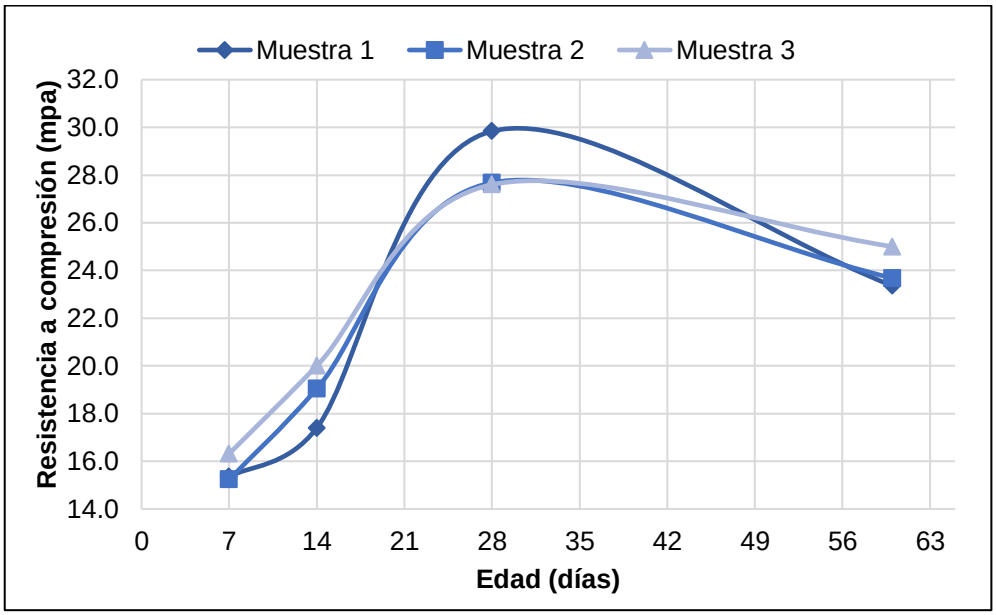
Por otra parte, el gráfico 3 representa el comportamiento mecánico a compresión presentado por las muestras de mortero con adición del 2.5% de ceniza de guadua falladas en el laboratorio. El gráfico representa la Resistencia a la compresión (Mpa) V.S La edad (días) de las muestras. En el comportamiento presentado por las muestras, se evidencia un comportamiento normal, creciente lineal hasta los 28 días; en esta edad se evidencia una resistencia alta, casi igual al valor que obtuvo el mortero patrón a los 28 y 60 días de curado. Aunque los procesos de elaboración de las mezclas, el proceso de fraguado y curado se dieron en óptimas condiciones, los especímenes de este mortero mostraron una comportamiento anormal a los 60 días, puesto que su resistencia en lugar de seguir aumentando, se redujo sustancialmente lo cual nos indica que este porcentaje de adición presenta altas resistencias en edades tempranas pero se reduce a lo largo de su vida útil lo cual es nefasto para los morteros y cualquier otro material de construcción en general. Con estos resultados empezamos a formular diferentes hipótesis como, por ejemplo, ¿en qué rango de adición de porcentaje de ceniza de guadua los morteros aumentan su resistencia a la compresión durante todas sus edades? ¿Existe un porcentaje de adición que reduzca su comportamiento mecánico a la compresión?

Gráfico 3 – Resistencia promedio a la compresión de los morteros con adición de ceniza (+2.5%)



Fuente: Autores

Gráfico 4 - Resistencia a la compresión de las muestras de mortero con adición de ceniza (+2.5%)



Fuente: Autores

6.1.3 Comportamiento mecánico de mortero con adición de ceniza de guadua (+3%). La tercera serie de ensayos realizados fueron en los especímenes de mortero hidráulico con adición de ceniza de guadua del 3 % con relación al peso del cemento. Se elaboraron 12 muestras de morteros en total, 3 muestras para fallar en cada edad o tiempo definido (7, 14, 28 y 60 días). A continuación, se presentan las diferentes tablas y gráficos realizados con los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio.

La tabla 10 representa los valores de las fuerzas soportadas en los ensayos de laboratorio realizados en los especímenes de mortero con adición de ceniza de guadua en una concentración del 3 % respecto al peso del cemento.

Tabla 10 - Fuerzas de compresión (KN) soportadas por el mortero con adición de ceniza (+3%)

Mortero con 3% ceniza		
Días de curado	**Fuerza (KN)**	***Promedio***
7	43.3	43.47
	39.6	
	47.5	
14	65.3	63.80
	64.9	
	61.2	
28	72.4	72.73
	70.7	
	75.1	
60	68.1	78.47
	81.5	
	85.8	

Fuente: Autores

Por otro lado, en la tabla 11 se encuentran los valores en términos de esfuerzo (Mpa) soportados por los especímenes de mortero con adición del 3% de ceniza de guadua, calculados con los valores y método anteriormente expuestos.

Tabla 11 - Resistencia a la compresión de los morteros con adición de ceniza (+3%)

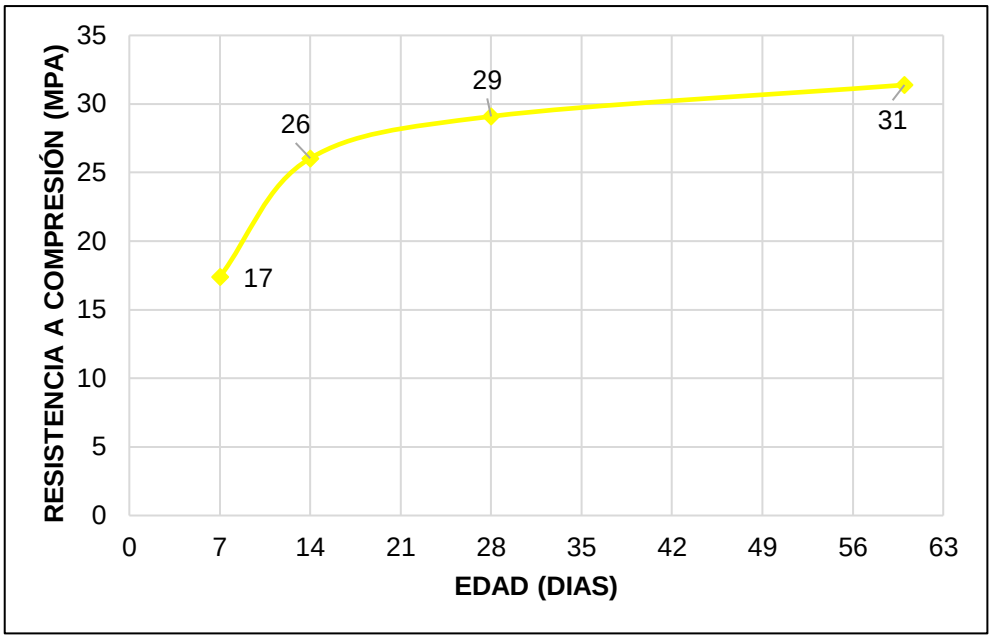
Mortero con 3% Ceniza			
Días de curado	**Fuerza (kN)**	**Esfuerzo (Mpa)**	***Promedio Mpa***
7	43,3	17,3	17,4
	39,6	15,8	
	47,5	19,0	
14	65,3	26,1	25,5
	64,9	26,0	
	61,2	24,5	
28	72,4	29,0	29,1
	70,7	28,3	
	75,1	30,0	
60	68,1	27,2	31,4
	81,5	32,6	
	85,8	34,3	

Fuente: Autores

Por otra parte, el gráfico 5 representa el comportamiento mecánico a compresión presentado por las muestras de morteros con adición de 3 % de ceniza de guadua falladas en el laboratorio. El gráfico representa la Resistencia a la compresión (Mpa) V.S La edad (días) de las muestras. En el comportamiento presentado por las muestras, se evidencia un comportamiento normal, creciente lineal, lo cual indica que la elaboración de las mezclas, el proceso de fraguado y curado se dieron en óptimas condiciones, se fabricó un mortero patrón de alta resistencia (Según la clasificación encontrada en el cuadro 1). En comparación con el comportamiento presentado por los especímenes de mortero patrón, se analiza que el mortero con adición de ceniza de guadua del 3% presentó un mejor comportamiento mecánico en sus 4 edades y fechas de fallado, la resistencia que obtuvo en las últimas tres edades fue superior a la que los morteros patrón presentaron.

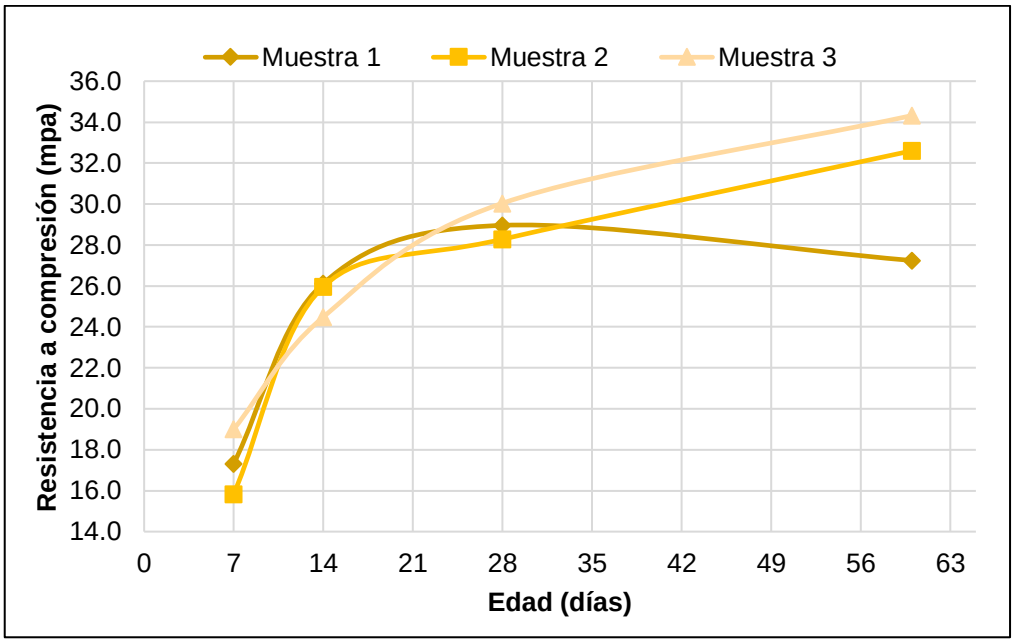
Con estos resultados empezamos a formular diferentes hipótesis como, por ejemplo, ¿El rango de adición óptima se encontrará entre 2,5 y 3% o se encontrará del 3% en adelante? ¿Será que todos los morteros con adición mayor al 3% siempre presentarán una resistencia con comportamiento creciente?

Gráfico 5 – Resistencia promedio a compresión de los morteros con adición de ceniza (+3%)



Fuente: Autores

Gráfico 6 - Resistencia a compresión de las muestras de mortero con adición de ceniza (+3%)



Fuente: Autores

6.1.4 Comportamiento mecánico de mortero con adición de ceniza de guadua (+3.5%). La cuarta serie de ensayos realizados fueron en los especímenes de mortero hidráulico con adición de ceniza de guadua del 3.5 % con relación al peso del cemento. Se elaboraron 12 muestras de morteros en total, 3 muestras para fallar en cada edad o tiempo definido (7, 14, 28 y 60 días). A continuación, se presentan las diferentes tablas y gráficos realizados con los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio.

La tabla 12 representa los valores de las fuerzas soportadas en los ensayos de laboratorio realizados en los especímenes de mortero con adición de ceniza de guadua en una concentración del 3.5 % respecto al peso del cemento.

Tabla 12 - Fuerzas de compresión (KN) soportadas por el mortero con adición de ceniza (+3.5%)

Mortero con 3.5% ceniza		
Días de curado	**Fuerza (KN)**	***Promedio***
7	36.5	40.17
	41.9	
	42.1	
14	55.4	59.10
	60.5	
	61.4	
28	62.4	59.70
	55.7	
	61	
60	85.5	86.33
	87	
	86.5	

Fuente: Autores

Por otro lado, en la tabla 13 se encuentran los valores en términos de esfuerzo (Mpa) soportados por los especímenes de mortero con adición del 3.5% de ceniza de guadua, calculados con los valores y método anteriormente expuestos

Tabla 13 - Resistencia a la compresión de los morteros con adición de ceniza (+3.5%)

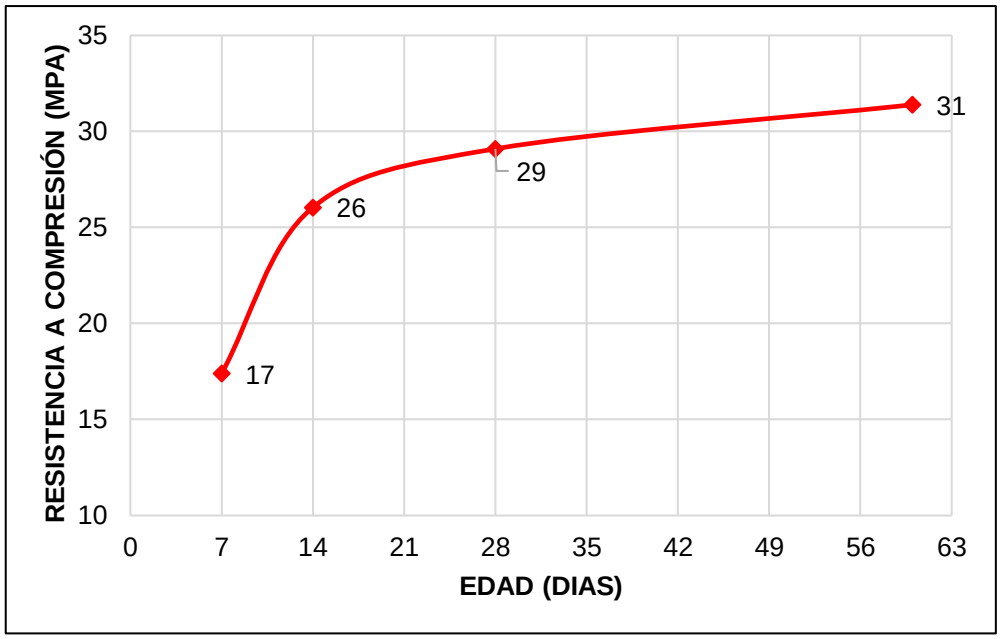
Mortero con 3.5% Ceniza			
Días de curado	**Fuerza (kN)**	**Esfuerzo (Mpa)**	***Promedio Mpa***
7	36,5	14,6	16,1
	41,9	16,8	
	42,1	16,8	
14	55,4	22,2	23,6
	60,5	24,2	
	61,4	24,6	
28	62,4	25,0	23,9
	55,7	22,3	
	61	24,4	
60	85,5	34,2	34,5
	87	34,8	
	86,5	34,6	

Fuente: Autores

Por otra parte, el gráfico 7 representa el comportamiento mecánico a compresión presentado por las muestras de mortero con adición del 3.5 % de ceniza de guadua falladas en el laboratorio. El gráfico representa la Resistencia a la compresión (Mpa) V.S La edad (días) de las muestras. En el comportamiento presentado por las muestras, se evidencia un comportamiento normal, creciente lineal, lo cual indica que la elaboración de las mezclas, el proceso de fraguado y curado se dieron en óptimas condiciones. No obstante, cabe resaltar que, aunque los comportamientos de resistencias soportadas fueron crecientes, los resultados obtenidos en las tres primeras edades en comparación con los que obtuvo los morteros patrón y los morteros con adición del 3% fueron menores, las resistencias en edades tempranas de esta muestra de mortero son bajas. Sin embargo, la resistencia presentada a los 60 días de curado, hasta el momento ha sido la resistencia más alta durante toda la investigación.

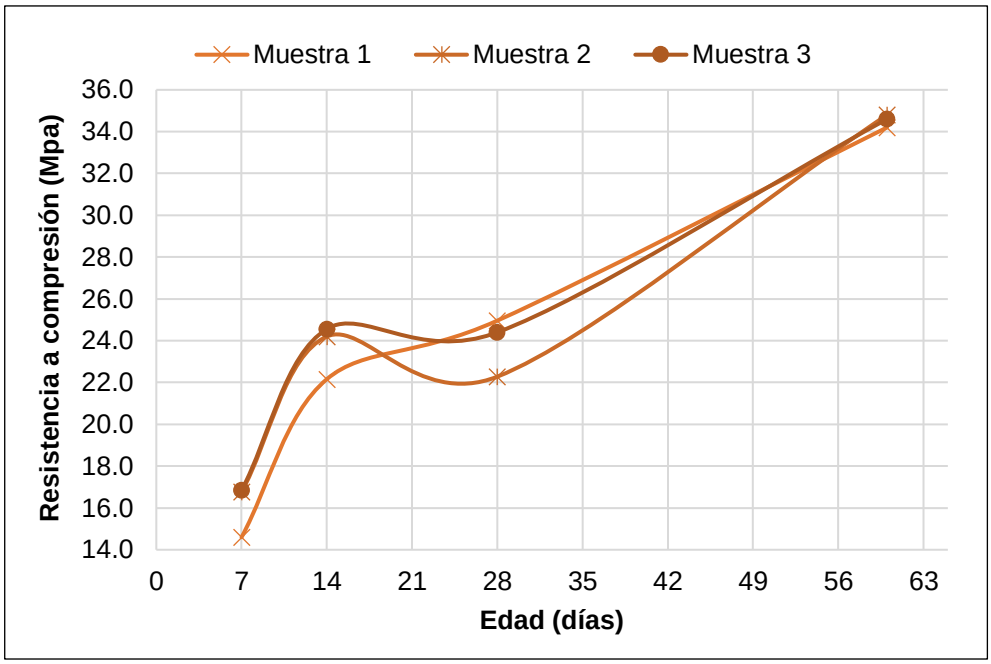
Con estos resultados continuamos formulando diferentes hipótesis como, por ejemplo, ¿El rango de adición óptima se encontrará entre 3 y 3,5% o se encontrará del 3.5% en adelante? ¿Sería lógico discretizar la adición de ceniza entre el anterior rango definido?

Gráfico 7 – Resistencia promedio a la compresión de los morteros con adición de ceniza (+3.5%)



Fuente: Autores

Gráfico 8 - Resistencia a la compresión de las muestras de mortero con adición de ceniza (+3.5%)



Fuente: Autores

6.1.5 Comportamiento mecánico de mortero con adición de ceniza de guadua (+4%). La quinta serie de ensayos realizados fueron en los especímenes de mortero hidráulico con adición de ceniza de guadua del 4 % con relación al peso del cemento. Se elaboraron 12 muestras de morteros en total, 3 muestras para fallar en cada edad o tiempo definido (7, 14, 28 y 60 días). A continuación, se presentan las diferentes tablas y gráficos realizados con los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio.

La tabla 14 representa los valores de las fuerzas soportadas en los ensayos de laboratorio realizados en los especímenes de mortero con adición de ceniza de guadua en una concentración del 4 % respecto al peso del cemento.

Tabla 14 - Fuerzas de compresión (KN) soportadas por el mortero con adición de ceniza (+4%)

Mortero con 4% ceniza		
Días de curado	**Fuerza (KN)**	***Promedio***
7	51.2	51.83
	54.9	
	49.4	
14	61.1	62.30
	65.5	
	60.3	
28	75.7	66.10
	60.2	
	62.4	
60	84.4	75.63
	77	
	65.5	

Fuente: Autores

Por otro lado, en la tabla 15 se encuentran los valores en términos de esfuerzo (Mpa) soportados por los especímenes de mortero con adición del 4% de ceniza de guadua, calculados con los valores y método anteriormente expuestos.

Tabla 15 - Resistencia a la compresión de los morteros con adición de ceniza (+4%)

Mortero con 4% Ceniza			
Días de curado	**Fuerza (kN)**	**Esfuerzo (Mpa)**	***Promedio Mpa***
7	51,2	20,5	20,7
	54,9	22,0	
	49,4	19,8	
14	61,1	24,4	24,9
	65,5	26,2	
	60,3	24,1	
28	75,7	30,3	26,4
	60,2	24,1	
	62,4	25,0	
60	84,4	33,8	30,3
	77	30,8	
	65,5	26,2	

Fuente: Autores

Por otra parte, el gráfico 9 representa el comportamiento mecánico a compresión presentado por las muestras de morteros con adición de 4 % de ceniza de guadua falladas en el laboratorio. El gráfico representa la Resistencia a la compresión (Mpa) V.S La edad (días) de las muestras. En el comportamiento presentado por las muestras, se evidencia un comportamiento normal, creciente lineal, lo cual indica que la elaboración de las mezclas, el proceso de fraguado y curado se dieron en óptimas condiciones, se fabricó un mortero patrón de alta resistencia (Según la clasificación encontrada en el cuadro 1).

En comparación con el comportamiento presentado por los especímenes de mortero patrón, se analiza que el mortero con adición de ceniza de guadua del 4% presentó un mejor comportamiento mecánico en su primera y última edad de fallado.

Por otro lado, se analiza que, aunque tuvo comportamiento lineal ascendente y mayor en dos edades de curado al mortero patrón, estos especímenes de concreto no obtuvieron una resistencia mayor a los especímenes con adición de ceniza de guadua al 3% el cual ha presentado hasta ahora el mejor comportamiento. Con estos resultados empezamos a formular diferentes hipótesis como, por ejemplo,

¿Será que todos los morteros con adición mayor al 4% siempre presentarán una resistencia con comportamiento creciente y mayor a las presentadas en otros porcentajes de adición?

Gráfico 9 – Resistencia promedio a la compresión de los morteros con adición de ceniza (4%)

Fuente: Autores

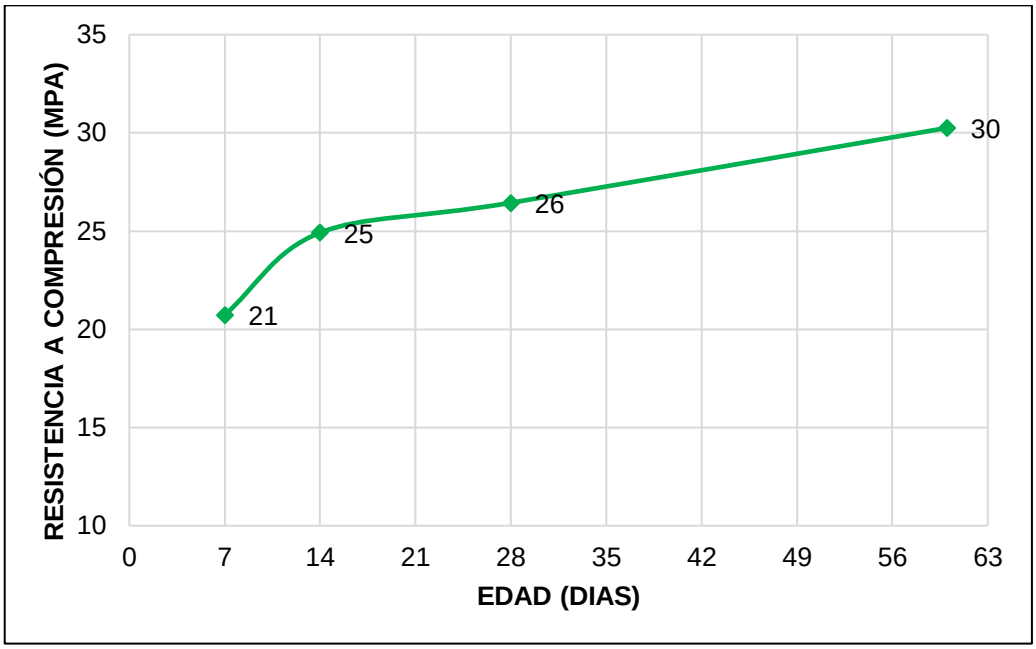
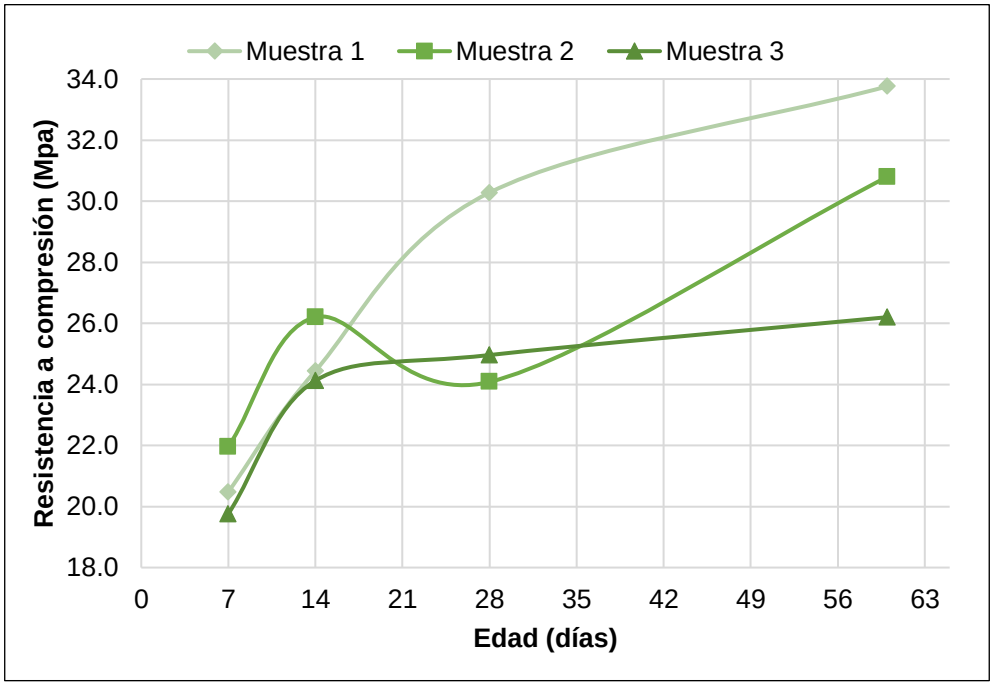


Gráfico 10 - Resistencia a la compresión de los morteros con adición de ceniza (4%)



Fuente: Autores

6.1.6 Comportamiento mecánico de mortero con adición de ceniza de guadua (+5%). La sexta serie de ensayos realizados fueron en los especímenes de mortero hidráulico con adición de ceniza de guadua del 5 % con relación al peso del cemento. Se elaboraron 12 muestras de morteros en total, 3 muestras para fallar en cada edad o tiempo definido (7, 14, 28 y 60 días). A continuación, se presentan las diferentes tablas y gráficos realizados con los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio.

La tabla 16 representa los valores de las fuerzas soportadas en los ensayos de laboratorio realizados en los especímenes de mortero con adición de ceniza de guadua en una concentración del 5 % respecto al peso del cemento.

Tabla 16 - Fuerzas de compresión (KN) soportadas por el mortero con adición de ceniza (+5%)

Mortero con 5% ceniza		
Días de curado	**Fuerza (KN)**	***Promedio***
7	40.8	38.97
	36.8	
	39.3	
14	62.3	56.67
	50.7	
	57	
28	57	59.17
	64.2	
	56.3	
60	81.3	76.17
	85.1	
	62.1	

Fuente: Autores

Por otro lado, en la tabla 17 se encuentran los valores en términos de esfuerzo (Mpa) soportados por los especímenes de mortero con adición del 5% de ceniza de guadua, calculados con los valores y método anteriormente expuestos.

Tabla 17 - Resistencia a la compresión de los morteros con adición de ceniza (+5%)

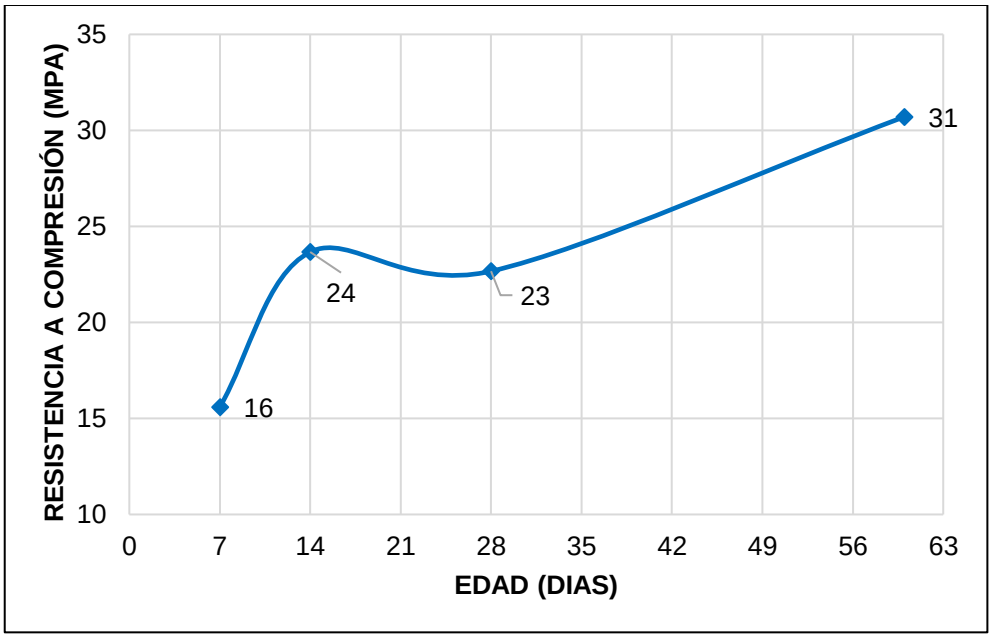
Mortero con 5% Ceniza			
Días de curado	**Fuerza (kN)**	**Esfuerzo (Mpa)**	***Promedio Mpa***
7	40,8	16,3	15,6
	36,8	14,7	
	39,3	15,7	
14	57	22,8	23,7
	64,2	25,7	
	56,3	22,5	
28	62,3	24,9	22,7
	50,7	20,3	
	57	22,8	
60	81,3	32,5	30,7
	86,6	34,6	
	62,4	25,0	

Fuente: Autores

Por otra parte, el gráfico 11 representa el comportamiento mecánico a compresión presentado por las muestras de morteros con adición de 5 % de ceniza de guadua falladas en el laboratorio. El gráfico representa la Resistencia a la compresión (Mpa) V.S La edad (días) de las muestras. En el comportamiento presentado por las muestras, se evidencia un comportamiento normal, creciente lineal, lo cual indica que la elaboración de las mezclas, el proceso de fraguado y curado se dieron en óptimas condiciones, se fabricó un mortero patrón de alta resistencia (Según la clasificación encontrada en el cuadro 1). En comparación con el comportamiento presentado por los especímenes de mortero patrón, se analiza que el mortero con adición de ceniza de guadua del 5% no presentó un mejor comportamiento mecánico en sus primeras edades. La única edad donde presentó un mejor comportamiento mecánico que el patrón fue a los 60 días de curado. Por otro lado, se analiza que, aunque tuvo comportamiento lineal ascendente y mayor en la última edad del mortero patrón, estos especímenes de concreto no obtuvieron una resistencia mayor a los especímenes con adición de ceniza de guadua al 3% el cual ha presentado hasta ahora el mejor comportamiento. Con estos resultados empezamos a formular diferentes hipótesis como, por ejemplo, ¿A partir de este porcentaje de adición de ceniza a mezcla de mortero irá decreciendo la resistencia

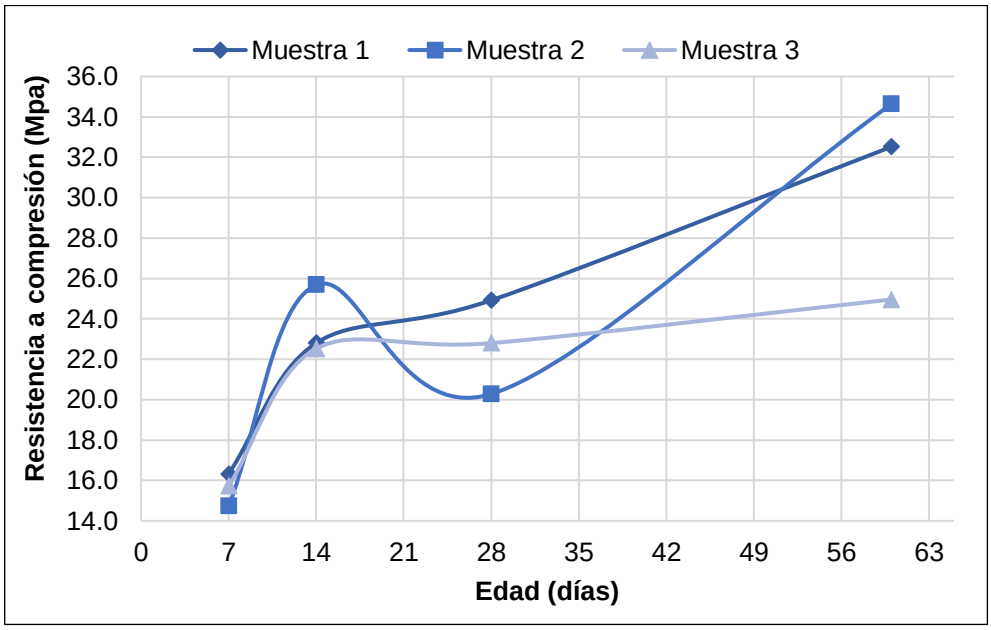
a la compresión? ¿Es posible afirmar a partir de este porcentaje que a mayor porcentaje de ceniza adicionada menor es su resistencia a la compresión?

Gráfico 11 – Resistencia promedio a la compresión de los morteros con adición de ceniza (5%)



Fuente: Autores

Gráfico 12 - Resistencia a la compresión de los morteros con adición de ceniza (5%)



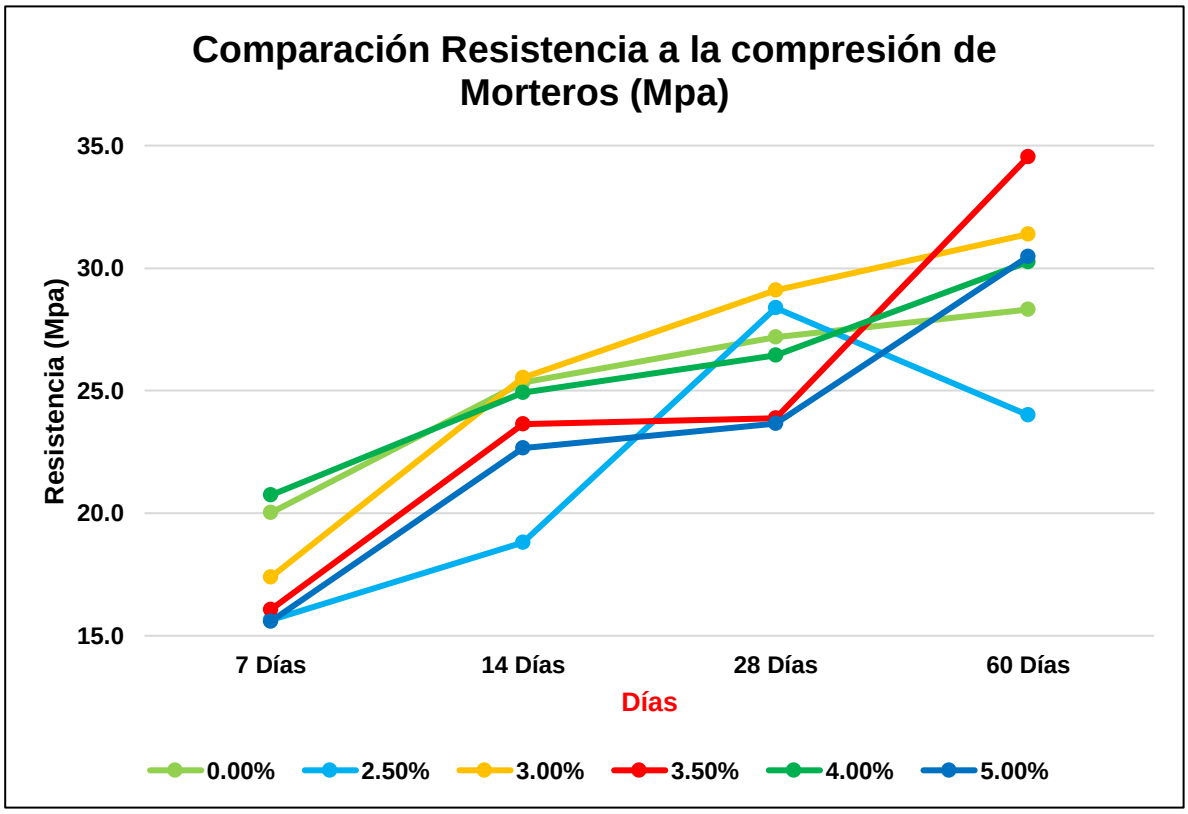
Fuente: Autores

6.1.7 Análisis comparativo de los comportamientos mecánicos de los morteros

Tabla 18 - Resultados finales de Resistencia a la compresión de los especímenes de mortero

Muestra	Resistencia a Compresión (Mpa)			
	7 Días	14 Días	28 Días	60 Días
0,0%	20,0	27,2	25,3	28,3
2,5%	15,6	18,8	28,4	24,0
3,0%	17,4	25,5	29,1	31,4
3,5%	16,1	23,6	23,9	34,5
4,0%	20,7	24,9	26,4	30,3
5,0%	15,6	23,7	22,7	30,7

Gráfico 13 - Comparación Resistencia a la Compresión de morteros



Fuente: Autores

Después de haber realizado los diferentes ensayos de laboratorio para todos los diferentes especímenes de mortero, se puede obtener un gráfico como el número 13, donde se vean reflejados todos los comportamientos obtenidos por cada tipo de mortero en cada edad de curado definida. Del gráfico 7 y tabla 18 se pueden obtener los siguientes análisis:

- Para el mortero patrón, se pudo observar que obtuvo su mayor resistencia a los 60 días de curado.

- El espécimen con 2.5% de ceniza de guadua obtuvo su mayor resistencia a la compresión a los 28 días de curado, superando de esta manera la resistencia del mortero patrón en esta edad.

- El mortero con adición del 3% de ceniza de guadua obtuvo su mejor resistencia a los 60 días de curado, superando por mucho la resistencia del mortero patrón, 31.4 Mpa vs 28.3 Mpa, respectivamente. Se pudo observar de igual manera, que a los 28 días de curado el espécimen superó también la resistencia del mortero patrón.

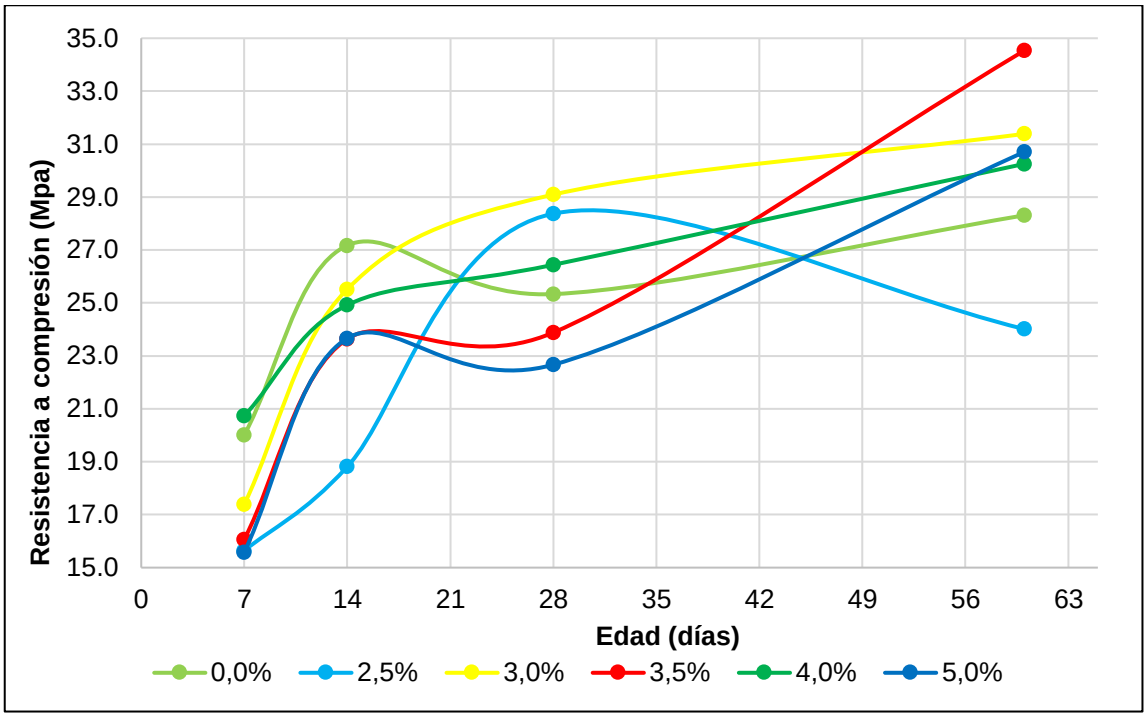
- El espécimen con 3.5% de adición de ceniza de guadua obtuvo la mejor resistencia de todos los especímenes a los 60 días de curado, 35 Mpa, superando al mortero patrón y el de 3.5%. Sin embargo, se observa que en los otros días de curado este espécimen obtuvo resistencias por debajo de las del mortero patrón y del mortero con 3.5% igualmente.

- El mortero con adición de ceniza de 4% supero la resistencia del mortero patrón a los 7 y 60 días de curado. Sin embargo, a los 14 y 28 días, la diferencia entre las resistencias del patrón con el que contiene la adición de ceniza de guadua no es mucha.

- El espécimen con 5% de ceniza de guadua obtuvo su mejor resistencia a los 60 días de curado (30.5 Mpa), superando al espécimen patrón. Sin embargo, la diferencia no es mucha y se observa que, en los demás días de curado, su resistencia fue por debajo de la del patrón.

Otra manera de poder analizar y visualizar los resultados y el comportamiento de las resistencias obtenidas en los ensayos de laboratorio son como se presentan en el gráfico 8.

Gráfico 14 - Comparación Resistencia a la compresión de Morteros (Mpa)



Fuente: Autores

El gráfico número catorce muestra igualmente los tipos de comportamientos que tuvieron las muestras, algunos comportamientos casi lineales, otros muy dispersos pero ascendientes de igual manera y otro con cambio en el sentido de la pendiente en el último período de curado. Del gráfico 8 se pueden realizar los siguientes análisis:

- Se pudo observar que los especímenes con adición del 3%, 3.5%, 4% y 5% superaron la resistencia del mortero patrón a los 60 días de curado, sin embargo, el espécimen con adición del 3.5% de ceniza de guadua y a los 60 días de curado superó a los demás especímenes en esfuerzo. No obstante, el espécimen que con 3% de adición de ceniza de guadua superó a los demás especímenes en las primeras tres edades de curado.
- Se observó que el espécimen con 2.5% a los 7, 14 y 60 días de curado fue el que obtuvo la resistencia más baja de todos los especímenes, lo cual nos indica que la ceniza de guadua en este porcentaje de adición presenta una relación directamente proporcional a la resistencia a la compresión. Una adición menor al 3% de ceniza de guadua a la mezcla de mortero, representa una reducción

igualmente en la resistencia a la compresión.

- Según los resultados obtenidos, el comportamiento lineal ascendente y la poca varianza entre resultados que tuvieron los especímenes con 3% y 3.5% de adición de ceniza de guadua, se podría decir que el rango óptimo de adición de ceniza a las mezclas para que la resistencia a la compresión realmente aumente en relación las mezclas patrón o de referencia, son los valores establecidos entre el 3 y 3.5 %, rango que podemos utilizar en la dosificación de ceniza de guadua para otro tipo de ensayos e investigaciones.
- Por lo anterior, se utilizaron los porcentajes de adición del 3.3% y 3.5% para la elaboración de los especímenes de concreto.

6.2 RESULTADOS DE ESPECÍMENES DE CONCRETO

Para la evaluación del comportamiento mecánico presentado por los especímenes de concreto, se realizaron los ensayos a compresión de acuerdo con la normatividad INV E – 410, que fue utilizada como referencia para la elaboración de los ensayos de resistencia a la compresión de los concretos, tanto como patrón como con adición de ceniza de guadua.

Imagen 12 - Falla a compresión de espécimen de concreto

Fuente: Autores

En las pruebas a compresión para los concretos, se hallaron inicialmente las fuerzas que soportaron cada una de las muestras debido a que la máquina para

ensayos de compresión usada en el laboratorio de la Universidad arrojó los resultados en Kilo Newton (KN).

En cada fecha de día de fallado se pusieron a prueba 3 especímenes de concretos con las mismas características, esto con la finalidad de no sesgar los resultados a una sola muestra, sino tener mayor nivel de confiabilidad al testear 3 de los mismos. Al fallar las tres muestras de concretos, se obtuvieron tres fuerzas diferentes en cada ensayo, con valores muy cercanos entre ellos lo cual indica que la elaboración de las muestras estuvo bien ejecutada (varianza muy mínima). Al obtener las tres fuerzas, se calculaba un promedio entre ellas y se fijaba el dato de una sola fuerza para un solo tipo de concreto con una edad específica.

Con el dato anteriormente analizado y calculado, se debió calcular el esfuerzo soportado por los cilindros (Resistencia), por medio del uso de datos como la fuerza arrojada por el equipo (fuerza promediada) y el área de contacto de los cilindros, la cual era de 100 π mm^2, para poder calcular matemáticamente la resistencia. La ecuación utilizada para hallar el esfuerzo de cada espécimen de concreto fue la siguiente:

$$\mathbf{Esfuerzo} = \frac{\mathrm{F(KN)}}{\mathrm{A(mm^2)}} = Mpa$$

Donde:

- **F:** Valor de la fuerza (promediado) dado en el ensayo de la máquina (KN)
- **A:** Área de contacto del espécimen (cilindro) dada en mm^2

A continuación, se mostrarán y analizarán las características mecánicas y resultados de los concretos fallados con cada uno de los porcentajes de adición en los diferentes tiempos de fallado ejecutados.

6.2.1 Comportamiento mecánico de concreto patrón. A causa de que en toda investigación científica de tipo experimental se debe tener una referencia o patrón de medida de alguna magnitud ya conocida y con valores previamente establecidos para así evaluar la efectividad o ineficacia de las muestras alternas o innovadoras en estudio, se elaboraron 16 muestras de concretos sin adición de ceniza de guadua para tomar estos valores como referencia central para evaluar la efectividad del aditivo, los cuales iban a ser fallados a 7, 14, 28 y 60 días (3 por cada edad de curado). A continuación, se presentan las diferentes tablas y gráficos realizados con los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio.
La tabla 19 representa los valores de las fuerzas soportadas en los ensayos de laboratorio realizados en los especímenes de concreto patrón o sin adición de ceniza de guadua.

Tabla 19 - Fuerzas de compresión (KN) soportadas por el concreto patrón

Concreto patrón		
Días de curado	**Fuerza (KN)**	**Promedio**
7	112.46	111.1
	110.8	
	109.7	
	111.5	
14	15'.4	149.9
	152.4	
	149.3	
	147.9	
28	180.2	173.175
	181.5	
	160.2	
	170.8	
60	175.8	182.4
	190.2	
	170.9	
	192.6	

Fuente: Autores

Por otro lado, en la tabla 20 se encuentran los valores en términos de esfuerzo (Mpa y PSI) soportados por los especímenes de concreto calculados con los valores y método anteriormente expuestos.

Tabla 20 - Resistencia a la compresión de los concretos patrones

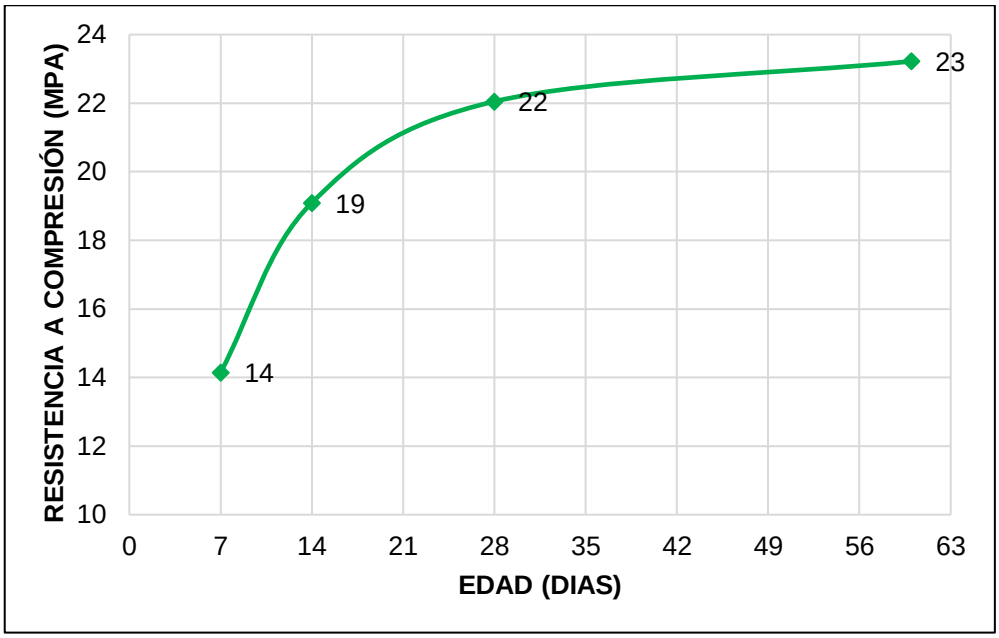
Concreto patrón			
Días de curado	**Fuerza (kN)**	**Esfuerzo (Mpa)**	***Promedio Mpa***
7	112,5	14,3	14,1
	110,8	14,1	
	109,7	14,0	
	111,5	14,2	
14	150,4	19,1	19,1
	152,3	19,4	
	149,3	19,0	
	147,9	18,8	
28	180,2	22,9	22,0
	181,5	23,1	
	160,2	20,4	
	170,8	21,7	
60	175,8	22,4	23,2
	190,2	24,2	
	170,9	21,8	
	192,6	24,5	

Fuente: Autores

Siguiendo con el análisis de los especímenes patrón, el gráfico 15 representa el comportamiento mecánico a compresión presentado por las muestras de concreto patrón falladas en el laboratorio.

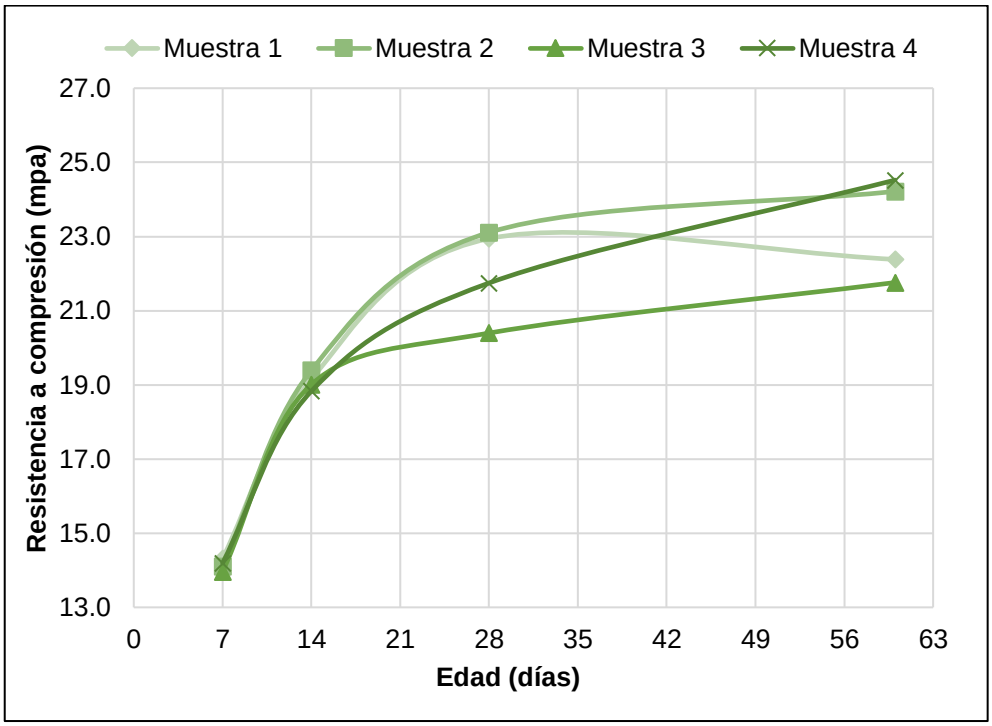
El gráfico 15 representa la Resistencia a compresión (Mpa) V.S. La edad (días de curado) de las muestras. En el comportamiento presentado por las muestras, es evidente un comportamiento normal, creciente lineal, lo cual indica que la elaboración de las mezclas, el proceso de fraguado y curado se dieron en óptimas condiciones.

Gráfico 15 – Resistencia promedio a compresión de concretos patrones



Fuente: Autores

Gráfico 16 - Resistencia a compresión de muestras de concretos patrones



Fuente: Autores

6.2.2 Comportamiento mecánico de concreto con adición de ceniza de guadua (+3.3%). La segunda serie de ensayos realizados fueron en los especímenes de concreto hidráulico con adición de ceniza de guadua del 3.3% con relación al peso del cemento. Se elaboraron 16 muestras de concretos en total, 4 muestras para fallar en cada edad o tiempo definido (7, 14, 28 y 60 días). A continuación, se presentan las diferentes tablas y gráficos realizados con los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio.

La tabla 21 representa los valores de las fuerzas soportadas en los ensayos de laboratorio realizados en los especímenes de concreto con adición de ceniza de guadua en una concentración del 3.3% respecto al peso del cemento.

Tabla 21 - Fuerzas de compresión (KN) soportadas por el concreto con adición de ceniza (+3.3%)

Concreto 3,3% ceniza		
Días de curado	**Fuerza (kN)**	***Promedio***
7	125.35	121.89
	121.8	
	120.36	
	120.05	
14	128.48	123.26
	126.38	
	114.91	
	123.8	
28	178.04	182.79
	177.73	
	192.35	
	183.03	
60	200.45	203.53
	201.57	
	202.79	
	209.32	

Fuente: Autores

Por otro lado, en la tabla 22 se encuentran los valores en términos de esfuerzo (Mpa y PSI) soportados por los especímenes de concreto con adición del 3.3% de ceniza de guadua, calculados con los valores y método anteriormente mencionado.

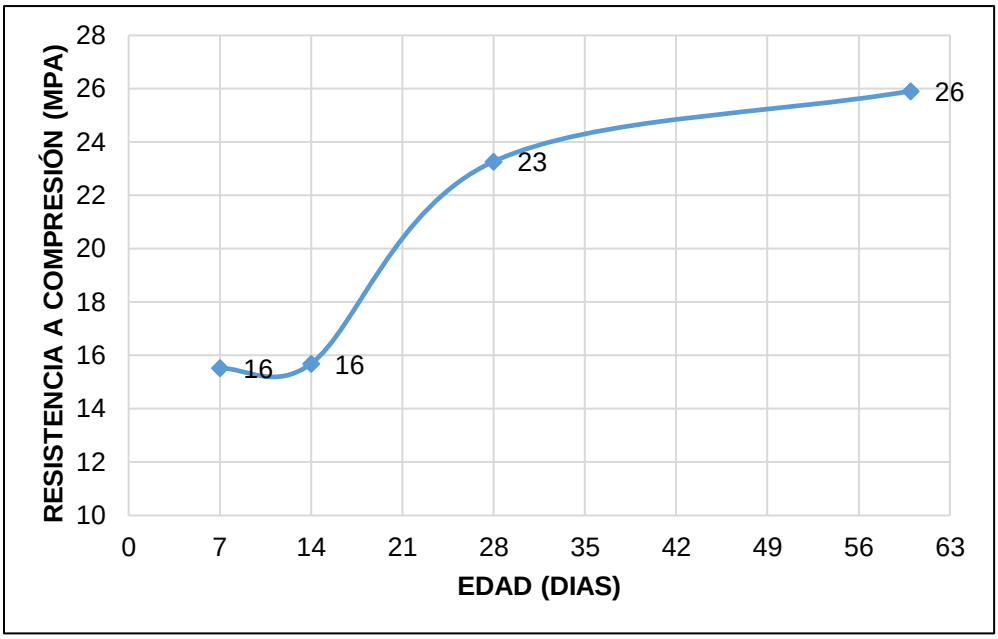
Tabla 22 - Resistencia a la compresión de los concretos con adición de ceniza (+3.3%)

Concreto con 3,3% de Ceniza			
Días de curado	**Fuerza (kN)**	**Esfuerzo (Mpa)**	***Promedio Mpa***
7	125,35	16,0	15,5
	121,8	15,5	
	120,36	15,3	
	120,05	15,3	
14	128,48	16,4	15,7
	126,38	16,1	
	114,91	14,6	
	123,8	15,8	
28	178,04	22,7	23,3
	177,73	22,6	
	192,35	24,5	
	183,03	23,3	
60	200,45	25,5	25,9
	201,57	25,7	
	202,79	25,8	
	209,32	26,7	

Fuente: Autores

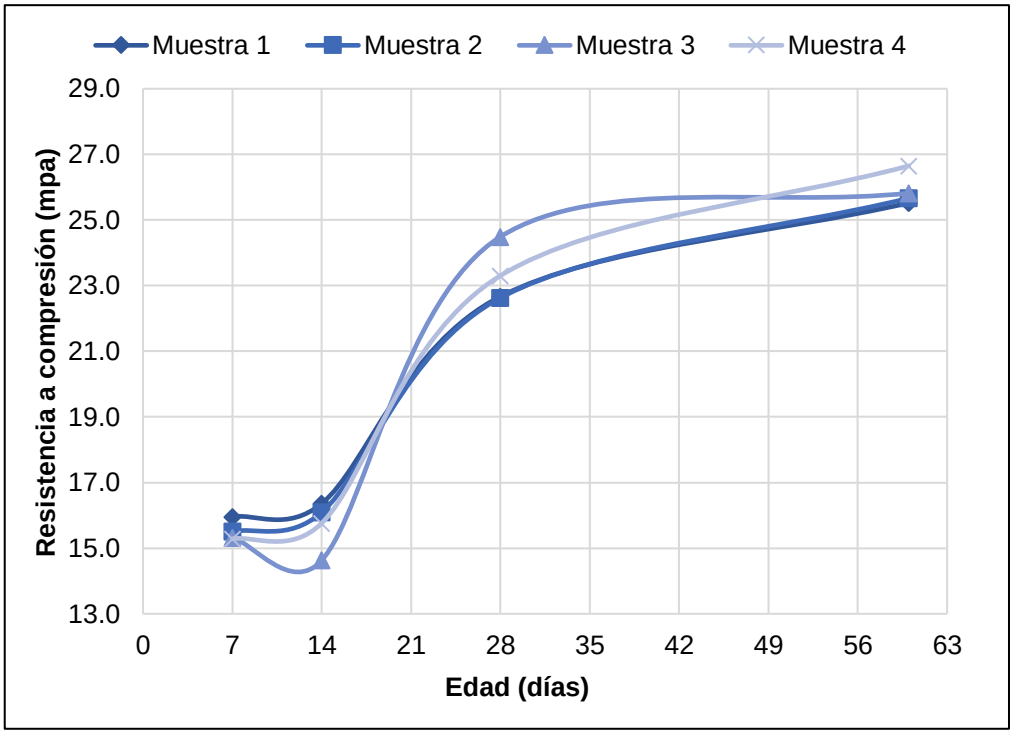
Por otra parte, el gráfico 17 representa el comportamiento mecánico a compresión presentado por las muestras de concreto con adición del 3.3% de ceniza de guadua falladas en el laboratorio. El gráfico representa la Resistencia a la compresión (Mpa) V.S. La edad (días de curado) de las muestras. En el comportamiento presentado por las muestras, se evidencia que la resistencia a los 7 días y a los 14 días de curado es la misma, sin embargo, la muestra a los 28 días de curado superó las resistencias anteriores. Aunque los procesos de elaboración de las mezclas, el proceso de fraguado y curado se dieron en óptimas condiciones, los especímenes con este porcentaje de adición de ceniza no mostraron mayor resistencia que al del espécimen patrón.

Gráfico 17 – Resistencia promedio a compresión de los concretos con adición de ceniza (+3.3%)



Fuente: Autores

Gráfico 18 - Resistencia a compresión de las muestras de concreto con adición de ceniza (+3.3%)



Fuente: Autores

6.2.3 Comportamiento mecánico de concreto con adición de ceniza de guadua (+3.5%). La tercera y última serie de ensayos realizados fueron en los especímenes de concreto hidráulico con adición de ceniza de guadua del 3.5% en relación con el peso del cemento. Se elaboraron 16 muestras en total, 4 muestras para fallar en cada edad o tiempo definido (7, 14, 28 y 60 días). A continuación, se presentan las diferentes tablas y graficas realizadas con los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio. Es importante tener en cuenta que hoy en día, los especímenes con edad de 60 días no han sido fallados.

La tabla 23 representa los valores de las fuerzas soportadas en los ensayos de laboratorio realizados en los especímenes de concreto con adición de ceniza de guadua en una concentración del 3.5% respecto al peso del cemento.

Tabla 23 - Fuerzas de compresión (KN) soportadas por el concreto con adición de ceniza (+3.5%)

Concreto 3,5% ceniza		
Días de curado	**Fuerza (KN)**	***Promedio***
7	160.59	154.27
	157.68	
	150.38	
	148.43	
14	154.21	145.22
	125.7	
	155.75	
	153.36	
28	169	171.20
	176	
	168.45	
	171.34	
60	191.85	180.66
	164.41	
	173.92	
	192.45	

Fuente: Autores

Por otro lado, en la tabla 24 se encuentran los valores en términos de esfuerzo (Mpa y PSI) soportados por los especímenes de concreto con adición del 3.5% de ceniza de guadua, calculados con los valores y método anteriormente mencionados.

Tabla 24 - Resistencia a la compresión de los concretos con adición de ceniza (+3.5%)

Concreto con 3,5% de Ceniza			
Días de curado	**Fuerza (kN)**	**Esfuerzo (Mpa)**	***Promedio Mpa***
7	160,6	20,4	19,6
	157,7	20,1	
	150,4	19,1	
	148,4	18,9	
14	154,2	19,6	18,7
	125,7	16,0	
	155,8	19,8	
	153,4	19,5	
28	169,0	21,5	21,8
	176,0	22,4	
	168,5	21,4	
	171,3	21,8	
60	191,9	24,4	23,0
	164,4	20,9	
	173,9	22,1	
	192,5	24,5	

Fuente: Autores

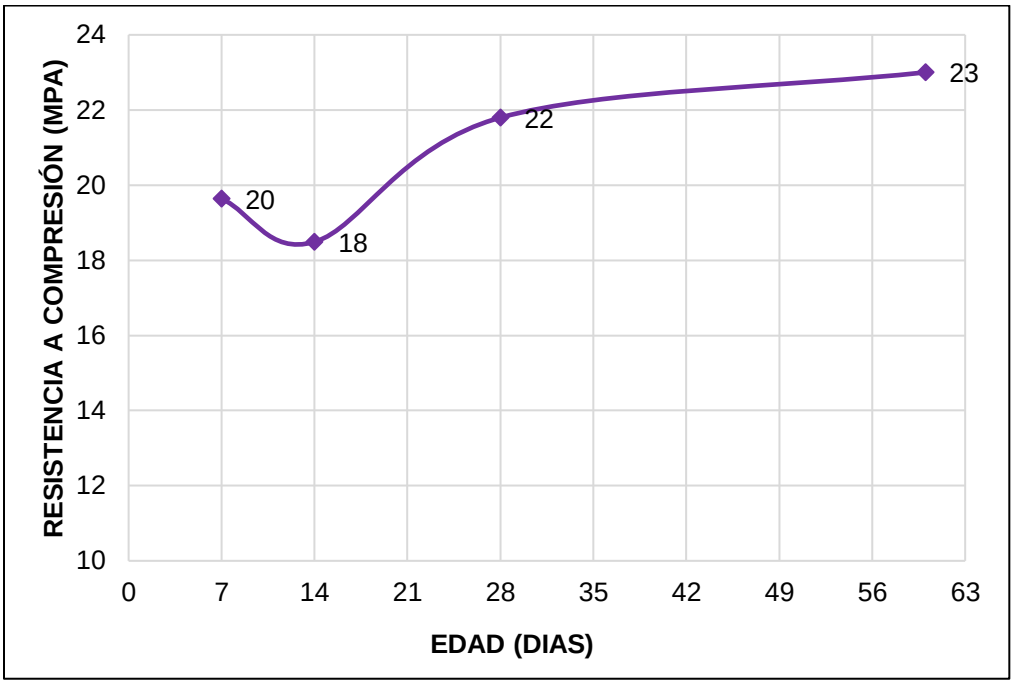
Por otra parte, el gráfico 19 representa el comportamiento mecánico a compresión presentado por las muestras de concreto con adición del 3.5% de ceniza de guadua falladas en el laboratorio.

El gráfico representa la Resistencia a la compresión (Mpa) V.S. La edad (días de curado) de las muestras. En el comportamiento presentado por las muestras, se evidencia hasta el momento un comportamiento un poco anormal, ya que se observa que el espécimen a los 14 días de curado redujo su resistencia con respecto al espécimen con edad de 7 días, para posteriormente volver a incrementar linealmente su resistencia hasta los 60 días de edad.

En comparación con el comportamiento presentado por los especímenes de concreto patrón, se analiza que el concreto con adición de ceniza de guadua del 3.5% presentó un mejor comportamiento mecánico a la compresión a los 7 días de curado con respecto al concreto patrón en esta misma edad. No obstante, las resistencias presentadas en las tres edades posteriores fueron menores a las que presentaron los especímenes sin adición de ceniza y con adición de 3.3%.

Según los dos porcentajes adicionados, se podría concluir que adicionar ceniza de guadua a los concretos es viable y útil para aumentar su resistencia, pero en cantidades pequeñas, porcentajes de adición menores al 3.5%.

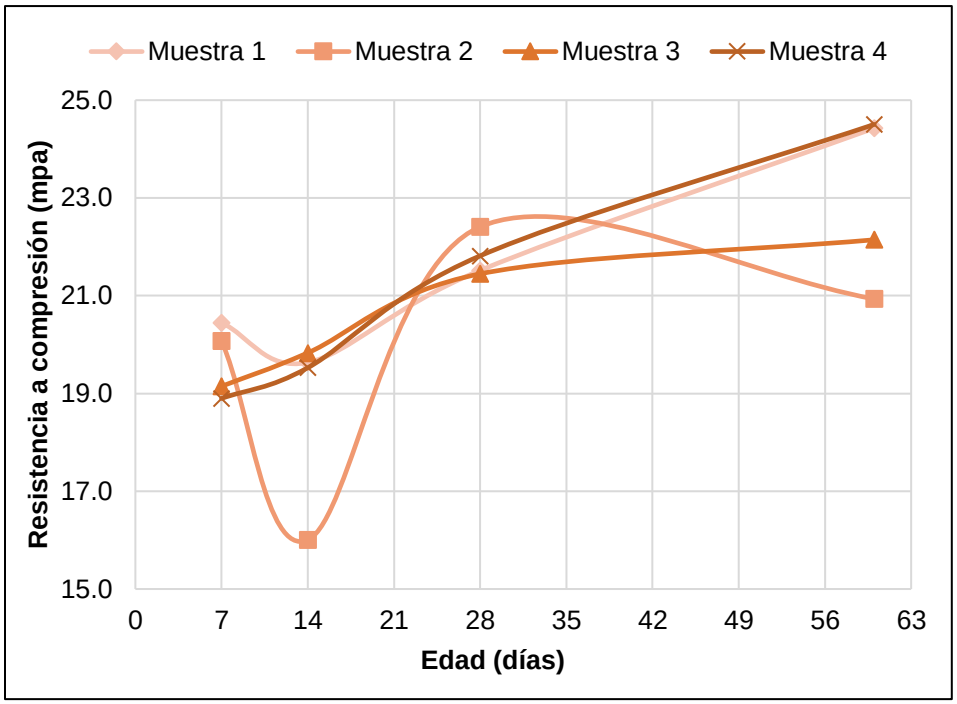
Gráfico 19 - Resistencia promedio a compresión de los concretos con adición de ceniza (+3.5%)



Fuente: Autores

Por otro lado, en el gráfico 20 se presenta el comportamiento a compresión de todas las muestras de concretos con adición de ceniza de guadua al 3,5% respecto al peso del cemento.

Gráfico 20 - Resistencia a compresión de las muestras de concreto con adición de ceniza (+3.5%)



Fuente: Autores

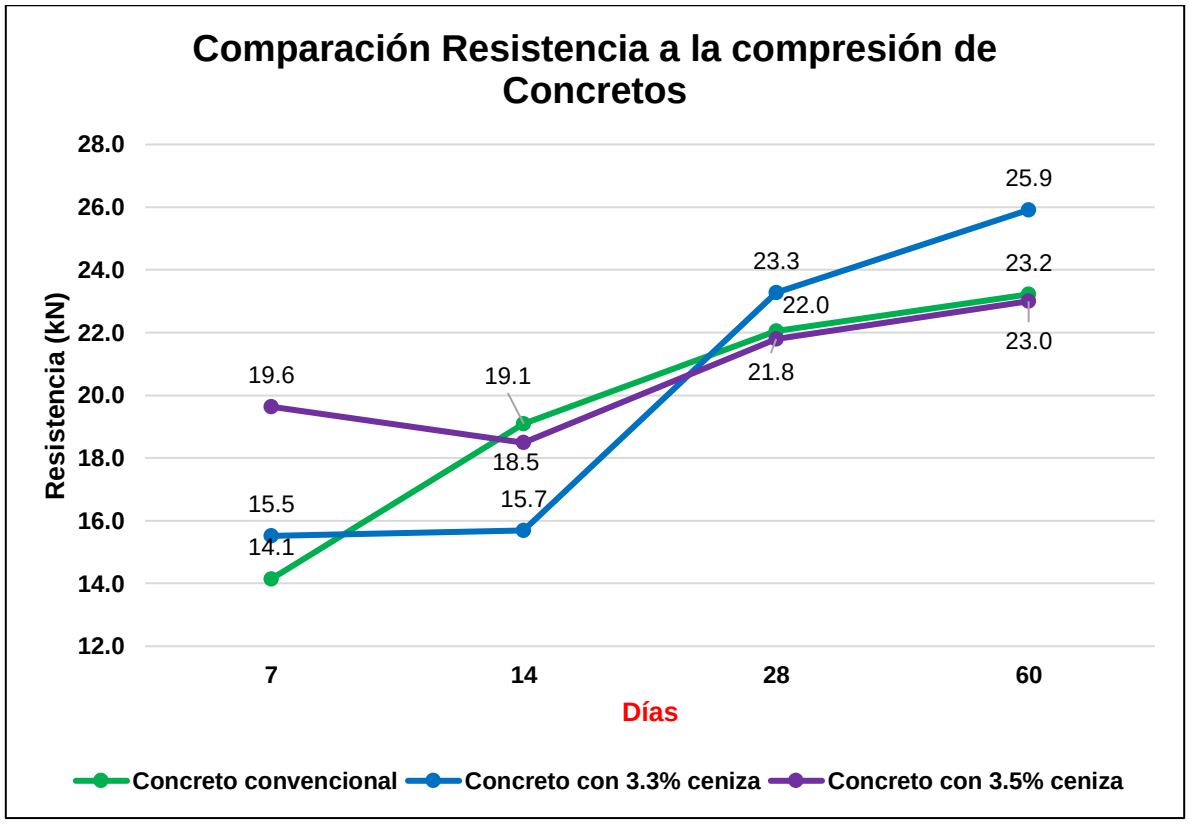
6.2.4 Análisis comparativo de los comportamientos mecánicos de los concretos

Tabla 25 - Resultados finales de Resistencia a la compresión de los especímenes de concreto

Muestra	Resistencia a Compresión (Mpa)			
	7 Días	14 Días	28 Días	60 Días
0.00%	14.1	19.1	22.0	23.2
3.30%	15.5	15.7	23.3	25.9
3.50%	19.6	18.5	21.8	23.0

Fuente: Autores

Gráfico 21 - Comparación Resistencia a la Compresión de concretos



Fuente: Autores

Finalmente, se elaboró una gráfica para la comparación con cada uno de los porcentajes de ceniza de guadua como aditivo en el concreto respecto a la carga máxima y los días de curado. A continuación, se presentan las diferentes tablas y gráficos realizados con todos los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio.

El gráfico 12 representa el comportamiento mecánico a compresión presentado por todas las muestras de concreto falladas en el laboratorio. El gráfico representa la Resistencia a la compresión (Mpa) V.S. La edad (días de curado) de las muestras. En el comportamiento presentado por las muestras, se evidencia que:

- Todos los especímenes de concretos fabricados cumplieron con el requisito mínimo de la norma que nos indica que un concreto de buena calidad debe tener al menos 3000 psi (20.7 Mpa) de resistencia a sus 28 días.

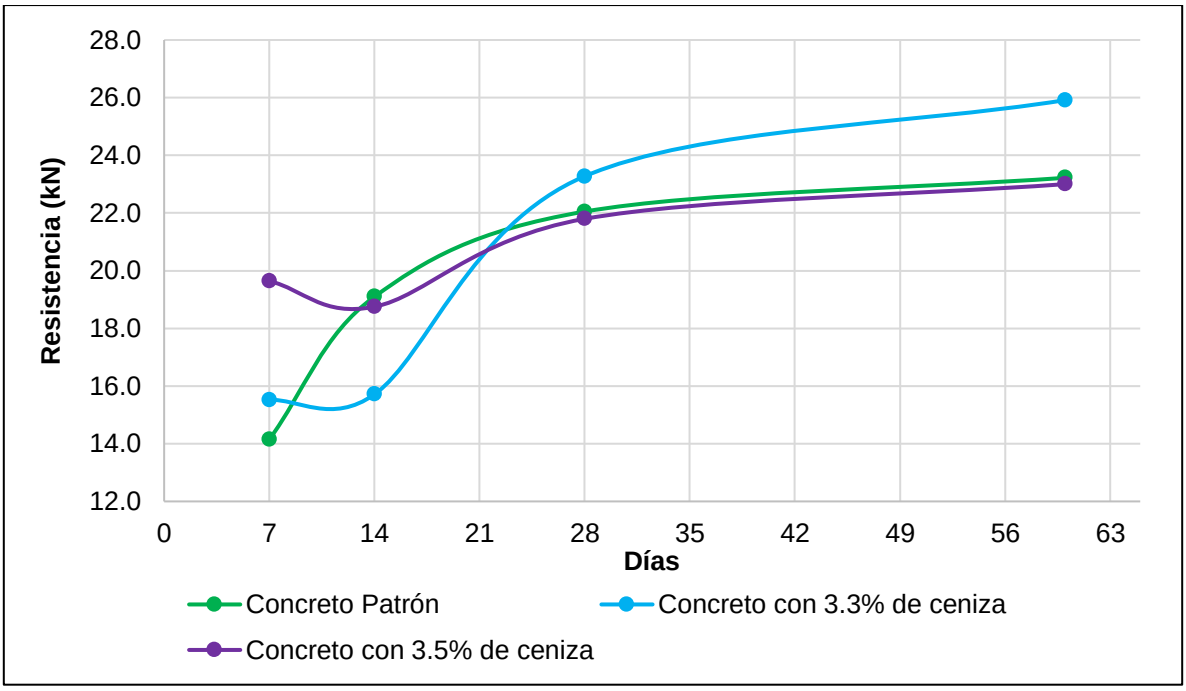
- El espécimen con adición del 3.5% de ceniza de guadua, a los 7 días de curado, obtuvo una la mayor resistencia de todas sus pruebas en comparación con las demás probetas. En sus otras edades obtuvo resistencias por debajo de los concretos patrones y con adición del 3.3 % de ceniza.

- El espécimen con 3.3% de adición de ceniza de guadua obtuvo el mejor comportamiento mecánico a la compresión en comparación con los demás especímenes analizados. El concreto con 3.3% obtuvo una mayor resistencia con respecto al espécimen patrón y con adición del 3.5 % a los 28 y 60 días de curado.

- Por otro lado, se observa de igual manera un comportamiento anormal debido a que los especímenes con adición del 3.3% y 3.5% a los 14 días de curado tienen ambos concretos, una disminución en su resistencia a la compresión respecto a las muestras patrón.

Otra manera de poder analizar y visualizar los resultados y el comportamiento de las resistencias obtenidas en los ensayos de laboratorio son como se presentan en el gráfico 22.

Gráfico 22 - Comparación Resistencia a la compresión de Concretos (Mpa)



Fuente: Autores

6.3 ENSAYO DE DURABILIDAD

El ensayo de durabilidad es un ensayo en el que se le aplica fenolftaleína al mortero y concreto como reactivo, para determinar si la muestra en estudio está o no carbonatado, ya que este componente en el concreto puede causar problemas de oxidación en las armaduras o refuerzos de hierro utilizados, como la formación de grietas en el concreto que hace que disminuya la vida útil de la estructura.
La fenolftaleína se clasifica de la siguiente manera:

- pH 0 (Color: naranja): Condición fuertemente acida.
- pH 0-6 (Color: incoloro): Condición ácida o neutra.
- pH 6-7 (Color: incoloro): Condición básica.
- pH 7-14 (Color: rosa): Fuertemente básica.

Para los concretos y morteros, se clasifica como sano cuando su pH ronda entre los 12-14, lo que quiere decir que adopta un color rosa.

Para la realización de este ensayo, se utilizó uno de los especímenes de concreto después de fallado, buscando que después de fallar haya quedado lateralmente abierto, ya que así es más fácil aplicar el reactivo en toda la sección transversal del cilindro de concreto. Posterior a esto, se procede a aplicar el reactivo químico en el concreto con un gotero como se observa en la imagen 11.

Imagen 13 - Fenolftaleína en espécimen de concreto (Perfil)

Fuente: Autores

Imagen 14 - Fenolftaleína en espécimen de concreto (Planta)

Fuente: Autores

Después de aplicar el reactivo, se pudo observar que el concreto adquirió un tono rosáceo después de aplicar la fenolftaleína, lo que significa que la muestra se clasifica como un concreto sano, ya que no presenta carbonatación, ni acidez, por lo que estará protegido de la oxidación que podrían llegar a presentar los aceros.

7. CONCLUSIONES

En la actualidad Colombia no cuenta con una norma que haga mención de la ceniza de guadua como aditivo en morteros o concretos, pese a esto y a la faltante investigativa, en la realización de este proyecto se empleó el aditivo anteriormente mencionado en la fabricación de morteros y concretos, utilizando dosificaciones definidas por el grupo de trabajo, arrojando resultados positivos ya que se evidenció que la adición de la ceniza de guadua mejora el comportamiento y la funcionalidad de los morteros y concretos.

Mediante la determinación de los porcentajes de adición de ceniza de guadua inicialmente propuestos, se pudo establecer que los porcentajes óptimos de adición de ceniza para el aumento de la resistencia de los morteros y concretos a la compresión, se encuentra en un rango del 3% al 3.5%, esto debido a que los mejores resultados obtenidos se encontraron con estos porcentajes de adición.

Las características físicas y mecánicas de los morteros, siguiendo las metodologías descritas en la normatividad NTC 220 (sexta actualización), arrojaron resultados positivos en cuanto al peso y resistencia a la compresión. De igual manera, las características de los concretos siguiendo la normatividad INVE – 410 – 13, mostraron una mejoría en cuanto a su resistencia a la compresión.

Se concluyó a través realización y análisis de los ensayos de laboratorio, que la mezcla de mortero con adición de 3,5% de ceniza de guadua obtuvo una resistencia mayor a la del mortero patrón, siendo la máxima resistencia del mortero patrón 28 Mpa y 35 Mpa para la mezcla con 3,5% de adición de ceniza de guadua.

Los ensayos a la compresión para las muestras de concretos con adición de ceniza de guadua arrojaron que, los especímenes con adición de ceniza de un 3.3% presentaron la mejor resistencia a la compresión en las tres edades o tiempos de curado, siendo su resistencia un 12% mayor, respecto a la del espécimen patrón.

Con base en los resultados obtenidos se puede concluir de manera general que la adición de ceniza de guadua a las mezclas de mortero y concretos ensayados, es

algo funcional y de gran utilidad para el aumento de la resistencia a la compresión de ambos materiales.

Se determinó mediante la realización del ensayo de durabilidad, que los morteros y concretos fabricados con adición de ceniza de guadua, no presentan indicios de carbonatación y/o estados de acidez, esto debido a que el reactivo utilizado (fenolftaleína) presenta una coloración rosa al ser aplicado a los especímenes en estudio. Por lo tanto, la adición de ceniza de guadua a las mezclas de mortero y concreto, es una opción viable para la utilización de estos materiales junto con la utilización de refuerzos de acero sin miedo a oxidarse y deteriorarse.

Al realizar los ensayos de resistencia a la compresión en las muestras de concreto, se concluye que los resultados fueron similares a los de los morteros ya que, de igual manera, las muestras que tienen aditivo de ceniza de guadua tienen resistencias más altas comparadas con las de los concretos patrones.

8. RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta que, al investigar el estado del arte actual, en Colombia y en el mundo, no hay registros que evidencien investigación sobre la adición de ceniza de guadua, se recomienda continuar con la realización de otros tipos de ensayos mecánicos (tensión) para conocer su comportamiento como aditivo en las mezclas de mortero y concreto.

Se recomienda de igual manera, continuar con ensayos de resistencia a la compresión con un rango más discretizado de porcentajes de adición de ceniza de guadua (entre el 3% y 4%) para encontrar el porcentaje óptimo de adición y así tener resultados más precisos tanto en morteros como en concretos.

Se recomienda realizar los mismos ensayos realizados en la presente investigación, pero utilizando la ceniza de guadua como un material modificante en la mezcla y no como aditivo, reemplazando el porcentaje de ceniza determinado por cemento en la mezcla, esto con el fin de conocer las mismas propiedades mecánicas de las muestras, pero esta vez con utilización de la ceniza como material sustituyente y no como aditivo.

Se recomienda investigar sobre la incidencia del uso del mortero con adición de ceniza de guadua como material de pañete, en la reducción de fenómenos cotidianos como la humedad y resistencia al fuego.

Llevar a cabo ensayos de resistencia a la tensión en muestras de mortero y de concreto ya sea con aditivo de ceniza o con ceniza como reemplazo del cemento.

9. BIBLIOGRAFÍA

Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 .* Obtenido de Título D: http://www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f_ingenieria/pregrado/civil/documentos/NSR-10_Titulo_D.pdf

Calleja, P. D. (1982). MaterConstrucc Revistas. Obtenido de Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja: http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc

Departamento Nacional de Planeacion (DNP). (Septiembre de 2015). Departamento Nacional de Planeacion (DNP). Obtenido de OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE: https://www.ods.gov.co/es/objetivos

Departamento Nacional de Planeacion (DNP). (Septiembre de 2015). Departamento Nacional de Planeacion (DNP). Obtenido de OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE: https://www.ods.gov.co/es/objetivos

Direct, S. (2014). *Science Direct.* Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705814032664

Direct, S. (2022). *Science Direct.* Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666790821003128

Escalante, J. (Abril de 2002). *Geocities.* Obtenido de Materiales alternativos al cemento Pórtland: http://www.geocities.ws/rosenberg_rd/tema2-3-7.pdf

Girón Bermúdez, C. P., & Ibánez, D. A. (2005). *Guadua Acero Vegetal.* Obtenido de http://www.ecohabitar.org/la-guadua-una-maravilla-natural-de-grandes-bondades-y-prometedor-futuro/

Gutiérrez de López, L. (2003). *repositorio.unal.edu.co.* Obtenido de El concreto y otros materiales para la construcción - Capítulo 3: https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9302

IMCYC. (2019). *Clasificación de Concretos Por Su Resistencia.* Obtenido de concreto/historia/resistencia: http://www.imcyc.com/concretohistoria/resistencia.html

INVIAS. (2007). *Norma INV 324-07.* Obtenido de Resistencia a la flexión de morteros de cemento hidráulico: https://docplayer.es/25059850-Resistencia-a-la-flexion-de-morteros-de-cemento-hidraulico-i-n-v-e.html

INVIAS. (2013). *INV E - 402-13.* Obtenido de Sección 400 - CONCRETO HIDRÁULICO : https://www.scribd.com/document/516683424/INV-E-402-13

INVIAS. (2013). *INV E 410-07.* Obtenido de Norma INVIAS : https://www.umv.gov.co/sisgestion2019/Documentos/APOYO/GLAB/GLAB-DE-003_V1_Normas_Invias_Seccion_400-13.pdf

Manizales, U. N. (29 de Abril de 2015). *Fibras de Guadua, útilies para reforzar el Cemento*. Obtenido de UniMedios: http://agenciadenoticias.unal.edu.co/index.php?id=1937&L=2&tx_ttnews%5Btt_news%5D=68166&cHash=cf5769eca56396a1c9fed629a33d5f3e

Norma Técnica Colombiana (NTC). (2000). *NTC 3356.* Obtenido de Mortero premezclado para mampostería: https://www.andimix.co/files/NTC%203356%20Morteros%20premezclados%20para%20Mamposteria.pdf

Norma técnica Colombiana (NTC). (2004). *Norma Técnica Colombiana.* Obtenido de Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm: https://kupdf.net/download/ntc-220-determinacion-de-la-resistencia-de-morteros-de-cemento-hidraulico-usando-cubos-de-50-mm-o-508-mm-de-lado_5b032c61e2b6f5475424a809_pdf

Norma Técnica Colombiana (NTC). (2007). *NTC 77.* Obtenido de Método de ensayo para el análisis por tamiado de los agregados finos y gruesos: https://www.academia.edu/14595154/NTC_77_M%C3%89TODO_DE_ENSAYO_PARA_EL_AN%C3%81LISIS_POR_TAMIZADO_DE_LOS_AGREGADOS_FINOS_Y_GRUESOS

Ortiz, C., Rojas, D., & Triana, A. (10 de Agosto de 2021). *Repositorio UCC.* Obtenido de Comportamiento del mortero y el concreto hidráulicos con adición de ceniza de cascarilla de café: https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/35571

Osorio, J. D. (2013). *360 en Concreto.* Obtenido de RESISTENCIA MECÁNICA DEL CONCRETO Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN: https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/resistencia-mecanica-del-concreto-y-compresion

Salamanca Correa, R. (Diciembre de 2001). *Universidad Militar Nueva Granada - Editorial Neogranadina.* Obtenido de La tecnología de los morteros: https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/view/1353

Salas Delgado, E. (Noviembre de 2006). *Universidad Politécnica de Cataluña.* Obtenido de “Tesis Doctoral, Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia”: https://upcommons.upc.edu/handle/2117/93442?show=full

Sánchez de Guzmán, D. (2001). *Biblioteca Digital UCC.* Obtenido de Tecnología del concreto y del mortero: https://bibliotecadigital.ucc.edu.co/permalink/57UCC_INST/1ugbc55/alma990001147290204416

Unidad de Planeación Minero Energética. (DICIEMBRE de 2015). *UPME.* Obtenido de INFORME EJECUTIVO GENERAL : https://bdigital.upme.gov.co/bitstream/001/1002/7/9%20Upme%20496%20v%203%20Informe%20ejecutivo.pdf

UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA "JOSE SIMEON CAÑAS", UCA . (2018). *Laboratorio de: MATERIALES DE CONSTRUCCION .* Obtenido de ANALISIS DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS POR TAMIZADO EN AGREGADO FINO Y GRUESO Y DETERMINACIÓN DE MATERIAL MÁS FINO QUE EL TAMIZ No. 200 (75 mm) : http://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoAgregados/GRANULOMETRIA.pdf

Walker, C. (5 de Agosto de 2015). *Noticias de Arquitectura*. Obtenido de BambooSteelConcrete Future Cities Lab Materials: https://guaduabambucolombia.com/2015/08/05/bambuguadua-una-alternativa-viable-para-reforzar-el-concreto/