

**ESTUDIO DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL CONCRETO REFORZADO
CON FIBRAS DE GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNT**

**DANIEL FERNANDO BEJARANO VIGOYA
CÓDIGO: 504720**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
MODALIDAD AUXILIAR DE INVESTIGACIÓN
BOGOTÁ
2019**

**ESTUDIO DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL CONCRETO REFORZADO
CON FIBRAS DE GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNT**

**DANIEL FERNANDO BEJARANO VIGOYA
CÓDIGO: 504720**

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Civil**

**Asesora
Olga Lucia Vanegas Alfonso
Ingeniera Líder del semillero SiGesCo**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
MODALIDAD TRABAJO DE AUXILIAR DE INVESTIGACIÓN
BOGOTÁ
2019**



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

NOTA DE ACEPTACIÓN

PRESIDENTE DEL JURADO

JURADO

JURADO

Bogotá, Septiembre, 2019

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	11
1. GENERALIDADES	12
1.1 ANTECEDENTES	12
1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	14
1.2.1 Descripción del problemal.	14
1.2.2 Formulación del problema	14
1.3 OBJETIVOS	14
1.3.1 Objetivo general	14
1.3.2 Objetivos específicos	15
1.3 JUSTIFICACIÓN	15
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES	16
1.5.1 Alcances	16
1.5.2 Limitaciones	16
1.6 MARCO DE REFERENCIA	17
1.6.1 Marco teórico.	17
1.6.1.1 Mortero reforzado con fibras de bambú	17
1.6.1.2 Morteros Reforzados con Fibra	18
1.6.1.3 Hormigón (Concreto) reforzado con fibras de Vidrio (GFRC)	19
1.6.1.4 Hormigón (concreto) reforzado con fibras de acero (SFRC)	22
1.6.1.5 Resistencia a la compresión en Cilindros de Concreto	24
1.6.1.6 Como realizar la prueba de resistencia del concreto	26
1.6.1.7 Resistencia	26
1.6.2 Marco conceptual	27
1.6.2.1 Bambú	27
1.6.2.2 Guadua Angustifolia Kunth	27
1.6.2.3 Uso de la guadua Angustifolia Kunt	29
1.6.2.4 Importancia Ambiental – Guadua Angustifolia Kunt	31
1.6.2.5 Importancia Socio-Cultural - Guadua Angustifolia Kunt.	31
1.6.2.6 Importancia Económica - Guadua Angustifolia Kunt	32
1.6.3 Estado del arte	32
1.6.4 Marco legal	33
1.7 METODOLOGÍA	34
1.7.1 Tipo de investigación	34
1.7.2 Enfoque metodológico.	34
1.8 DISEÑO METODOLÓGICO	34
2. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES	38
2.1 CARACTERIZACIÓN DE LA GUADUA	38
2.1.1 Selección y preparación de la Guadua.	38
2.2.2 Exposición de guadua AK a radiación UVB	41

2.1.2 Características Geométricas de las Fibras de Guadua natural y expuesta a Radiación UVB	43
2.2 CARACTERIZACIÓN DEL CONCRETO	51
2.2.1 Diseño de mezcla de concreto inicial	54
2.2.1 Diseño de mezcla concreto reforzado con fibras de guadua angustifolia Kunth en estado natural y expuesta a radiación UVB	57
3. ANÁLISIS DE DIFERENCIAS DE RESISTENCIA MECÁNICA ENTRE UN CONCRETO TRADICIONAL, Y UN CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE GUADUA EN ESTADO NATURAL Y EXPUESTAS A RADIACIÓN UVB	61
3.1 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CILINDROS DE CONCRETO NORMA I.N.V. E - 410	61
3.2 RESULTADOS ENSAYO A COMPRESIÓN	62
3.3 COMPARACIÓN DE RESISTENCIAS DE LAS CUATRO MUESTRAS	67
3.4 COMPARACIÓN DE RESISTENCIAS DE LAS MUESTRAS DE CONCRETO REFORZADO CON GUADUA EN SUS DOS ESTADOS	69
4. CONCLUSIONES	72
5. RECOMENDACIONES	74
BIBLIOGRAFÍA	75

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Normatividad para el uso de la Guadua en Construcción	33
Tabla 2. Fases de la Investigación	34
Tabla 3. Resultados primer Ensayo	45
Tabla 4. Resultados segundo Ensayo	50
Tabla 5. Caracterización de los Agregados Pétreos Usados para el Diseño de la Mezcla	52
Tabla 6. Análisis granulométrico	53
Tabla 7. Diseño de Mezcla de Concreto Inicial	55
Tabla 8. Concreto Estándar	63
Tabla 9. Concreto con Fibras de Guadua AK en Estado Natural	64
Tabla 10. Concreto con Fibras de Guadua AK expuestas a radiación UVB	66
Tabla 11. Concreto con 50% más de Fibras de Guadua AK en Estado Natural	66
Tabla 12. Comparación de Concreto Reforzado con Fibras de Guadua AK en Estado Natural y Expuestas a Radiación UVB	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Concreto Reforzado con Macro Fibras	21
Figura 2. Concreto Reforzado con Fibras de Acero	22
Figura 3. Guadua Angustifolia Kunt	28
Figura 4. Guadua Angustifolia Kunt	29
Figura 5. Construcciones en Guadua 1	29
Figura 6. Puente en Guadua Jenny Garzón Bogotá D.C Calle 80	30
Figura 7. Nomenclatura Empleada para la Marcación de las Probetas	38
Figura 8. Probeta 007_A_S – II	38
Figura 9. Probeta 013_A_S – II	40
Figura 10. Probeta 025_A_S – II	40
Figura 11. Corte Probetas de Guadua Angustifolia Kunth para Obtención de Fibras	41
Figura 12. Fibras Obtenidas con Ayuda de Bisturí	41
Figura 13. Referencia Lámpara UVB	42
Figura 14. Acondicionamiento y Exposición de la Guadua AK a Radiación UVB	42
Figura 15. Fibras de Guadua AK Después de Ser Expuestas a Radiación UVB por 17 días	43
Figura 16. Diferencia coloración Fibras de guadua expuestas a radiación UVB - y fibras en estado natural	43
Figura 17. Fibras de guadua natural y expuestas a radiación UVB durante 17 días – peso inicial	44
Figura 18. Fibras de Guadua Angustifolia Kunt Natural y Expuesta en el Horno	44
Figura 19. Fibras de Guadua Natural y Expuestas a Radiación UVB Después de Estar 24 Horas en el Horno a 110°C – Peso	45
Figura 20. Fibras de Guadua Angustifolia kunt Saturadas (Durante 24 Horas)	47
Figura 21. Peso guadua angustifolia kunt expuesta a radiación UVB saturada (24 horas en agua)	47
Figura 22. Fibras de Guadua Angustifolia Kunt Natural y Expuesta a Radiación UVB Después de Estar en el Horno 24 Horas	48
Figura 23. Fibras de Guadua AK Natural y Expuestas a Radiación UVB Saturadas Después de Estar 24 Horas en el Horno a 110°C - Peso	48
Figura 24. Alistamiento de Grava y Tamizado Material (Concrescol)	53
Figura 25. Datos Técnicos del Cemento Hidráulico Usado en el Diseño de la Mezcla	54
Figura 26. Alistamiento de Material Según Diseño Establecido	55
Figura 27. Preparación de Cilindros	56
Figura 28. Fundida de Cilindros Concreto Inicial	56
Figura 29. Marcado Cilindros para Fallar a 7-14-28 Días Concreto Inicial	57
Figura 30. Curado de Cilindros Concreto Inicial	57
Figura 31. Alistamiento de Material Según Diseño Establecido	58
Figura 32. Preparación de Cilindros	59
Figura 33. Fundida de Cilindros Concreto Reforzado con Fibras de Guadua AK.	59
Figura 34. Marcado Cilindros para Fallar a 7-14-28 Días Concreto Reforzado	60

Figura 35. Curado de Cilindros Concreto Reforzado	60
Figura 36. Medidas de Muestras de Concreto	61
Figura 37. Toma de Peso de Cilindros de Concreto	62
Figura 38. Compresión de muestras de concreto	62
Figura 39. Resistencia Concreto Estándar 7- 14 – 28 días	63
Figura 40. Resistencia Concreto con Fibras de Guadua AK en Estado Natural 7- 14 – 21 días	64
Figura 41. Resistencia Concreto con Fibras de Guadua AK expuestas a radiación UVB 7- 14 – 28 días	66
Figura 42. Resistencia Concreto Concreto con 50% más de Fibras de Guadua AK en Estado Natural 7- 14 – 28 días	67
Figura 43. Comparación Resistencia de las Cuatro Muestras de Concreto	69
Figura 44. Comparación de Concreto Reforzado con Fibras de Guadua AK en Estado Natural y Expuestas a Radiación UVB	70

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Registro Fotográfico Laboratorios Investigación	68
Anexo B. Memorias del Cálculo	69

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, el concreto ha sido uno de los materiales con mayor evolución, gracias a los avances de la ciencia, tiene variedad de usos, siendo así uno de los materiales de construcción más usado en el mundo de la Ingeniería Civil, ya que, desarrolla gran resistencia a la reacción con el agua, y puede ser moldeado para dar variedad de diseños gracias a su trabajabilidad. Así mismo, con el pasar de los años se han realizado investigaciones y ensayos que han buscado combinar el concreto con diferentes materias primas como vidrio, acero, grava, fibras naturales, entre otros, con el fin de aumentar su resistencia, trabajabilidad, o peso y poder brindar un material más amigable con la Ingeniería y el medio ambiente.

Por otro lado, las fibras se han utilizado como material de construcción desde la antigüedad, materiales como pasto, hilo e incluso, los pelos de caballo, se utilizaron en el mortero, y la paja en ladrillos de barro, considerándose así, como agregados al adobe, cuyo propósito era de evitar la fisuración y mejorar la resistencia a tensión. Su evolución se dio aproximadamente en el año 1900, con la aparición del concreto utilizando fibras de asbesto, surgiendo oficialmente hacia 1950, el concepto de concreto reforzado con fibras convirtiéndose en un tema de interés; viéndose la necesidad de reemplazar el asbesto para mitigar los riesgos de la salud una vez fueron descubiertas sus sustancias tóxicas.

Desde entonces y hasta la actualidad hubo gran interés por el desarrollo del concreto reforzado con fibras de acero, sintéticas o naturales; observándose en los últimos años, que el uso de las fibras como refuerzo de concreto ha tenido un auge importante en los diseños y la producción de la mezcla siendo empleada en la construcción de pisos industriales de alto desempeño, pavimentos rígidos, cubiertas para puentes, concretos lanzados, elementos estructurales entre otros usos; por lo que, los avances tecnológicos para la industria de la construcción han permitido desarrollar fibras de diversos materiales, siendo especialmente resistentes a los álcalis, materiales como polipropileno, polietileno, acero, carbono, entre otros.

Dado lo anterior, en la actualidad una nueva alternativa como material de construcción gracias a sus propiedades físicas de alta resistencia, es la guadua, la cual se utiliza especialmente como material estructural, pero que, sin embargo, se proyecta en nuevos usos, por esta razón en la presente investigación se ha querido analizar el comportamiento del concreto reforzado con fibras de guadua y determinar si la resistencia a la compresión mejora.

Para lo anterior se desarrolló una investigación experimental, tomándose fibras de Guadua Angustifolia Kunth en su estado natural y expuestas a rayos ultravioleta, para añadirlas a una mezcla de concreto evaluando su comportamiento, mediante ensayo de resistencia a la compresión, para de esta manera determinar si la

guadua puede ser usada como material de refuerzo en este material de construcción tan utilizado en el país

1. GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

El sector de la construcción constituye uno de los ejes principales en la economía y el desarrollo de un país, en relación a ello se encuentra el aumento en la utilización de materiales alternativos, dentro del marco de lo que, en la actualidad se denomina “desarrollo sostenible”. La utilización de materiales naturales busca no solo la reducción en costos, sino aumentar la seguridad en cuanto a propiedades y resistencia según el uso. En este sentido, desde los años setenta, el uso de fibras naturales se ha incrementado dentro de la composición para concretos y morteros, por lo que la guadua se ha denominado como material natural en la construcción en alternativas sostenibles.¹

Al respecto, la Sociedad Colombiana del Bambú, indica la existencia de 73 especies de guadua en Colombia, así mismo, ha establecido mediante estudios que, alrededor de 51.000 hectáreas corresponden a la especie *Guadua Angustifolia* Kunth. La Sociedad Colombiana del Bambú junto con la Corporación Autónoma Regional del Quindío y CENICAFE señalan mediante una investigación realizada que la *Guadua Angustifolia* Kunth posee una composición de tejidos donde su fibra se acerca a un porcentaje del 40%, lo que la convierte y la ubica dentro de los materiales naturales óptimos en factores de resistencia en el sector de la construcción; destacándose de esta manera, el uso de la fibra de *Guadua Angustifolia* Kunth por sus propiedades físico mecánicas que aumentan la resistencia del concreto².

En este sentido, la investigación titulada “Mechanical and physical characterization of *Guadua angustifolia* ‘Kunth’ fibers from Colombia”, en la cual se muestran los resultados de la caracterización física, química y mecánica de las fibras naturales de guadua; mediante la utilización de microscopía electrónica de barrido (SEM), microscopía de fuerza atómica (AFM), absorción de humedad, densidad aparente y pruebas de estrés de fibra. “El objetivo fue analizar el comportamiento general de las fibras de guadua y determinar su viabilidad como refuerzo en materiales compuestos para la construcción. A partir de la caracterización, se determinó que la guadua tiene una excelente resistencia a la tracción y puede usarse como refuerzo en matrices de polímeros debido a su rugosidad; es decir, tiene adhesión, es ligero y tiene una excelente absorción en comparación con otras fibras”³.

¹ OSORIO, Jairo; VARON, Fredy y HERRERA, Jhonny. Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar. Medellín: Dyna, 2007. Vol. 74, 153, págs. 69-79.

² SOCIEDAD COLOMBIANA DE BAMBU. Investigaciones de Guadua [en línea]. Bogotá: La Sociedad [citado 5, septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <<http://bambuguadua.org/>>

³ ESPITIA, Martín; SJOGREEN, Carlos; RODRÍGUEZ, Nelson; CALDERÓN, Jeimy; BENAVIDES, Alisson; PERAZA, Ricard; ESPITIA, Geraldine; NEMOCON, Ricardo. Mechanical and physical characterization of

Por otro lado, la investigación titulada “Mechanical Properties of Bamboo Through Measurement of Culm Physical Properties for Composite Fabrication of Structural Concrete Reinforcement (Propiedades mecánicas del bambú a través de la medición de las propiedades físicas del culmo para la fabricación compuesta de refuerzo de hormigón estructural)” en la cual, el primer objetivo de este estudio es evaluar la dependencia de las propiedades mecánicas del bambú, sobre las propiedades físicas del culmo, incluido el diámetro del culmo, el grosor de la pared, la altura, el contenido de humedad y la densidad específica y El segundo objetivo de este estudio es evaluar si tales pruebas permiten una evaluación del potencial mecánico del bambú para la producción de compuestos de polímero reforzado con fibra de bambú de alto rendimiento. Los resultados demuestran que la densidad específica se correlaciona directamente con todas estas propiedades mecánicas del bambú, mientras que los valores del contenido de humedad se correlacionan solo con el valor de los módulos de ruptura, así mismo, El uso de estas fórmulas se ilustra a través de un estudio de caso de refuerzo compuesto de bambú para hormigón estructural. Las pruebas de extracción y las pruebas de haz con este compuesto validan con éxito la utilidad de esta estrategia para la construcción sostenible⁴

Adicionalmente, se tiene la investigación titulada “Bamboo reinforced concrete: a critical review” en la cual sus autores, abordan el estudio del concreto reforzado con bambú evaluando el desempeño estructural y ambiental como una alternativa al concreto reforzado con acero; esto mediante un prototipo de hormigón armado de bambú. Los autores concluyen que, aunque el bambú es un material con propiedades mecánicas extraordinarias, su uso en concreto reforzado con bambú es un concepto mal considerado, que tiene problemas significativos de durabilidad, resistencia y rigidez, y no cumple con las credenciales ecológicas que a menudo se le atribuyen, esto debido a que, en sus resultados se encontró que el prototipo tuvo baja durabilidad y las características de adherencia del bambú requieren un tratamiento de espesor total y un tratamiento adicional de la superficie del refuerzo de bambú, respectivamente⁵

Finalmente, en 2018, se realizó un estudio cuyo objetivo principal fue estudiar el comportamiento mecánico de flexión de los compuestos reforzados con fibra hechos de cemento Portland blanco común combinado con bambú *Guadua angustifolia* Kunth sin ningún tipo de tratamiento, fabricándose muestras con 0.0, 4.0 y 8.0% en peso de fibras. Los resultados mostraron que la resistencia a la flexión aumentaba a medida que aumentaba el contenido de fibra. También

Guadua angustifolia ‘Kunth’ fibers from Colombia. En: Revista UIS Ingenierías. September – october, 2018. vol. 17, no. 2, p. 33-40.

⁴ JAVADIAN, Alireza; SMITH, Ian; SAEIDI, Nazanin and HEBE, Dirk E. Mechanical Properties of Bamboo Through Measurement of Culm Physical Properties for Composite Fabrication of Structural Concrete Reinforcement. En: Frontiers in Materials. February, 2019. vol. 6, no. 15|, p. 2

⁵ ARCHILA, Héctor; KAMINSKI, Sebastian; TRUJILLO, David; ZEA, Edwin; y HARRIES, Kent A.. Bamboo reinforced concrete: a critical review. En: Materials and Structures. Febrero . marzo, 2018. vol., 51, no. 102, p. 101

mostraron una muy buena impregnación del cemento en las fibras, lo que valida el uso de ésta⁶.

De acuerdo con lo anterior, en la actualidad, la Guadua se ha convertido en material natural pionero de proyectos constructivos en Colombia, debido a esto se considera incluir la guadua no solo como material constructivo, sino también hacer uso de todo lo que aporta este material a otros materiales de construcción como el concreto, y sus beneficios para aumentar la resistencia soportando cargas superiores en la proporción adecuada de las fibras de guadua *Angustifolia* para un alcance de óptima resistencia en el concreto.

1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Descripción del problema. La construcción de cualquier proyecto en donde se utilicen materiales como el Concreto Reforzado, es un determinante en el crecimiento y desarrollo económico del país, el uso de nuevos materiales en el concreto para mejorar su resistencia, es uno de los estudios que se realizan al material. Es por ello que el estudio de su resistencia es un factor muy importante en el desarrollo de un proyecto de Ingeniería, determinando según sus características de resistencia los usos adecuados del material.

1.2.2 Formulación del problema. Tomando como punto de partida la investigación Evaluación de los efectos de la radiación UV en la guadua Fase I que se encuentra en proceso de desarrollo en la Universidad Católica de Colombia, nace la idea de realizar el estudio que analice la resistencia mecánica (a compresión) del Concreto reforzado con fibras de Guadua *Angustifolia* Kunth, determinando si se pueden usar las fibras de guadua como material de refuerzo en el concreto, contribuyendo así con las mejoras que se pueden realizar al concreto, empleando otros materiales naturales como la guadua además de ofrecer versatilidad en el campo de la Ingeniería Civil.

Por lo anterior se formula la siguiente pregunta de investigación ¿Cuáles aspectos se deben tener en cuenta para determinar la mezcla (agua, cemento, agregados) con mejor resultado y poder determinar la resistencia mecánica del concreto reforzado con fibras de Guadua *Angustifolia* Kunth?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general. Realizar el análisis de la resistencia mecánica en cilindros de Concreto reforzados con fibras de Guadua *Angustifolia* Kunth, partiendo de una mezcla inicial de concreto sin fibras, estableciendo un análisis comparativo.

⁶ QUINTERO DÁVILA, Mauricio y NEVES MONTEIRO, Sergio. Composites of Portland cement and fibers of Guadua *angustifolia* Kunth from Colombia. En: Journal of Composite Materials. August 2018, vol. 53, no. 7 ·

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar la caracterización visual de las probetas de guadua
- Evaluar y establecer las diferencias de resistencia mecánica entre un Concreto reforzado con fibras de guadua, y un concreto tradicional utilizando cemento Portland de uso general
- Analizar los efectos de la guadua expuesta y no expuesta a radiación UV en las mezclas empleadas, a través de tablas comparativas
- Definir la dosificación ideal de la mezcla entre concreto y fibras de Guadua

1.3 JUSTIFICACIÓN

La industria de la construcción se considera como la generadora de mayores contaminantes en recursos naturales debido al abuso desmedido de ellos, buscando un enfoque en la integración y desplegar estrategias que mitiguen el impacto ambiental, además de aportar las condiciones básicas en la seguridad y calidad constructiva como lo es la utilización de materiales que cumplan con propiedades y consideraciones mínimas requeridas en la construcción.⁷

Por otro lado, la Guadua Angustifolia Kunth es una especie de Bambú, que se ha usado por décadas en comunidades de América Latina, desde hace cientos de años, sin embargo, en el ámbito Ingenieril no se le ha dado el valor suficiente a sus características particulares como material natural, en la industria de la construcción. La necesidad de aprovechar mejor los recursos naturales en el sector de la construcción, además de brindar un desarrollo eco-sostenible, se ha convertido en una prioridad, observándose de este modo, la necesidad de incorporar recursos naturales renovables como la guadua a la industria de la construcción en la Ingeniería.

En este sentido, el crecimiento significativo en el uso de la Guadua Angustifolia Kunth como material de construcción por sus excelentes propiedades mecánicas, la ubican en la industria como uno de los materiales naturales más completos, debido a su desempeño en los estudios e investigaciones relacionadas con el alcance de resistencia y la buena adherencia de sus fibras con el concreto. Por tal razón el “estudio del comportamiento de los materiales compuestos en sus solicitudes mecánicas (resistencia), establecen el valor de intensificar el diseño y

⁷ ANCHEZ, Maria, ESPUNA, José y ROUX, Rubén. El bambú como elemento estructural: la especie Guadua amplexifolia. En: Nova scientia. junio – agosto, 2016. vol. 8. p. 7

la evolución de su comportamiento ante el resultado óptimo de respuesta estructural específica”⁸.

La gran aplicación e importancia de los materiales compuestos en ingeniería, específicamente en el diseño de materiales con características determinadas, ha permitido que se estudie con más profundidad las propiedades mecánicas de estos, y las formas de producirlos, por consiguiente la utilización y necesidad en la industria de la construcción con relación a la obtención de materiales alternativos se ha incrementado, de tal forma encontrándose que el concreto reforzado con fibras de Guadua Angustifolia presenta una comodidad técnica y económica en la industria de la construcción⁹.

Debido a las condiciones ya mencionadas este trabajo de investigación busca determinar la resistencia mecánica del concreto reforzado con fibras de Guadua Angustifolia Kunth

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.5.1 Alcances. El alcance de la presente investigación será el siguiente:

➤ Presentar la caracterización del concreto para corroborar que cumplan con los parámetros de la norma I.N.V.E - 404 asentamiento del concreto de cemento hidráulico (SLUMP); así mismo se presenta la caracterización de la guadua angustifolia Kunth que se usará para los ensayos.

➤ Realizar pruebas de laboratorio a 24 cilindros concreto y concreto reforzado con fibras de guadua Angustifolia Kunth en estado natural y expuesta a radiación ultravioleta UVB, de acuerdo con la norma I.N.V.E- 402 Elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio para ensayos de compresión y flexión Y norma I.N.V. E - 410 Resistencia a la Compresión de cilindros de concreto.

➤ Informe de resultados de los ensayos en donde se comparen la resistencia mecánica del concreto con fibras de Guadua en su estado natural y expuesta a radiación UVB, y a la resistencia mecánica de un concreto tradicional (sin fibras), para de este modo identificar el porcentaje favorable de las fibras de Guadua Angustifolia Kunth presentes en la mezcla, con el fin de conocer la resistencia máxima según sean las dosificaciones, y determinar los usos adecuados en la ingeniería según los resultados obtenidos.

1.5.2 Limitaciones. Las posibles limitaciones para el desarrollo del proyecto son las siguientes:

⁸ GUTIERREZ, Mateo. Expansión lineal y punto de saturación de las fibras de la Guadua angustifolia Kunth. Bogotá: Colombia Forestal, 2018. p. 20

⁹ OSORIO, Jairo, VARON, Fredy y HERRERA, Jhonny. Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar. En: Dyna. Marzo – junio, 2007. vol. 74, no. 153, p. 69.

- Dificultad en la disponibilidad y utilización de los equipos requeridos para realizar los ensayos.
- Dificultad en el procesamiento y corte de la guadua para sacarlas las fibras para realizar los ensayos.
- Dificultad para realizar la exposición de la guadua a la radiación UV por falta de lámparas específicas para este fin.
- Falta de información de referencia, respecto al empleo de guadua para reforzar concreto.

1.6 MARCO DE REFERENCIA

1.6.1 Marco teórico.

1.6.1.1 Mortero reforzado con fibras de bambú. El bambú ha cumplido tradicionalmente dos funciones preponderantes a nivel social y ecológico; como material para construcción de vivienda rural y como proyectora de cauces y cuencas.

“Actualmente la semi-industrialización de la transformación del culmo, abre nuevas perspectivas para el uso del recurso, al poder convertir el material de desecho (aserrín) en productos de alta calidad, o, en asocio con otros materiales, sustituir o mejorar el comportamiento de un material convencional o ayudar a economizar en su producción”¹⁰.

Así mismo, un ejemplo de los posibles usos de la guadua, son “tableros estructurales o de cerramiento en cualquiera de los sistemas de cemento Portland (pasta, mortero o concreto) reforzados con bambú, para ser usados como matriz en paneles de tablillas o esterilla de bambú, cerramiento de puertas y ventanas, losetas para entrepisos, recubrimiento de superficies, cajas de empaque, etc.”¹¹.

➤ **Consideraciones Generales.** De acuerdo con el Título D de la norma colombiana sismo resistente NSR-10, el mortero es “la mezcla, perfectamente dosificada, de un cementante, agregado fino y agua, resaltado que los materiales deben cumplir con las normas establecidas ASTM o las establecidas por el código de construcción de cada país o región”¹². Así mismo, el Arbeláez (1997) establece

¹⁰ ARBELÁEZ ARCE, Anacilia. Morteros reforzados con fibras de bamboo [en línea]. Bogotá: Universidad Nacional [citado 12 febrero, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <http://bdigital.unal.edu.co/30049/1/28797-103428-1-PB.pdf>>

¹¹ GONZÁLEZ SALCEDO, Luis Octavio. Uso del bambú en el concreto reforzado. Palmira: Universidad Nacional De Colombia, 2001. p. 17

¹² COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título D. Mampostería estructural. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012. p. 14.

que “mortero reforzado es un material constituido por una matriz, generalmente frágil, reforzada con una gama muy variada de materiales de origen natural (orgánicas o minerales) o artificial, colocados en forma continua o dispersa y con una orientación determinada o al azar”¹³

El mortero, normalmente está constituido por cemento Portland, arena natural y agua. Las proporciones en peso de Cemento/ Arena y Agua/Cemento, varían de acuerdo con el tipo de refuerzo, el sistema de mezclado y colocado y el uso final del producto. Entre los parámetros definen las propiedades de los morteros reforzados están:

- Tipo y calidad del cementante y los agregados
- Diseño de la mezcla
- Relación Agua/Cemento
- Porosidad del compuesto
- Características del refuerzo (tipo, calidad, cantidad)
- Condiciones de humedad de refuerzo higroscópico
- Espesor de cubrimiento del refuerzo
- Supervisión y control de calidad del producto final

1.6.1.2 Morteros Reforzados con Fibra. La norma ASTM C1116-89, define las Fibras como “filamentos delgados y elongados en forma de haces o hilos, de cualquier material natural o manufacturado, que pueda ser distribuido uniformemente en la mezcla del mortero fresco”¹⁴.

En este sentido, Juárez (2002) , expone que el comportamiento de los sistemas de cemento Portland reforzados con fibras, “depende de la susceptibilidad de la fibra a los daños físicos durante el proceso de mezclado, su compatibilidad química con el ambiente normalmente alcalino de la pasta de cemento y su resistencia a las condiciones ambientales del medio donde el producto final, presta servicio (la exposición al dióxido de carbono, la acción de los cloruros y sulfatos disueltos en el agua y el tanque del oxígeno y la luz ultravioleta)”¹⁵.

Adicionalmente, las fibras se distribuyen en la masa en todas las direcciones. Cuando la pasta empieza a endurecer, se desarrollan fisuras microscópicas, las cuales, al intersectar las fibras, son bloqueadas previniendo el futuro desarrollo de macro fisuras o grietas.

¹³ ARBELÁEZ ARCE, Anacilia. Morteros reforzados con fibras de bamboo [en línea]. Bogotá: Universidad Nacional [citado 12 febrero, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <http://bdigital.unal.edu.co/30049/1/28797-103428-1-PB.pdf>>

¹⁴ REVISTA EMB CONSTRUCCIÓN. Fibras en hormigones y morteros de cemento [en línea]. Santiago: La Revista [citado 20 febrero, 2019]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=1535&tip=4&xit=fibras-en-hormigones-y-morteros-de-cemento>>

¹⁵ JUAREZ ALVARADO, Cesar Antonio. Concretos base cemento portland reforzados con fibras naturales (agave lecheguilla). Como materiales para construcción en México. México: Universidad Autónoma de Nuevo Leon. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Modalidad trabajo de doctorado en Ingeniería, 2002.

“El ACI 544.IR-82 presenta los sistemas de cemento Portland reforzados con fibras, como materiales con una capacidad mejorada de su resistencia al impacto, absorción de energía y resistencia a la tracción. Las fibras tienen la propiedad de controlar la propagación del agrietamiento y por ende transformar una matriz frágil, en un material con cierto grado de ductilidad”¹⁶.

Existen factores limitantes en el uso de fibras orgánicas:

➤ **La presencia de sustancias extractivas**, las cuales retardan o inhiben el proceso de fraguado del cemento, ya que los azúcares forman una especie de membrana alrededor de los cristales, impidiendo su unión. El azúcar puede ser disuelto por métodos químicos, pero la similitud de su estructura interna con la de la celulosa, llevaría a la desintegración del material.

La extracción de las sustancias solubles, generalmente en forma parcial, se puede llevar a cabo por uno de los dos sistemas:

✓Lavado del material: no siempre se justifica económicamente

✓Inmersión, por lo menos durante 24 horas en una solución de agente mineralizante (Cloruro de calcio, hidróxido de calcio, silicato de sodio, cloruro de magnesio y silicato de potasio)¹⁷.

La durabilidad del material orgánico en el ambiente alcalino de la matriz de cemento. La reducción de la alcalinidad del agua presente en la matriz, se puede lograr reemplazando parte del cemento Portland por una puzolana altamente activa, como la ceniza de la cascarilla de arroz (RHA), las cenizas volantes

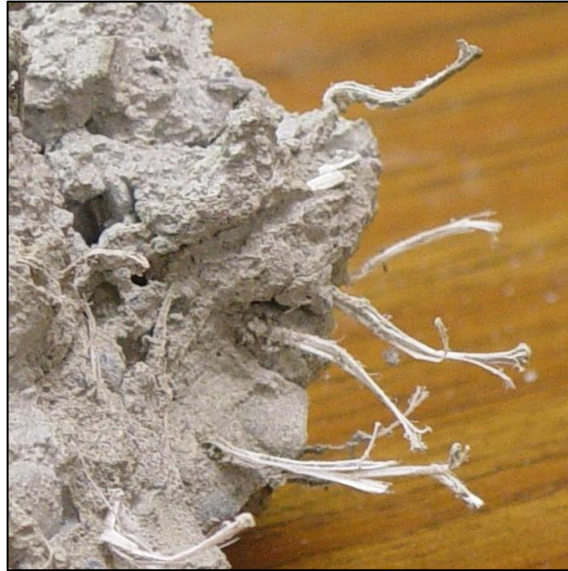
1.6.1.3 Hormigón (Concreto) reforzado con fibras de Vidrio (GFRC). El GFRC se ideó por vez primera en Rusia, en la década de 1940, en un intento por reducir el grosor de las piezas de hormigón y hacerlas aptas para su uso en cerramientos de fachada. “Para ello se sustituyó el refuerzo de acero por hebras de fibra de vidrio, que no requieren de dicha protección, obteniendo así paneles más finos (otra teoría, no documentada, sugiere no obstante que el empleo de fibra de vidrio surgió en un intento de ahorrar acero para la industria bélica durante la II GM). A partir de la década de los 60, se empezó a utilizar fibra de vidrio en sustitución del asbesto, por el potencial cancerígeno de este último”¹⁸ (véase la Figura 1)

¹⁶ ARBELÁEZ ARCE, Anacilia. Morteros reforzados con fibras de bamboo [en línea]. Bogotá: Universidad Nacional [citado 12 febrero, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <http://bdigital.unal.edu.co/30049/1/28797-103428-1-PB.pdf>>

¹⁷ ARBELÁEZ ARCE, Anacilia. Morteros reforzados con fibras de bamboo [en línea]. Bogotá: Universidad Nacional [citado 12 febrero, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <http://bdigital.unal.edu.co/30049/1/28797-103428-1-PB.pdf>>

¹⁸ ARQYTEC. Hormigón prefabricado con fibras [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 12 febrero, 2019]. Disponible en Internet: <URL: <http://arqytec.blogspot.com/2010/05/hormigon-prefabricado-con-fibras.html>>

Figura 1. Concreto Reforzado con Macro Fibras



Fuente. 360 EN CONCRETO. ¿Qué es concreto reforzado con fibras? [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 12 febrero, 2019]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/que-es-concreto-reforzado-con-fibras>>

El GFRC es un material compuesto: las fibras de vidrio se proyectan sobre una base de mortero de cemento en varias capas, creando un material final que reúne las cualidades de ambos. Debido a que normalmente la finalidad de las piezas de GRC es la creación de paneles de cara vista, en el mortero se suele emplear hormigón blanco, y arenas de granulometría fina; razón por la que también se le denomina micro-hormigón. Además, se suelen utilizar distintos aditivos en la mezcla para facilitar el desencofrado del molde, o para controlar mejor la evaporación de agua y evitar así la fisuración de las piezas. También admite el empleo de colorantes en la mezcla. Se ha descubierto que la fibra de vidrio reacciona con los álcalis del hormigón, por lo que se prefiere un cemento de bajo porcentaje de álcalis, y se emplea un tipo de fibra de vidrio resistente a los álcalis.

La longitud de este tipo de fibras es, de hasta 40 mm y los contenidos usuales son de menos del 5% en volumen. Su mezclado es diferente al de las fibras de acero, por ejemplo, cuando se trata de capas delgadas, las fibras en madeja se alimentan dentro de una pistola de aire comprimido que las corta y las rocía con la lechada de cemento. Es lo que se denomina colocación por proyección.

El montaje es en seco, realizándose las uniones sobre espumas de polietileno y el sellado de juntas con silicona neutra o poliuretano. La fibra de vidrio resistente a los álcalis se utiliza generalmente en el nivel 3-5% en la fabricación de productos prefabricados, ya sea por el proceso de pulverización o por el uso de los métodos tradicionales. También se utiliza en el rango de 1-2% Existe una asociación internacional para regular el uso de este material, denominada GRCA¹⁹

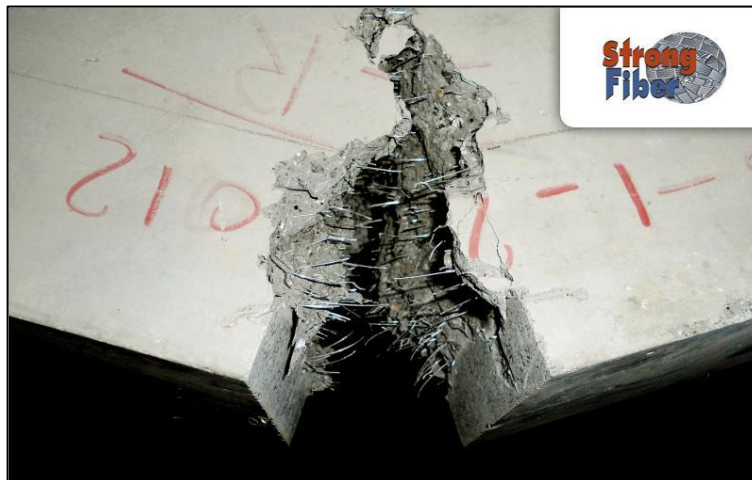
¹⁹GRCA INTERNATIONAL. Hormigón reforzado con fibra de vidrio o GRC [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 8 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.grca.org.uk/about-grc.php>>

1.6.1.4 Hormigón (concreto) reforzado con fibras de acero (SFRC). Los hormigones con fibras de acero están formados, esencialmente, por un conglomerante hidráulico, generalmente cemento portland, áridos finos y gruesos, agua y fibras de acero discontinuas cuya misión es contribuir a la mejora de determinadas características de los hormigones.

➤ **Componentes del SFRC.** Los SFRC se constituyen básicamente por los mismos componentes que el hormigón tradicional, pero con adiciones de fibras de acero; al incluir estas fibras, “además de alterar el comportamiento del hormigón en estado endurecido, también lo hace en estado fresco, por lo que a algunos de los componentes se les exigen condiciones que en los hormigones tradicionales no son necesarias”²⁰.

Por lo anterior, se espera que el material compuesto sufra ciertas modificaciones respecto de un hormigón tradicional, según la cantidad de fibras que se adicione así como de la geometría de éstas. “Estas modificaciones pasan principalmente por una limitación en el tamaño máximo del árido, menores valores de relación grava-arena, mayores cantidades de aditivos reductores de agua, y mayor demanda de finos, entre otros”²¹ (Véase la Figura 2).

Figura 2. Concreto Reforzado con Fibras de Acero



Fuente. DIFICONSA. Fibra de Acero Para concreto [en línea]. México: La Empresa [citado 8 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.revistacyt.com.mx/pdf/enero2016/experto.pdf>>

²⁰ RAMOS SALCEDO, Heisin. Aplicación de Fibras Estructurales a los Pilotes tipo CPI 8. Catalonia: Universidad Politécnica de Catalunya. Facultad de Ingeniería de Estructuras y Construcción. Modalidad trabajo de Master en Ingeniería Civil, 2012. p. 22

²¹ ANTILLON, Jorge. Uso de fibras en el concreto [en línea]. México: Revista Construcción y Tecnología en Concreto [citado 8 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.revistacyt.com.mx/pdf/enero2016/experto.pdf>>

➤ **Ventajas del Concreto con fibras de Acero.**

✓ **Refuerza el volumen del Concreto:** La primera ventaja es que el volumen del concreto se ve reforzado debido a la distribución homogénea de las fibras de acero.

✓ **Mejoran la resistencia al flexo tracción:** La implementación de estas fibras consigue, además, mejorar la resistencia al flexo tracción. Algo que resulta muy necesario para que el material pueda aguantar las cargas sobre el pavimento

✓ **Aumentan su durabilidad:** La durabilidad de la solera de concreto armado se ve aumentada. Esto se debe, principalmente, a que los filamentos de acero consiguen controlar la fisuración y evitan que las grietas se propaguen.

✓ **Evitan la fragilidad de este material:** De igual forma, son una gran solución para evitar la fragilidad propia del concreto que le hemos mencionado anteriormente ya que consiguen mejorar la ductilidad.

✓ **Aumentan la resistencia ante impactos y esfuerzos:** Otra ventaja a destacar es que aumentan la resistencia de este elemento ante los impactos y esfuerzos repetitivos, lo cual es ideal para los suelos de almacenes o fábricas.

✓ **Previenen la oxidación:** Las hebras de acero reducen la oxidación que sí puede darse en el mallazo. Mientras dicho mallazo puede oxidarse si alguna de sus partes queda al aire, utilizando las fibras de acero esto no ocurrirá principalmente porque están mejor integradas con el concreto.

Cabe destacar que esta característica tiene una gran importancia ya que el óxido hace que se reduzca la adherencia entre el mallazo y el hormigón. Algo que, inevitablemente, acaba por disminuir el refuerzo. Por tanto, en caso de que alguna de las vigas de concreto armado o los pavimentos industriales y estructuras tengan el mallazo oxidado, podrían producirse accidentes graves.

✓ **Ofrecen mayor seguridad:** De esta manera, podrá entender que los concretos reforzados con filamentos de acero ofrecen una seguridad mayor, haciendo que los trabajadores corran menos riesgos

✓ **Reducen su peso:** Otro beneficio a mencionar es que la utilización de los filamentos reduce notablemente el peso. Así pues, las estructuras de concreto armado se vuelven más resistentes a la vez que menos pesadas.

✓ **Aplicación más rápida y sencilla:** También tenemos que hacer hincapié en que la aplicación de estas fibras es más rápida y sencilla que la del mallazo. Lo cual incide beneficiosamente en su instalación²².

²² BOBETON. Ventajas del hormigón con fibras de acero [en línea]. Madrid: La Empresa [citado 8 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <https://bobeton.es/ventajas-del-hormigon-armado-con-fibras-de-acero-frente-al-tradicional/>>

1.6.1.5 Resistencia a la compresión en Cilindros de Concreto. La resistencia a la compresión simple “es la característica mecánica principal del concreto, dada la importancia que reviste esta propiedad, dentro de una estructura convencional de concreto reforzado, la forma de expresarla es, en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm² y con alguna frecuencia lb/pulg² (PSI). La equivalencia que hay entre los dos es que 1 psi es igual a 0.07kg/cm². Aunque hoy en día se ha acogido expresarla en MPa de acuerdo con el sistema internacional de unidades”²³.

En este sentido, Sánchez expone que, para evaluar la resistencia del concreto se deben realizar pruebas mecánicas, las cuales pueden ser destructivas por tanto se requiere de especímenes para fallas, o las no destructivas con las que se pueden hacer pruebas repetitivas de la muestra de “manera que se pueda estudiar la variación de la resistencia u otras propiedades con el paso del tiempo. Para las primeras se utilizan tres tipos de muestras: cilindros, cubos y prismas. Para las segundas hay diferentes sistemas”²⁴.

Las pruebas se realizan con ensayos a la compresión o de tensión; el ensayo de compresión es meramente lo contrario del de tensión con respecto a la dirección o el sentido del esfuerzo aplicado. “Las razones generales para la elección de uno u otro tipo de ensayo se establecieron. Asimismo, un número de principios generales se desarrolló a través de la sección sobre el ensayo de tensión sobre los cuales son igualmente aplicables al ensayo de compresión”²⁵.

Existen, sin embargo, varias limitaciones especiales del ensayo de compresión a las cuales se debe dirigir la atención: La dificultad de aplicar una carga verdaderamente concéntrica o axial.

El carácter relativamente inestable de este tipo de carga en contraste con la carga tensiva, Existe siempre una tendencia al establecimiento de esfuerzos flexionantes y a que el efecto de las irregularidades de alineación accidentales dentro de la probeta se acentúa a medida que la carga prosigue. La fricción entre los puentes de la máquina de ensayo o las placas de apoyo y las superficies de los extremos de la probeta debido a la expansión lateral de esta.

Esto puede alterar considerablemente los resultados que se obtendrían si tal condición de ensayo no estuviera presente. Las áreas seccionales, relativamente mayores de la probeta para ensayo de compresión para obtener un grado apropiado de estabilidad de la pieza. Esto se traduce en la necesidad de una máquina de ensayo de capacidad relativamente grande o probetas tan pequeñas y,

²³ SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del concreto y del mortero. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2001.p. 138

²⁴ *Ibid.*,p. 138

²⁵ ALFARO, Franciz. Briquetas [en línea]. Bogotá: Academia.edu [citado 8 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.academia.edu/9919687/Briquetas>>

por lo tanto, tan cortas que resulta difícil obtener de ellas mediciones de deformación de precisión adecuada.

Se supone que se desean las características simples del material y no la acción de los miembros estructurales como columnas, de modo que la atención se limita aquí al bloque de compresión corto.

El ensayo más universalmente reconocido para ejecutar pruebas de resistencia mecánica a la compresión simple es el ensayo de probetas cilíndricas, las cuales se funden en moldes especiales de acero o hierro fundido que tienen 150mm de diámetro por 300mm de altura (relación diámetro: altura 1:2). Los procedimientos relativos a este ensayo se encuentran especificados en las normas NTC 550 y 673 que hacen referencia a la confección de cilindros y al ensayo de resistencia compresión.

Una vez que la muestra de concreto fresco ha sido correctamente seleccionada de acuerdo con los procedimientos descritos en la norma NTC 454, de manera que sea representativa de toda la masa, se procede de la siguiente manera: Antes de colocar el concreto en el molde, es necesario aceitar el interior del cilindro para evitar que el concreto se adhiera al metal; para hacer esto, es suficiente untar las paredes y el fondo con una brocha impregnada de aceite mineral; la capa de aceite debe ser delgada y en el fondo no debe acumular aceite.

El cilindro se llena en tres capas de igual altura (10cm) y cada capa se apisona con una varilla lisa de 16mm de diámetro con uno de sus extremos redondeados, la cual se introduce 25 veces por capa en diferentes sitios de la superficie del concreto, teniendo en cuenta de que la varilla solo atraviese la capa que se está compactando, sin pasar a la capa siguiente. Al final de la compactación se completa el llenado del molde con más mezcla y se alisa la superficie con la ayuda de un palustre o de una regla.

Una vez que se ha llenado cada capa, se dan unos golpes con la varilla o con un martillo de caucho a las paredes de este, hasta que la superficie del concreto cambie de mate a brillante, con el objeto de eliminar las burbujas de aire que se hayan podido adherir al molde o hayan quedado embebidas en el concreto. Los cilindros recién confeccionados deben quedar en reposo, en sitio cubierto y protegidos de cualquier golpe o vibración y al día siguiente se les quita el molde cuidadosamente. Inmediatamente después de remover el molde, los cilindros deben ser sometidos a un proceso de curado en tanques de agua con cal, o en un cuarto de curado a 23°C, con el fin de evitar la evaporación del agua que contiene el cilindro, por la acción del aire o del sol, y en condiciones estables de temperatura para que el desarrollo de resistencia se lleve a cabo en condiciones constantes a través del tiempo.

En estas condiciones los cilindros deben permanecer hasta el día del ensayo.

La resistencia a la compresión del concreto se mide con una prensa que aplica carga sobre la superficie del cilindro (Norma NTC 673). Generalmente esta superficie es áspera y no plana, lo cual puede conducir a concentraciones de

esfuerzo que reducen considerablemente la resistencia real del concreto. Una falta de planicie de 0.25mm puede reducir a un tercio la resistencia. Para remediar esta situación, normalmente se hace un refrentado o cabeceado de las tapas del cilindro con materiales como yeso o mezclas compuestas de azufre, tal como se especifica en la norma NTC 504. La resistencia a la compresión, se acostumbra a dar en términos de esfuerzo o sea fuerza por unidad de área, en kg/cm^2 ²⁶.

1.6.1.6 Como realizar la prueba de resistencia del concreto. Los cilindros para pruebas de aceptación deben tener un tamaño de (15x30cm), las probetas más pequeñas tienden a ser más fáciles de elaborar y manipular en campo y en laboratorio.

El diámetro del cilindro utilizado debe ser como mínimo tres veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso que se emplee en el concreto.

Con el fin de conseguir una distribución uniforme de la carga, generalmente los cilindros se cabecean con mortero azufre (ASTM C617) o con almohadillas (ASTM C1231). El cabeceo de azufre se debe aplicar como mínimo dos horas antes y preferiblemente un día antes de la prueba.

El diámetro del cilindro se debe medir en dos sitios en ángulos rectos entre sí a media altura de la probeta y deben promediarse para calcular el área de la sección. Si los diámetros medidos difieren en más de 2% no se debe someter a prueba el cilindro.

Los extremos de las probetas no deben presentar desviación con respecto a la perpendicularidad del eje del cilindro en más de 0.5% y en los extremos deben hallarse planos dentro de un margen de 0.002 pulgadas²⁷.

1.6.1.7 Resistencia. Los cilindros se deben centrar en la máquina de ensayo de compresión y cargados hasta completar la ruptura.

El régimen de carga con maquina hidráulica se debe mantener en un rango de 0.15 a 0.35MPa/s durante la última mitad de la fase de carga. Se debe anotar el tipo de ruptura. La fractura cónica es un patrón común de ruptura.

La resistencia del concreto se calcula dividiendo la máxima carga soportada por la probeta para producir la fractura entre el área promedio de la sección. ASTM C 39 presenta los factores de corrección en caso de que la razón longitud diámetro del cilindro se halle entre 1.75 y 1.00, lo cual es poco común. Se someten a prueba por lo menos dos cilindros de la misma edad y se reporta la resistencia promedio como el resultado de la prueba, al intervalo más próximo de 0.1 MPa.

²⁶ SANCHEZ DE GUZMAN, Op. cit. p. 139

²⁷ INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO. Pruebas de Resistencia a la compresión del concreto [en línea]. México: IMCC [citado 8 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.imcyc.com/ct2006/junio06/PROBLEMAS.pdf>>

El técnico que efectúe la prueba debe anotar la fecha en que se recibieron las probetas en el laboratorio, la fecha de la prueba, la identificación de la probeta, el diámetro del cilindro, la edad de los cilindros de prueba, la máxima carga aplicada, el tipo de fractura y todo defecto que presenten los cilindros o su cabeceo. Si se mide, la masa de los cilindros también deberá quedar registrada.

La mayoría de las desviaciones con respecto a los procedimientos estándar para elaborar, curar y realizar el ensayo de las probetas de concreto resultan en una menor resistencia medida²⁸.

Por otro lado, “el rango entre los cilindros compañeros del mismo conjunto y probado a la misma edad deberá ser en promedio de aproximadamente 2 a 3% de la resistencia promedio. Si la diferencia entre los dos cilindros compañeros sobrepasa con demasiada frecuencia 8%, o 9.5% para tres cilindros compañeros, se deberán evaluar y rectificar los procedimientos de ensayo en el laboratorio”²⁹. Cabe resaltar que tanto los informes o reportes relacionados con pruebas de resistencia a la compresión del concreto, se han convertido en una fuente valiosa de información para la presente investigación.

1.6.2 Marco conceptual

1.6.2.1 Bambú. Bambusoideae es el nombre de una subfamilia de plantas que pertenecen a la familia de las pomáceas o gramíneas, una de las familias botánicas más extensas e importantes para el hombre. Cuando el culmo es leñoso (una caña) su nombre vulgar es bambú³⁰.

1.6.2.2 Guadua Angustifolia Kunth. *Guadua angustifolia*, popularmente denominada guadua o tacuara, es una especie botánica de la subfamilia de las gramíneas Bambusoideae, que tiene su hábitat en la selva tropical húmeda a orillas de los ríos. Propia de las selvas sudestes venezolanas, y se extiende por las selvas de las Guyanas; y en Brasil, Ecuador, Colombia, Guyana, Perú, Surinam (véase la Figura 3)

²⁸ CIVILGEEKS. Prueba de resistencia a la compresión del concreto [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 8 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <https://civilgeeks.com/2017/08/24/prueba-resistencia-la-compresion-del-concreto/>>

²⁹ ARGOS. Calidad y aspectos técnicos resistencia mecánica del concreto y compresión [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 5 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <https://mniapsccp01.azurewebsites.net/comunidad360/blog/detalle/category/calidad-y-aspectos-tecnicos/resistencia-mecanica-del-concreto-y-compresion>>

³⁰ USDA, ARS, NATIONAL GENETIC RESOURCES PROGRAM. Germplasm Resources Information Network [en línea]. Washington USDA [citado el: 12 de SEPTIEMBRE de 2018.] <http://www.ars-grin.gov/4/cgi-bin/npgs/html/gnlist.pl?1465>.

Figura 3. Guadua Angustifolia Kunth



Fuente. BAMBOO LAND. *Guadua angustifolia* (Columbian Giant Thorny) [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 5 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.bambooland.com.au/guadua-angustifolia>>

Crece 15 a 20 m en 120 días; su diámetro máximo 2 dm, se aprovecha entre 4 a 5 años de plantado; su altitud ideal es entre los 400 y 1200 msnm; en suelos arenolimosos, arcillosos, profundos; y la T° entre 18 y 28 C°, con una precipitación superior a 1.200 mm y una humedad relativa de al menos 80%³¹

Las cañazas o tacuaras (*Guadua angustifolia*) son un género de plantas de la subfamilia del bambú, de la familia de las pomáceas. En el año de 1806 fue descrita por Alexander von Humboldt y Amadeo Bonpland quienes vieron esta planta en Colombia y la llamaron *Bambusa guadua*, luego en 1822 fue clasificada por Carl Sigismund Kunth como *Guadua angustifolia*. Se considera como una de las plantas nativas más representativas de los bosques andinos (véase la Figura 4).

³¹ CLAYTON, W.D.; HARMAN, K.T. y WILLIAMSON, H. GrassBase - The Online World Grass Flora Descriptions [en línea]. London: Royal Botanic Gardens [citado 8 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.kew.org/data/grasses-db.html>>

Figura 4. Guadua Angustifolia Kunth



Fuente. BAMBUSA. Guadua Angustifolia Kunth [en línea]. Madrid: La Empresa [citado 5 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <https://bambusa.es/caracteristicas-del-bambu/bambu-guadua/>>

Este recurso se utilizaba ya desde épocas remotas por parte de los primitivos pobladores de los Andes, y actualmente sigue siendo usada, especialmente en la región centro-occidental de Colombia.

No se tiene certeza sobre el origen de la palabra guadua, “aunque ciertos especialistas creen que podría ser venezolano. Estas versiones emergen de las variantes “Guaduas”, “guafa” con las cuales se conoce esta planta en este país. Y también se suele emplear el término “guasdua” como nos recuerda la ciudad de Guasualito, en Venezuela”³².

1.6.2.3 Uso de la guadua Angustifolia Kunth. Su uso es tan antiguo que, según el libro ‘Nuevas técnicas de construcción en bambú’ (1978), en el Ecuador se han encontrado improntas de bambú en construcciones que se estima tienen 9500 años de antigüedad (véase la Figura 5).

Figura 5. Construcciones en Guadua 1

³² EDUCALINGO. Guadua [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 8 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <https://educalingo.com/es/dic-es/guadua>>



Fuente. ARME. Kioskos en guadua [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 5 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: https://armeideasenguadua.com/portfolio_vision/kioskos/>

Adicionalmente, se la guadua ha sido usada para la construcción de “puentes colgantes y atirantados de impresionante precisión de ingeniería, poderosas embarcaciones, así como flautas, quenás y marimbas, fueron realizados por los incas con este recurso durante la época de pre conquista, y después de ella durante la colonia, la especie fue la encargada de proteger a los indios y hasta pequeños pueblos del asedio de los españoles escondiéndolos tras sus espesuras”³³ (véase la Figura 6).

Figura 6. Puente en Guadua Jenny Garzón Bogotá D.C Calle 80



Fuente. GUADUA Y BAMBU. Puente de guadua Calle 80 Bogotá [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 5 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <https://guaduybambu.es.tl/estudio-1.htm>>

Así mismo, Colombia, Ecuador y Panamá son los países de América que registran mayor tradición de uso, de hecho, en estas zonas existieron las mayores extensiones de la especie en el continente.

En Colombia, por ejemplo, la guadua ha sido sometida a grandes presiones deforestadoras; de extensas áreas existentes ha pasado a pequeñas manchas

³³ GUADUA Y BAMBU. Guadua Angustifolia Kunth [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 5 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <https://guaduybambu.es.tl/estudio-1.htm>>

boscosas ubicadas en las orillas de los ríos y en los bosques húmedos de las laderas de montaña, especialmente en los departamentos de Quindío, Risaralda, Caldas, Tolima, Valle del Cauca, Cundinamarca y Santander. “La guadua es una planta de la familia del bambú, que aporta grandes beneficios a la tierra y a las personas, pues con ella se puede construir casi todos los elementos de una casa. Es de muy rápido desarrollo, toma de 4 a 6 años para madurar y comienza su proceso de descomposición aproximadamente a los 10 años”³⁴.

1.6.2.4 Importancia Ambiental – Guadua Angustifolia Kunth. La guadua es una planta que aporta múltiples beneficios para el medio ambiente y el hombre, sus productos cuando son empleados como elementos integrales de la construcción de viviendas funcionan como reguladores térmicos y de acústica, el rápido crecimiento.

Según el “estudio aportes de biomasa aérea” realizado en el centro nacional para el estudio del Bambú-Guadua, producir y aportar al suelo entre 2 y 4 ton/ha/año de biomasa, volumen que varía según el grado de intervención del guadual; esta biomasa constituye entre el 10 y el 14% de la totalidad de material vegetal que se genera en un guadual. La biomasa es importante, ya que contribuye a enriquecer y mejorar la textura y estructura del suelo.

Los rizomas y hojas en descomposición conforman en el suelo símiles de esponjas, evitando que el agua fluya de manera rápida continua, con lo cual se propicia la regulación de los caudales y la protección del suelo a la erosión. El sistema entretejido de rizomas y raicillas origina una malla, que les permite comportarse como eficientes muros biológicos de contención que controlan la socavación lateral y amarran fuertemente el suelo, previniendo la erosión y haciendo de la guadua una especie con función protectora, especial para ser usada en suelos de ladera de cuencas hidrográficas.

Los guaduales cumplen en la zona cafetera colombiana papel relevante puesto que han propiciado la existencia y sostenibilidad de flora, micro flora, entomofauna, mamíferos, aves, reptiles y anfibios. Se resalta que en estos nichos ecológicos o comunidades es la especie dominante y a ella se asocia vegetación muy variada y numerosa que le permite conformar una estructura vertical triestratofítica, característica de las sociedades vegetales altamente desarrolladas y evolucionadas que tolera una amplia interrelación entre los diferentes componentes del sistema³⁵.

1.6.2.5 Importancia Socio-Cultural - Guadua Angustifolia Kunth. Desde épocas prehispánicas la guadua es el Bambú más ligado a la cultura del nuevo mundo. En la zona central de Colombia se han encontrado vestigios de esta especie en excavaciones arqueológicas de asentamientos indígenas.

³⁴ GUADUA Y BAMBU. Guadua Angustifolia Kunth [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 5 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <https://guaduybambu.es.tl/estudio-1.htm>>

³⁵ HERRERA, Edgar y SABOGAL, Aureliano. La Guadua. Quindio: CRQ, 1999. p. 42.

La guadua es un elemento simbólico que recoge referentes de un pasado cargado de gesta en el que se acuñaron los más destacados caracteres de la vida regional, hoy necesarios de rescatar. De la relación del hombre con su entorno (relación sociedad-naturaleza), mediante trabajo o la simple conservación, resultan “sentidos” afectivos o emotivos. Las comunidades incorporan como parte de suya los objetos sobre los cuales actúan; luego de la acción, los individuos pueden reconocerse en el objeto; es cuando se originan los afectos y la cultura. Es así como las viviendas que inicialmente se construyeron en guadua han recogido en su estructura y espacio muchos esfuerzos, sueños, anhelos y constituyen el referente inicial de la vida espiritual. Es por lo anterior que la guadua no se puede excluir fácilmente del paisaje, de la cotidianidad y de la memoria histórica de los pueblos³⁶.

1.6.2.6 Importancia Económica - Guadua Angustifolia Kunth. 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, por su resistencia al ataque de insectos, por su belleza escénica y tal vez, por lo más importante la diversidad de aplicaciones no igualadas por ninguna especie forestal, representa una alternativa económica que ha coadyuvado a mitigar la problemática social en el campo.

1.6.3 Estado del arte. En la actualidad la investigación orientada al análisis de comportamiento de mezclas de cemento o concreto con adición de guadua como refuerzo, es muy poca, sin embargo, se pudo encontrar el estudio titulado “Composites of Portland cement and fibers of Guadua angustifolia Kunth from Colombia (Compuestos de cemento Portland y fibras de Guadua angustifolia Kunth de Colombia)”³⁷ en este se estudió el comportamiento mecánico de flexión de los compuestos reforzados con fibra hechos de cemento Portland blanco común combinado con fibras de tallo de Guadua colombiana, fabricándose muestras con 0.0, 4.0 y 8.0% en peso de fibras sin tratamiento; realizándose el análisis de la caracterización mecánica y estructural mediante microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido. Los resultados mostraron que la resistencia a la flexión aumenta a medida que aumenta el contenido de fibra, así mismo muestran una muy buena impregnación del cemento en las fibras, lo que valida el uso de fibra del caña de bambú como material de refuerzo, siendo entonces factible que estos compuestos se puedan usar en la industria a gran escala para aplicaciones de resistencia.

³⁶ COLOMBIA. MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES. III Seminario internacional de bambú. Programa agricultura tropical sostenible. Memorias. Estado Yaracuy: Fundación para la Investigación Agrícola DANAC, 2003.

³⁷ QUINTERO DÁVILA, Mauricio; NEVES MONTEIRO, Sergio y COLORADO, Henry A. Composites of Portland cement and fibers of Guadua angustifolia Kunth from Colombia. In: Journal of Composite Materials. Agosto, 2018. vol. 53, no. 7.

Así mismo, el artículo publicado por la Agencia de Noticias de la Universidad Nacional de Colombia, titulado “Guadua bamboo fibers are useful for cement reinforcing (Las fibras de bambú Guadua son útiles para el refuerzo de cemento)”³⁸, expone que los resultados de una investigación realizada con guadua *Angustifolia Kunth* publicados en 2014, en los que después de extraer las fibras de guadua y recubrirlas con un compuesto de óxido de manganeso para evitar la degradación entran en contacto con el cemento y evitan así mismo daños, encontrándose que las fibras en el cemento evitan la contracción o expansión inadecuada de éste, por lo que se pueden usar en estructuras como paneles, techos corrugados, techos y elementos arquitectónicos; así mismo, los resultados mostraron como la ductilidad de los materiales mejoró durante las pruebas mecánicas, así como los altos valores de absorción de energía total debido a la adición de fibras de guadua. Además, se encontró un aspecto importante relacionado con la longitud de las fibras durante las pruebas, ya que la resistencia a la flexión fue mayor con las fibras más largas (2.5 cms / 1 in).

Finalmente, se tiene la investigación titulada “Study of high-strength concrete reinforced with bamboo fibers (Estudio de hormigón de alta resistencia reforzado con fibras de bambú)”³⁹, se evaluaron las propiedades mecánicas de una mezcla de concreto con adición de 1% de fibras de bambú, las muestras también contenían diferentes cantidades de cenizas volantes y sílice nanoestructurada como reemplazos parciales de cemento. Las muestras de concreto se analizaron a 7, 14 y 28 días. Los resultados mostraron una mayor compresión (22% más alta) y resistencia a la tracción (17% más alta) en las muestras con fibras vegetales en comparación con la resistencia del concreto sin fibras. Por lo tanto, esta investigación fomentó la comprensión de las interacciones de fibras naturales y materiales cementosos, exponiendo que se puede diseñar un concreto con una mayor capacidad de carga y más amigable con el medio ambiente.

1.6.4 Marco legal. Para el desarrollo de esta investigación se tuvo en cuenta las siguientes normatividad relacionadas con el uso de concretos y guadua a continuación se presentan las normas que se tendrán en cuenta en el proyecto:

Tabla 1. Normatividad para el uso de la Guadua en Construcción

NORMA	Descripción
NSR – 10 TÍTULO C CONCRETO ESTRUCTURAL	Proporciona los requisitos mínimos para el diseño y la construcción de elementos de concreto estructural
NTC 5551 DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS DE	Establece las especificaciones aplicables a concretos hidráulicos sometidos a condiciones de exposición ambiental

³⁸ AGENCIA DE NOTICIAS UNIVERSIDAD NACIONAL. Guadua bamboo fibers are useful for cement reinforcing [en línea]. Manizales: Unimedios [citado 14 septiembre, 2019]. Disponible en Internet: <URL: http://agenciadenoticias.unal.edu.co/index.php?id=1937&L=2&tx_ttnews%5Btt_news%5D=68227&cHash=cd47d74c59b2b7562c16274df83bad8a>

³⁹ MARRERO, R.E.; SOTO, H. L.; BENÍTEZ, F. R.; MEDINA, C. y SUÁREZ, O.M. Study of high-strength concrete reinforced with bamboo fibers. *En: Materials for Energy, Efficiency and Sustainability: TechConnect Briefs*, 2017. p. 301

CONCRETO	específicas.
I.N.V E- 402 ELABORACIÓN Y CURADO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO EN EL LABORATORIO PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN Y FLEXIÓN	Esta norma tiene por objeto establecer el procedimiento para la elaboración y curado de muestras de concreto en el laboratorio bajo estricto control de materiales y condiciones de ensayo, usando concreto compactado por apisonado o vibración como se describe en la presente norma
I.N.V. E - 404 ASENTAMIENTO DEL CONCRETO DE CEMENTO HIDRÁULICO (SLUMP)	Esta norma tiene por objeto establecer el método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto en las obras y en el laboratorio.
I.N.V. E - 410 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO	Este ensayo se refiere a la determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto, tanto cilindros moldeados como núcleos extraídos, y se limita a concretos con un peso unitario superior a 800 kg/m ³ (50 lb/pie ³)
RESOLUCIÓN 1740 DE 2016	Por la cual se establecen lineamientos generales para el manejo, aprovechamiento y establecimiento de guaduales y bambudales

Fuente. El Autor

1.7 METODOLOGÍA

1.7.1 Tipo de investigación. Se desarrolló una investigación de tipo experimental, en la cual se realizaron pruebas de laboratorio aplicando los principios del método científico, para analizar los resultados encontrados. Por lo cual, se realizaron ensayos de laboratorio en los cuales se adicionó un porcentaje de fibras de guadua *Angustifolia Kunth* en su estado natural y otro porcentaje de fibras de guadua expuestas a radiación UVB, a una mezcla de concreto de cemento hidráulico; para luego realizar el estudio de la resistencia mecánica máxima de las muestras, y determinar si se puede usar la guadua como reforzante del concreto.

1.7.2 Enfoque metodológico. Teniendo en cuenta el alcance de la investigación, se evidencia un enfoque metodológico de carácter mixto es decir, cuantitativo y cualitativo que permite obtener información real y medible sobre el uso de guadua *Angustifolia Kunth* como material de refuerzo para concreto, esto teniendo en cuenta que se aplicaron técnicas de recolección y análisis de la información de forma cuantitativa (resultados de pruebas de laboratorio) y cualitativa (investigación teórico - documental).

1.8 DISEÑO METODOLÓGICO

La investigación se desarrolló en tres etapas principales como se muestran a continuación:

Tabla 2. Fases de la Investigación

Fase 1. Caracterización y Alistamiento del Material
--

No.	Actividad	Registro fotográfico
1	<p>Seleccionar probetas la Guadua AK para procesamiento de corte y obtención de fibras</p>	
2	<p>Alistamiento y exposición de fibras guadua AK a radiación UVB</p>	

Tabla 2. (Continuación)

No.	Actividad	Registro fotográfico
1	<p>Seleccionar probetas de Guadua AK para procesamiento de corte de y obtención de fibras</p>	
3	<p>Caracterización Geométrica de las Fibras de Guadua natural y expuesta a Radiación UVB y realización de ensayos de humedad(saturado)</p>	






4	Alistamiento del 50% más de fibras para determinar la dosificación ideal	
5	Caracterización y alistamiento de los Agregados Pétreos Usados para el Diseño de la Mezcla	
6	Diseño de mezcla de concreto reforzado con fibras de guadua angustifolia Kunth en estado natural y expuesta a radiación UVB y preparación y curado de cilindros	

Tabla 2. (Continuación)

Fase 2. Realización de ensayos y resultados de laboratorio		
No.	Actividad	Registro fotográfico

1	<p>Realizar Ensayo de resistencia a la compresión a cilindros de concreto en estado natural, concreto reforzado con guadua concreto reforzado con guadua expuesta a radiación UVB norma I.N.V. E – 410</p>	
---	--	--

Fase 3. Análisis de los resultados

1	<p>Realizar análisis de resultados del ensayo de resistencia a la compresión</p>	
2	<p>Comparación De Resistencias De Las Cuatro Muestras</p> <p>Comparación de resistencias de las muestras de concreto reforzado con guadua en sus dos estados</p>	

Fuente. El Autor

2. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

2.1 CARACTERIZACIÓN DE LA GUADUA

2.1.1 Selección y preparación de la Guadua. Para la investigación se usó la variedad de guadua *Angustifolia* Kunth, por ser la que más se cultiva en Colombia y que, según investigaciones, presenta características de resistencia adecuadas para ser usada como material para construcción; realizándose en primera instancia la caracterización visual de 60 probetas de guadua proveniente del Departamento Quindío, las cuales presentaban una edad aproximada de entre 3 y 6 años, las cuales fueron marcadas con la siguiente nomenclatura (véase la Figura 7)

Figura 7. Nomenclatura Empleada para la Marcación de las Probetas

NOMENCLATURA	
001_A_N - IV	# de probeta
	ϕ de probeta
	A → 5cm
	B → 10cm
	C → 15cm
	Nudo
	N → Probeta con Nudo
	S → Probeta sin Nudo
	# de grupo
	En numeros romanos

Fuente. El Autor

De la caracterización general realizada, se escogieron al azar tres probetas de las cuales se obtuvieron las fibras de guadua para la preparación de las fibras a usar en los ensayos y las que iban a ser expuestas a la radiación UVB (véase las Figuras 8, 9 y 10)

Figura 8. Probeta 007_A_S - II



Fuente. El Autor

Figura 9. Probeta 013_A_S – II



Fuente. El Autor

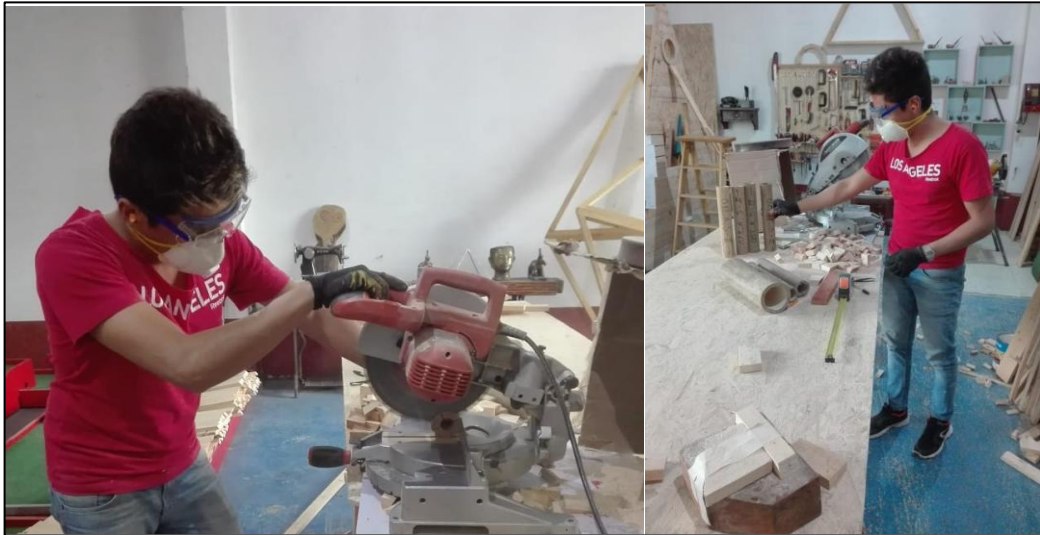
Figura 10. Probeta 025_A_S – II



Fuente. El Autor

Una vez seleccionadas las probetas de la guadua se procedió a procesarla para obtener las fibras, para lo cual se siguió el patrón de longitud usado para el uso de fibras de acero en concreto, cuya dosificación según proveedor fue medida para 1 m³ de mezcla, luego se determinó el peso de las fibras para el volumen de los 6 cilindros (véase las Figuras 11 y 12)

Figura 11. Corte Probetas de Guadua Angustifolia Kunth para Obtención de Fibras



Fuente. El Autor

Figura 12. Fibras Obtenidas con Ayuda de Bisturí



Fuente. El Autor

2.2.2 Exposición de guadua AK a radiación UVB. Una vez preparadas las fibras de guadua se tomó un porcentaje de éstas para ser expuestas a la radiación UVB, usándose lámparas de referencia T5HO de 5.0 UVB (véase la Figura 13).

Figura 13. Referencia Lámpara UVB



Fuente. El Autor

Luego se prepararon las lámparas de manera tal que estuvieran a una distancia aproximada de 20 cm de la guadua para que quedará expuesta directamente a éstas (véase la Figura 14).

Figura 14. Acondicionamiento y Exposición de la Guadua AK a Radiación UVB



Fuente. El Autor

La exposición de la guadua fue de forma continua desde el 10 de julio hasta el 26 de julio de 2019 para un total de 17 días (véase la Figura 15)

Figura 15. Fibras de Guadua AK Después de Ser Expuestas a Radiación UVB por 17 días



Fuente. El Autor

2.1.2 Características Geométricas de las Fibras de Guadua natural y expuesta a Radiación UVB. Una vez se tuvieron las fibras de la guadua AK listas se procedió a determinar las siguientes características:

- Altura promedio 6cm
- Ancho promedio 1.5 mm
- Largo promedio 1.5 mm

➤ **Humedad de las fibras de guadua.** Se realizó el ensayo de humedad a las fibras de guadua expuestas a radiación UVB y en estado natural (véase la Figura 16) además se pudo observar la diferencia de coloración entre las dos muestras después de la exposición.

Figura 16. Diferencia coloración Fibras de guadua expuestas a radiación UVB - y fibras en estado natural



Fuente. El Autor

Así mismo se tomó el peso de las dos muestras de guadua el cual fue de 11.9 gramos para ambas (véase la Figura 17).

Figura 17. Fibras de guadua natural y expuesta a radiación UVB durante 17 días – peso inicial

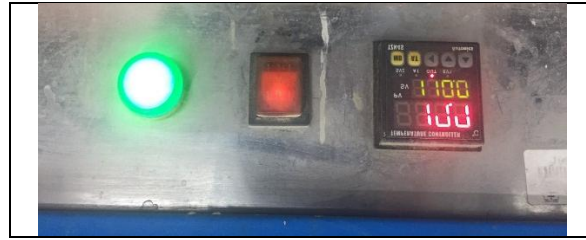


Fuente. El Autor

Posteriormente, se procedió a llevar las fibras de guadua AK natural y expuesta al horno a 110°C durante 24 horas (véase la Figura 18), luego se volvió a tomar el peso de ambas muestras obteniéndose como resultado un peso de 10.8 gramos (véase la Figura 19)

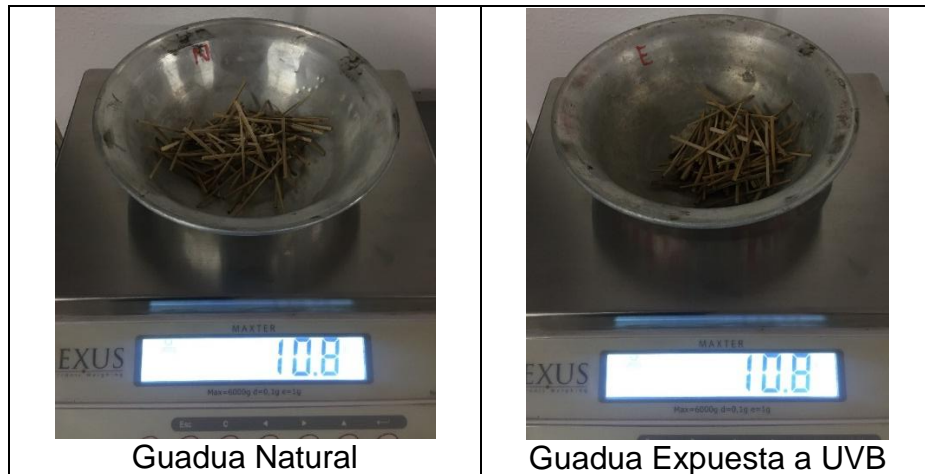
Figura 18. Fibras de Guadua Angustifolia Kunth Natural y Expuesta en el Horno





Fuente. El Autor

Figura 19. Fibras de Guadua Natural y Expuestas a Radiación UVB Después de Estar 24 Horas en el Horno a 110°C – Peso



Fuente. El Autor

Los resultados después del primer ensayo de la guadua AK fueron los siguientes

Tabla 3. Resultados primer Ensayo

Características	Fibras de Guadua en estado natural	Fibras de guadua expuestas a radiación UVB
Peso inicial	11.9 gramos	11.9
Peso Final	10.8 gramos	10.8 gramos
Contenido de humedad	$CH \left(\frac{11.9 - 10.8}{10.8} \right) * 100 = 10.18\%$	$CH \left(\frac{11.9 - 10.8}{10.8} \right) * 100 = 10.18\%$
Pérdida de peso	1.1g	1.1g
% pérdida de humedad	0.94%	0.94%

Fuente. El Autor

Como se puede observar las dos muestras de guaduas (natural y expuesta a radiación UVB), mostraron las mismas variaciones en cuanto a pérdida de peso y porcentaje de pérdida de humedad luego de ser puestas en el horno durante 24 horas.

Posteriormente las muestras se sometieron a saturación durante 24 horas para conocer su capacidad de absorción y retención de humedad (véase la Figura 20)

Figura 20. Fibras de Guadua Angustifolia Kunth Saturadas (Durante 24 Horas)



Fuente. El Autor

Una vez saturadas las muestras se tomaron nuevamente los pesos (véase la Figura 21), posteriormente se pusieron nuevamente en el horno a 110°C durante 24 horas (véase la Figura 22)

Figura 21. Peso guadua angustifolia Kunth expuesta a radiación UVB saturada (24 horas en agua)



Peso guadua angustifolia Kunth en estado natural

Peso guadua angustifolia Kunth en expuesta saturada

saturada

Fuente. El Autor

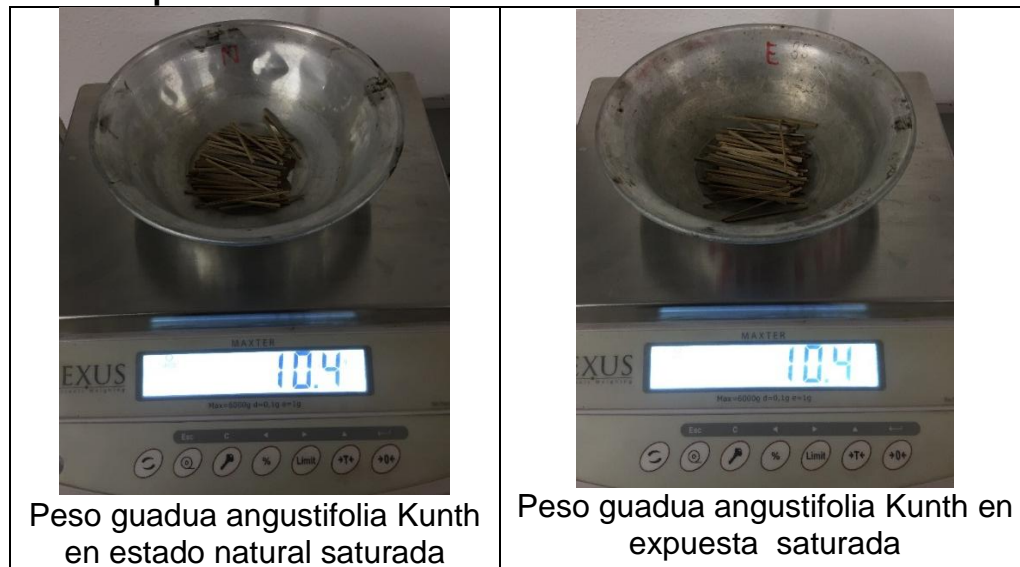
Figura 22. Fibras de Guadua Angustifolia Kunth Natural y Expuesta a Radiación UVB Después de Estar en el Horno 24 Horas



Fuente. El Autor

Nuevamente se pesaron las fibras de guadua natural y expuesta saturadas luego de estar en el horno durante 24 horas a 110°C (véase la Figura 23).

Figura 23. Fibras de Guadua AK Natural y Expuestas a Radiación UVB Saturadas Después de Estar 24 Horas en el Horno a 110°C - Peso



Fuente. El Autor

Los resultados después del segundo ensayo de la guadua AK fueron los siguientes:

Tabla 4. Resultados segundo Ensayo

Características	Fibras de Guadua en estado natural	Fibras de guadua expuestas a radiación UVB
Peso inicial	19.1 gramos	18.3 gramos
Peso Final	10.4 gramos	10.4 gramos
Contenido de humedad	$CH \left(\frac{19.1 - 10.4}{10.4} \right) * 100 = 83.65\%$	$CH \left(\frac{18.3 - 10.4}{10.4} \right) * 100 = 75.96\%$
Pérdida de peso	8.7g	7.9g
% pérdida de humedad	38.10%	32.79%
Peso Absorción agua:	7.2gramos	6.4gramos
Porcentaje Absorción humedad	31.53%	26.56%

Fuente. El Autor

Como se puede observar la muestra de fibras de guadua expuesta a radiación UVB mostraron pequeñas diferencias en comparación con la guadua en estado natural luego del proceso de saturación destacándose que:

- El contenido de humedad de los dos tipos de fibras (natural y expuesta a radiación UVB) tuvo el mismo valor de CH=10.18%
- Después de saturar durante 24 horas los dos tipos de fibras, los resultados fueron los siguientes: para fibras de guadua en estado natural CH=83.65% y para fibras de guadua expuestas a radiación UVB – CH=75.96%
- Estos valores de humedad muestran que las fibras de guadua expuestas a radiación tuvieron menor cantidad de absorción.
- La diferencia de contenido de humedad de la guadua expuesta a radiación UVB después de ser saturadas fue de 7.69% es decir, menor que la guadua en su estado natural.

2.2 CARACTERIZACIÓN DEL CONCRETO

De acuerdo con lo establecido por la normatividad colombiana respecto a los materiales de construcción, para el caso de la presente investigación concreto, éste debe cumplir con una serie de parámetros para la realización de las pruebas de laboratorio objeto de estudio.

En este sentido la NSR-12 en su título C Estructuras en Concreto, estipula que Los ensayos de materiales y del concreto deben hacerse de acuerdo con las normas técnicas colombianas, NTC, es este caso, los materiales cementantes deben cumplir con la norma NTC 121.

Por lo anterior, se usó una mezcla de concreto con agregados pétreo, pues, éstos permiten que se reduzca el uso de cemento por metro cúbico, contribuyendo además con la reducción de los cambios volumétricos resultantes del fraguado, curado y secado de la mezcla de concreto⁴⁰, además de garantizar que la mezcla tenga la calidad necesaria para los ensayos.

De acuerdo con lo anterior, para el diseño de la mezcla del concreto, se usaron agregados provenientes de la cantera CONCRESCOL ubicada en la ciudad de Bogotá, los cuales caracterizan las propiedades físicas de éstos de acuerdo a las normatividad para agregados en Colombia, obteniéndose por tanto las siguientes características (véase la Tabla 5).

⁴⁰ SARTA FORERO, Helo nickolas y SILVA RODRÍGUEZ, José Luís. Análisis comparativo entre el concreto simple y el concreto con adición de fibra de acero al 4% Y 6%. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Modalidad trabajo de investigación, 2017. p. 35

Tabla 5. Caracterización de los Agregados Pétreos Usados para el Diseño de la Mezcla

CARACTERIZACION DE LOS AGREGADOS PÉTREOS			
ENSAYO	METODO	REQUISITO	RESULTADO
GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO DE 1"	AASHTO T84-00 AASHTO T85 -91		2.51
GRAVEDAD ESP. APARENTE AGREGADO DE 1"			2.61
ADSORCION AGREGADO DE 1"			1.75%
GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO DE 3/4"			2.52
GRAVEDAD ESP. APARENTE AGREGADO DE 3/4"			2.65
ADSORCION AGREGADO DE 3/4"			1.85
GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO DE 1/2"			2.48
GRAVEDAD ESP. APARENTE AGREGADO DE 1/2"			2.65
ADSORCION AGREGADO DE 1/2"			2.20%
GRAVEDAD ESPECIFICA ARENA DE RIO			2.51
GRAVEDAD ESP. APARENTE ARENA DE RIO			2.64
ADSORCION ARENA DE RIO			1.68%
EQUIVALENTE DE ARENA			AASHTO T 176 - 02
CARAS FRACTURADAS A UNA CARA	ASTM D 5821-01	75% mínima	87%
LIMITES LIQUIDO Y PLASTICO	ASTM D 4318-00	0%	0%
INDICE DE ALARGAMIENTO	NLT 354-91	10% Máximo	9.50%
INDICE DE APLANAMIENTO	NLT 354-92	10% Máximo	9.50%
ATAQUE DE SULFATO DE MAGNESIO	ASTM C 88-99a	18% Máximo	12.90%
MICRODEVAL	AASHTO T 327-05	25% Máximo	22.30%
10% DE FINOS (RESISTENCIA EN SECO)	DNER ME 096-98	90kN mínima	115kN
10% DE FINOS (RELACION HUMEDO/SECO)		75% mínima	83%
RESISTENCIA MAQUINA DE LOS ANGELES	AASHTO T 96-02	35% Máximo	24.60%

Fuente Rondón, Hugo y Reyes, F (2015)

Así mismo, se realizó el análisis granulométrico, para determinar la distribución de partículas de los agregados por medio de tamizaje. Este se realiza después de tener una muestra de agregado seco previamente pesada, se separa “a través de una serie de tamices de aberturas progresivamente más reducidas para la determinación de la distribución de los tamaños de las partículas, donde se van registrando la cantidad en peso de material retenida en cada uno de los tamices”⁴¹, los cuales se realizaron teniendo en cuenta lo estipulado en la norma I.N.V. E - 123 - 13 determinación de los tamaños de las partículas de los suelos una granulometría (véase la Figura 7).

⁴¹ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACION. Ingeniería Civil y Arquitectura. Método para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos. NTC-77. Bogotá: ICONTEC, 1994, p. 2

Figura 24. Alistamiento de Grava y Tamizado Material (Concrecol)



Fuente. El Autor

Según los datos que se obtuvieron de los porcentajes que pasan en la gradación éstos cumplen con parámetros máximos y mínimos estipulados en la especificación, por lo cual el material es apto para mezcla de concreto, obteniendo un módulo de finura de 2,68 (véase la Tabla 6).

Tabla 6. Análisis granulométrico

TAMIZ	PESO RETENIDO (KG)	% RETENIDO	% RET. ACUMULADO	% QUE PASA	MODULO DE FINURA
1	0	0	0	100	
3/4	257,03	5,52	5,52	94,48	94,48
1/2	763,69	16,4	21,92	78,08	
3/8	648,93	13,94	35,86	64,14	64,14
4	1225,93	26,34	62,2	37,5	37,5
8	300,43	6,45	68,65	31,35	31,35
16	406,27	8,73	77,38	22,62	22,62
30	499,09	10,72	88,1	11,9	11,9
40	226,98	4,87	92,97	7,03	
50	159,04	3,42	96,39	3,61	3,61
80	108,95	2,34	97,66	1,27	1,27
100	13,31	0,28	98,65	0,99	0,99
200	28,31	0,61	99,03	0,38	
FONDO	9,27	0,2	99,21	0,18	
TOTAL	4647,23				2,68

Fuente. El Autor


Adicionalmente se usaron agregados con las siguientes características:

- Tamaño máximo nominal 1"
- Peso específico

➤Cemento Hidráulico Holcim UG Este producto está cubierto por el sello de calidad Icontec para cemento de uso general de acuerdo con la norma NTC 121 (V. 2014) cuya densidad es de 2.75 g/cm³ (véase la Figura 25)

Figura 25. Datos Técnicos del Cemento Hidráulico Usado en el Diseño de la Mezcla

Datos Técnicos	
Parámetros	Tipo UG Uso General
Parámetros Físicos	
Fraguado Inicial (max, minutos)	90
Fraguado Inicial (max, minutos)	300
Expansión a la autoclave (max)	0,8
R3d (min MPa)	8
R7d (min MPa)	15
R28d (min MPa)	24



Fuente. HOLCIM. Cemento Tipo UG [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 15 septiembre, 2019]. Disponible en Internet: <<https://www.holcim.com.co/productos-y-servicios/cemento/cemento-tipo-ug>>

2.2.1 Diseño de mezcla de concreto inicial. En cuanto al concreto reforzado la NSR-12 Título C, hace referencia que para concreto compuesto por fibras dispersas de acero debe ser corrugado y cumplir con NTC 5214 (ASTM A820M). Las fibras de acero deben tener una relación de longitud a diámetro no menor a 50 y no mayor a 100. Así mismo establece que, el concreto reforzado con fibra de acero se considera aceptable para resistencia, si la masa de las fibras de acero corrugadas por metro cúbico de concreto es mayor o igual a 60 kg.

De acuerdo con lo anterior, para el diseño de la mezcla con el uso de fibras de guadua AK, se tuvo en cuenta las estipulaciones y requerimientos de la NSR-12 para el uso de fibras de acero, siendo este el material que se desea reemplazar por la guadua. Por tanto, una vez se tuvieron los materiales para el diseño de la mezcla de concreto inicial se procede a determinar el diseño de la misma, como se muestra a continuación:

➤**Cemento.** Para determinar la cantidad de cemento para la mezcla se aplica lo siguiente:

$$C = \frac{183}{0.62} = 297 \text{ kg}$$

➤**Agua.** Cantidad de agua en l/m³ 183 litros

➤**Relación agua cemento.** La cual se terminó de la siguiente manera:

$$R = \frac{A}{C} = \frac{6}{9} = 0.62$$

De acuerdo con estos valores y los agregados pétreos se obtiene el siguiente diseño de la mezcla inicial (véase la Tabla 7)

Tabla 7. Diseño de Mezcla de Concreto Inicial

DISEÑO CONCRETO 1:2:3 DE 3000 psi				
MATERIAL	PESO (Kg)	MAS DESPERDICIO	PESO (Kg)	PORCENTAJE (%)
Grava Mixta	16.890	10%	18579	25,45
Grava Gruesa	11.960		13156	18,02
Grava Fina	4		4,40	0,01
Cemento	12.876		14164	19,40
Arena	24.632		27095	37,11
Agua	6		6,60	0,009
Guadua (Natural y Expuesta a UVB)	0,082	N/A	0,09	0,0001
Guadua (50% más que ensayo inicial)	0,123	N/A	0,14	0,0002
TOTAL			73.005	100
Peso Aprox 6 Cilindros			12168	

Fuente. El Autor

Una vez se tiene la mezcla se procedió al alistamiento de materiales para fundir 6 cilindros de concreto inicial (véase la Figura 26).

Figura 26. Alistamiento de Material Según Diseño Establecido



Adición de agua	Mezcla
-----------------	--------

Fuente. El Autor

Una vez la mezcla está lista se preparan los cilindros del concreto inicial (véase la Figura 27)

Figura 27. Preparación de Cilindros



Toma de Slump para concreto inicial

Fuente. El Autor

Figura 28. Fundida de Cilindros Concreto Inicial



Fundida de Cilindros Concreto Inicial

Desencofrado cilindros concreto inicial

Fuente. El Autor

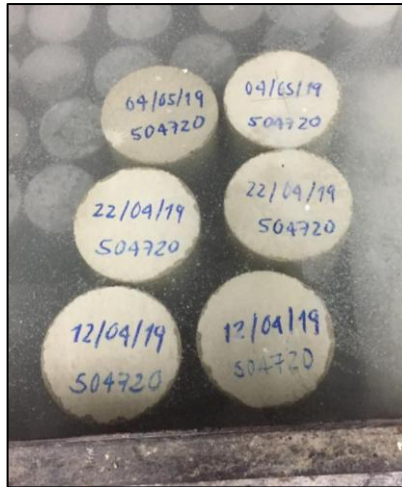
Figura 29. Marcado Cilindros para Fallar a 7-14-28 Días Concreto Inicial



Fuente. El Autor

Una vez los cilindros están listos se procede a realizar el curado (véase la Figura 30)

Figura 30. Curado de Cilindros Concreto Inicial



Fuente. El Autor

2.2.1 Diseño de mezcla concreto reforzado con fibras de guadua angustifolia Kunth en estado natural y expuesta a radiación UVB. Teniendo en cuenta el diseño de mezcla establecido en la Tabla 7, se procedió al alistamiento de materiales (véase la Figura 31) para fundir 18 cilindros de concreto reforzado discriminados de la siguiente manera:

➤6 Cilindros de concreto reforzado con fibras de guadua angustifolia Kunth en estado natural

➤6 Cilindros de concreto reforzado con fibras de guadua angustifolia Kunth expuesta a radiación UVB.

➤6 Cilindros de concreto reforzado con 50% más de fibras de guadua angustifolia Kunth en estado natural

Figura 31. Alistamiento de Material Según Diseño Establecido



Fuente. El Autor

Una vez la mezcla está lista se preparan los cilindros del concreto reforzado (véase la Figura 32)

Figura 32. Preparación de Cilindros



Fuente. El Autor

Figura 33. Fundida de Cilindros Concreto Reforzado con Fibras de Guadua AK.



Fuente. El Autor

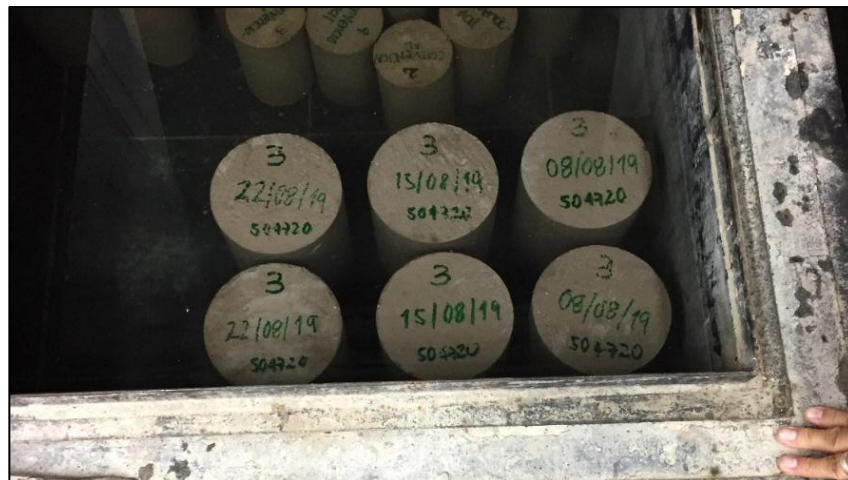
Figura 34. Marcado Cilindros para Fallar a 7-14-28 Días Concreto Reforzado



Fuente. El Autor

Una vez los cilindros están listos se procede a realizar el curado (véase la Figura 35)

Figura 35. Curado de Cilindros Concreto Reforzado



Fuente. El Autor

3. ANÁLISIS DE DIFERENCIAS DE RESISTENCIA MECÁNICA ENTRE UN CONCRETO TRADICIONAL, Y UN CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE GUADUA EN ESTADO NATURAL Y EXPUESTAS A RADIACIÓN UVB

3.1 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CILINDROS DE CONCRETO NORMA I.N.V. E - 410

Este método de ensayo consiste en “aplicar una carga axial de compresión a cilindros moldeados o a núcleos, a una velocidad de carga prescrita, hasta que se presente la falla. La resistencia a la compresión del espécimen se determina dividiendo la carga aplicada durante el ensayo por la sección transversal de éste”⁴².

Los cilindros de concreto fueron medidos tanto en altura como en diámetro para los tres tiempos de curado (7, 14 y 28 días) (véase la Figuras 36 y 37), registrando su peso (véase Anexo A. Registro Fotográfico de la Investigación), para posteriormente aplicar la carga axial para determinar su resistencia a compresión (véase la Figura 38).

Figura 36. Medidas de Muestras de Concreto



Fuente. El Autor

⁴² INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS INVIAS. Resistencia A La Compresión De Cilindros De Concreto. I.N.V. E - 410 - 07. Bogotá: INVIAS, 2007.

Figura 37. Toma de Peso de Cilindros de Concreto



Fuente. El Autor

Figura 38. Compresión de muestras de concreto



Fuente. El Autor

3.2 RESULTADOS ENSAYO A COMPRESIÓN

De acuerdo con el portal Construcción y Tecnología del Concreto, conocer la evolución de la resistencia a la compresión de concreto en investigaciones y estudios, es de suma importancia pues, con esto se puede “predecir la resistencia que éste puede tener a los 28 días, respecto a la que posea a los 14 o 7 días e incluso, a una menor edad. Debido a las distintas variables que intervienen en la evolución de la resistencia a la compresión con la edad, se hace complejo establecer alguna regla general para su predicción. Esta es la razón por la que se sugiere que debe determinarse la relación de las resistencias versus el tiempo de maduración”⁴³.

⁴³ CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DEL CONCRETO. Medida del desempeño real del concreto en línea. México citado 14 octubre, 2018. Disponible en internet: <URL: [http://www.imcyc.com/revistacyt/septiembre 2013/pdfs/ingenieria.pdf](http://www.imcyc.com/revistacyt/septiembre%202013/pdfs/ingenieria.pdf)>

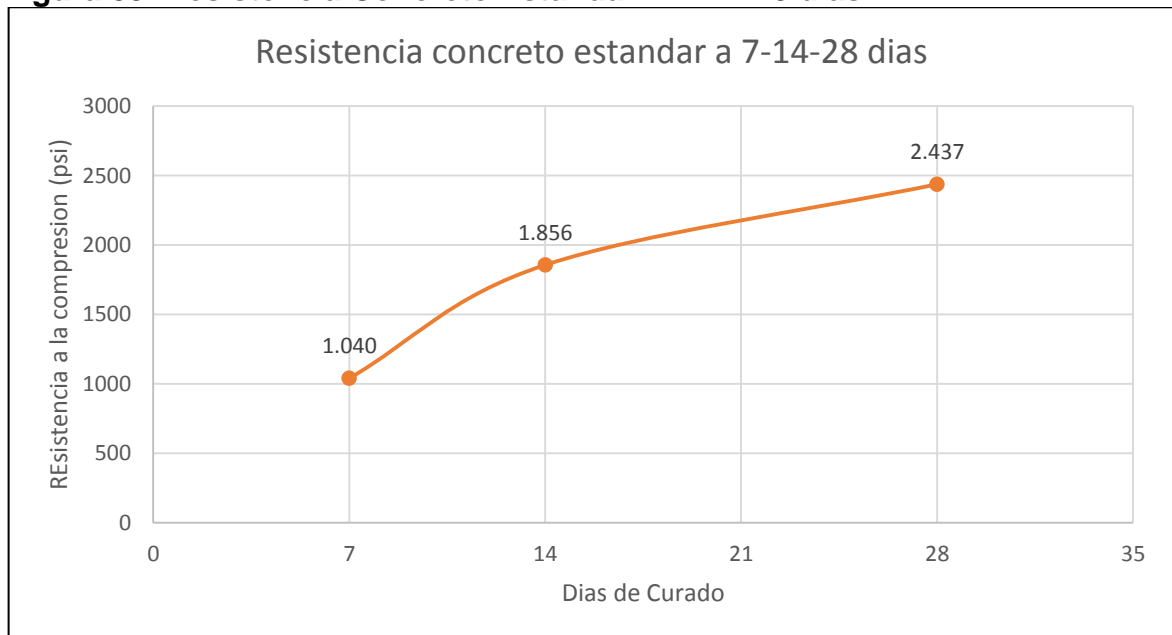
De acuerdo con lo anterior, para la presente investigación se analizaron los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión del concreto en las diferentes muestras elaboradas, es decir, concreto estándar, concreto reforzado con fibras de guadua *Angustifolia Kunth* en estado natural, concreto reforzado con fibras de guadua *Angustifolia Kunth* expuesta a radiación UVB, y concreto reforzado con un 50% más de fibras de la mezcla inicial de guadua *Angustifolia Kunth* en estado natural, durante los períodos de análisis para cada una (7, 14 y 28 días), y así posteriormente, realizar la debida comparación de resultados de las 4 muestras y determinar en cual se evidencia mayor resistencia a la compresión del concreto. A continuación, se puede observar los resultados (véase las Tablas 8, 9, 10 y 11 y, las Figuras 39, 40, 41 y 42).

Tabla 8. Concreto Estándar

Concreto estándar			
Días	Fecha ensayo compresión	CARGA MAXIMA (kgf)	
		Cilindro 1	Cilindro2
7	12/04/2019	15000	13000
14	22/04/2019	25000	24500
28	04/05/2019	23000	32000

Fuente. El Autor

Figura 39. Resistencia Concreto Estándar 7- 14 – 28 días



Fuente. El Autor

Realizando el respectivo ensayo de compresión a 7-14 y 28 días de curado la muestra de concreto estándar, se puede observar que éste no llegó a los 3000 psi,

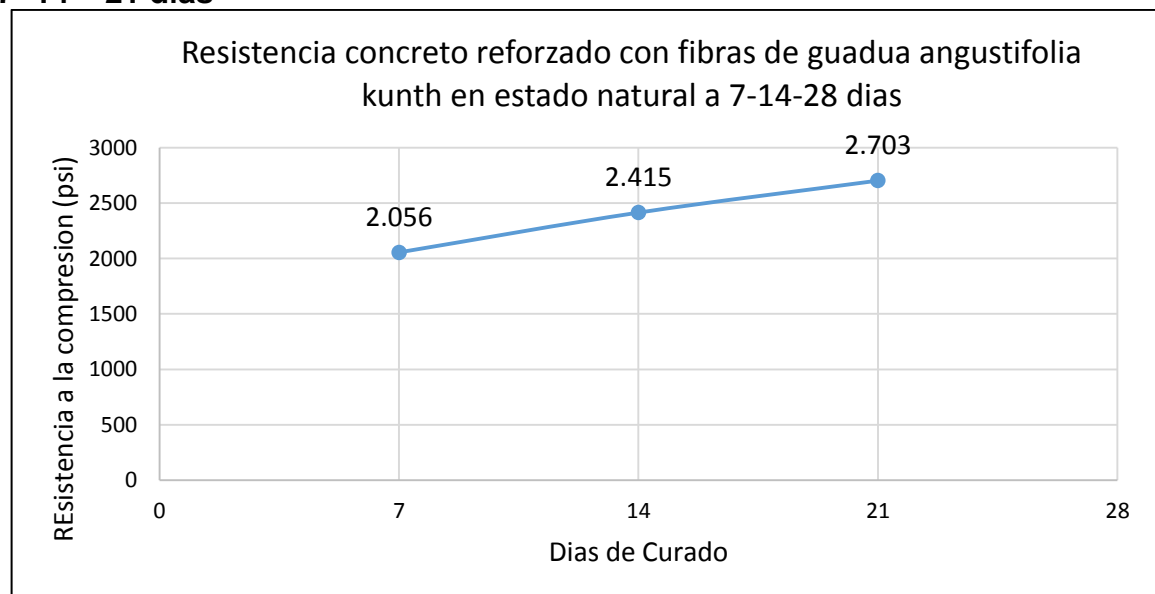
el dato de resistencia más alto (cilindro#2) a los 28 días fue 2437 psi, se obtuvo el 81.23% del valor de resistencia esperado.

Tabla 9. Concreto con Fibras de Guadua AK en Estado Natural

Concreto con fibras en estado natural			
Días	Fecha ensayo compresión	CARGA MAXIMA (kgf)	
		Cilindro 1	Cilindro2
7	23/04/2019	26250	28000
14	30/04/2019	30000	31000
21/28	07/05/2019	34000	33000

Fuente. El Autor

Figura 40. Resistencia Concreto con Fibras de Guadua AK en Estado Natural 7- 14 – 21 días



Fuente. El Autor

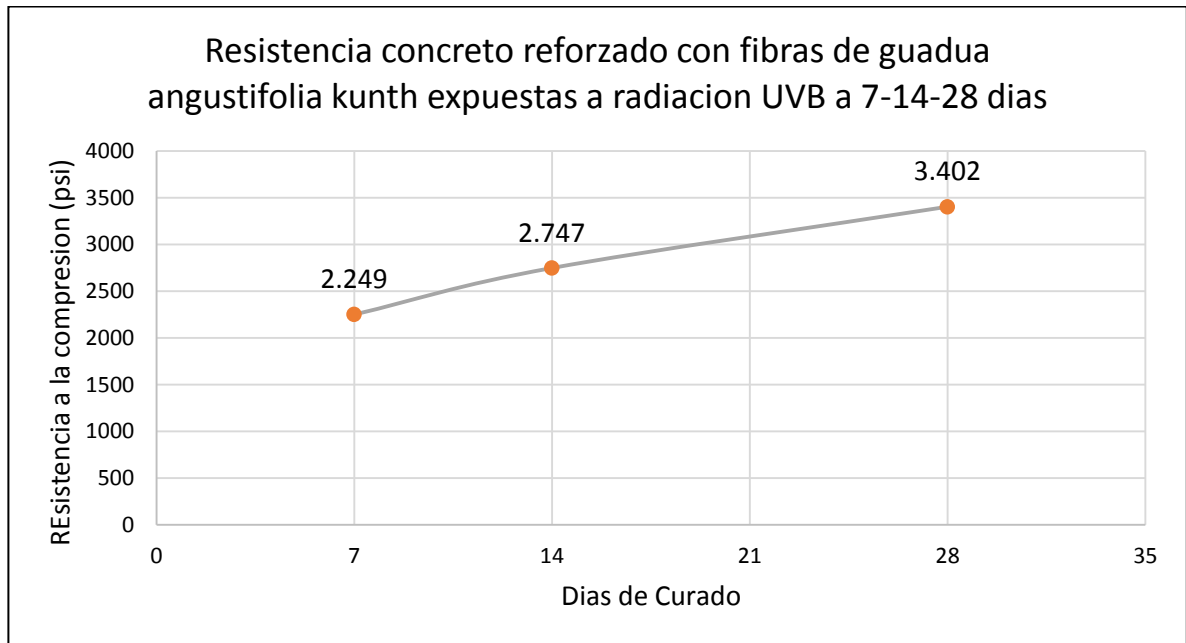
Realizando el respectivo ensayo de compresión a 7-14 y 21 días de curado, la muestra de concreto reforzado con fibras de guadua angustifolia Kunth en estado natural, se obtuvo que a los 21 días de curado llegó a una resistencia de 2703 psi, con un porcentaje de resistencia de 90.1%, mientras que a los 21 días (faltando 7 días para su curado final), la muestra se encontraba en un rango de porcentaje muy favorable, lo que indicó que a 28 días, el valor de resistencia estará sobre los 3000 psi, este valor no se pudo establecer debido a limitaciones de tiempo en la realización de la investigación, por cuanto, y teniendo en cuenta el comportamiento que estaba presentando la muestra se estimó que seguiría mejorando.

Tabla 10. Concreto con Fibras de Guadua AK expuestas a radiación UVB

Concreto con fibras expuestas a radiación UVB			
Días	Fecha ensayo compresión	CARGA MAXIMA (kgf)	
		Cilindro 1	Cilindro2
7	08/08/2019	30000	27000
14	15/08/2019	36000	35000
28	31/08/2019		

Fuente. El Autor

Figura 41. Resistencia Concreto con Fibras de Guadua AK expuestas a radiación UVB 7- 14 – 28 días



Fuente. El Autor

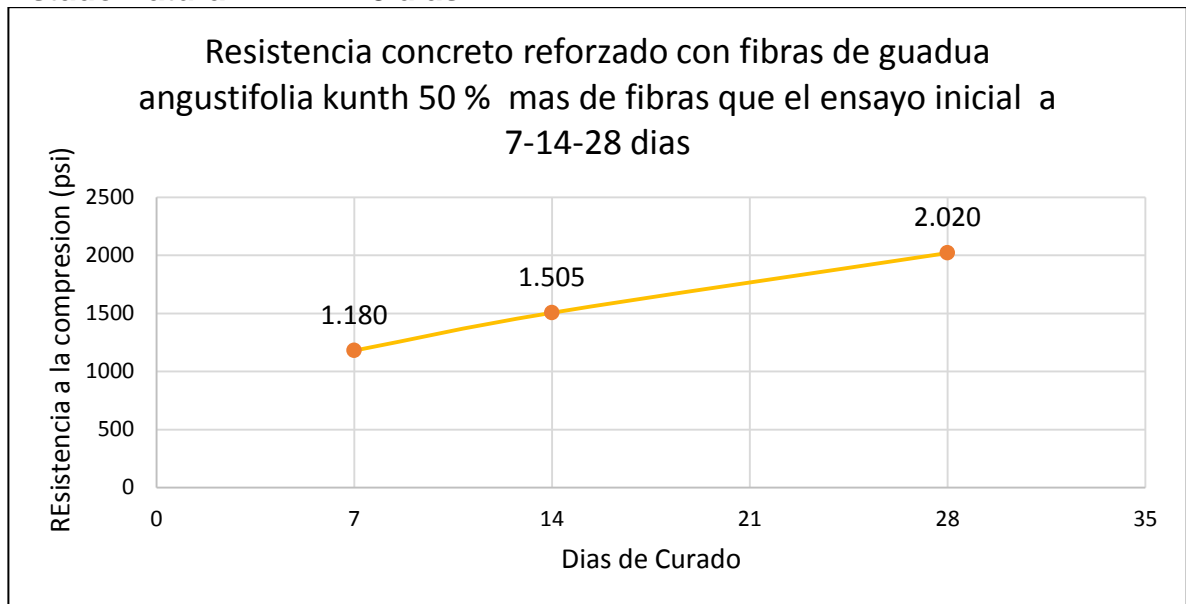
Realizando el respectivo ensayo de compresión a 7-14 y 28 días de curado la muestra de concreto reforzado con fibras de guadua angustifolia Kunth expuestas a radiación UVB, se observó que éste continúa mejorando durante 17 días, llegando a una resistencia promedio a los 28 días de curado de 3402 psi superando el resultado esperado con un porcentaje de 113.4% del 100% de la resistencia total.

Tabla 11. Concreto con 50% más de Fibras de Guadua AK en Estado Natural

Concreto con 50% más de Fibras naturales			
Días	Fecha ensayo compresión	CARGA MAXIMA (kgf)	
		Cilindro 1	Cilindro2
7	08/08/2019	16000	14500
14	15/08/2019	20000	20000
28	31/08/2019		

Fuente. El Autor

Figura 42. Resistencia Concreto con 50% más de Fibras de Guadua AK en Estado Natural 7- 14 – 28 días



Fuente. El Autor

Se quiso determinar si la resistencia del concreto mejoraría usando un 50% más de fibras de guadua (equivalente a 41 gramos), en comparación con el ensayo inicial (82 gramos) para un total de 123 gramos; observándose que los resultados de resistencia a 28 días de curado fueron 2020 psi con un porcentaje de resistencia del 67.3% es decir, que no presentó mejoras en la resistencia del concreto sino que por el contrario se tuvo una disminución de 22.8%.

En este sentido, González (2001) expone que “como refuerzo para el concreto, la utilización de guadua tropieza con la poca adherencia que desarrolla en la matriz. La variación volumétrica del material responsable por la aparición de fisuras longitudinales en el concreto reforzado con bambú provoca la disminución de su carga y empeora la adherencia entre el concreto y el bambú; tales fisuras aumentan cuando el porcentaje de bambú en la matriz de concreto es alto”⁴⁴, lo que se evidencia claramente con los resultados de la muestra del concreto con 50% más de guadua, quedando claro entonces que, a mayor cantidad de guadua, menor resistencia debido a fisuramiento del concreto

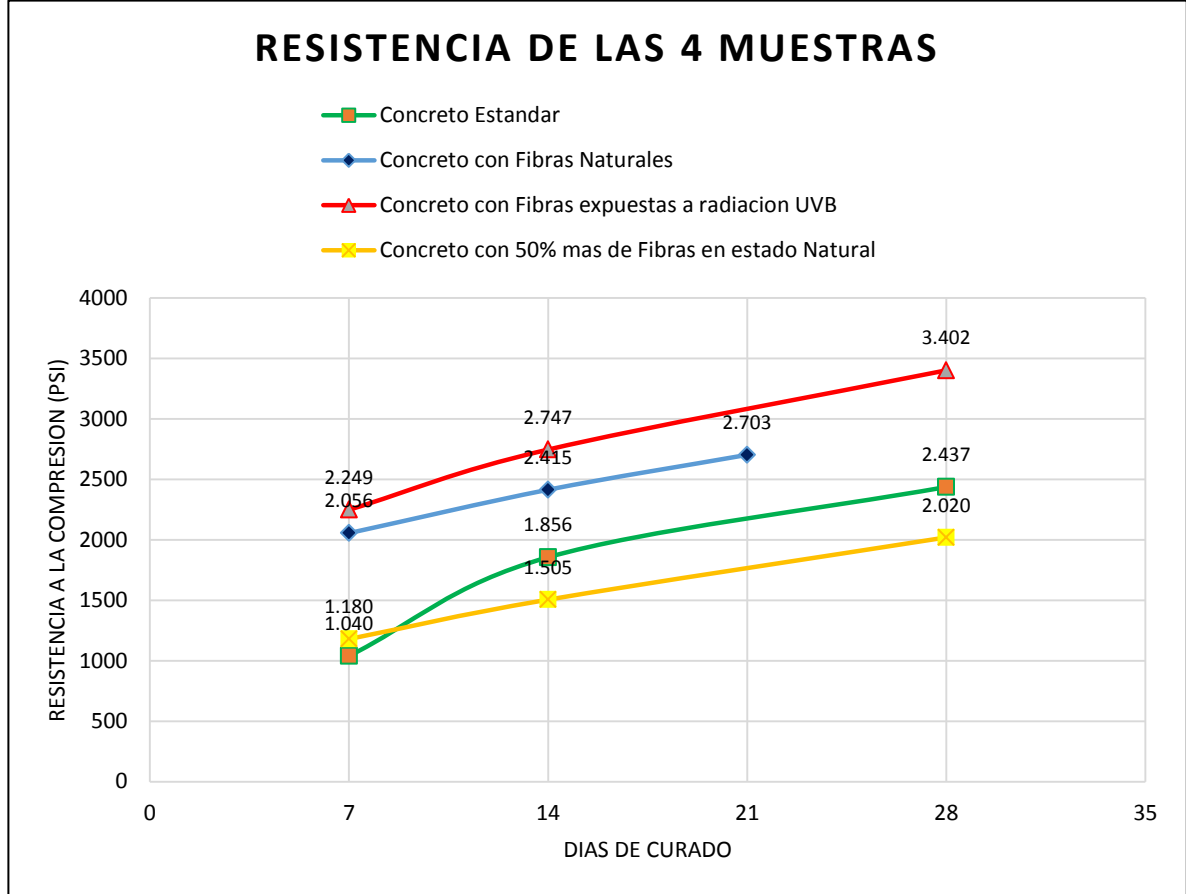
3.3 COMPARACIÓN DE RESISTENCIAS DE LAS CUATRO MUESTRAS

Para realizar el análisis comparativo se tomaron los resultados obtenidos del ensayo de resistencia para las cuatro muestras de estudio en los tres tiempos de

⁴⁴ GONZÁLEZ SALCEDO, Op. Cit., p. 30

curado y se compararon, obteniéndose los siguientes resultados (véase la Figura 43).

Figura 43. Comparación Resistencia de las Cuatro Muestras de Concreto



Fuente. El Autor

Como se puede observar la resistencia del concreto mejora notablemente con la adición de fibras de guadua en sus dos estados, sin embargo, la resistencia del concreto reforzado con fibras de guadua angustifolia Kunth expuesta a 7 días de radiación UVB, presenta un mejor comportamiento desde los primeros días de curado, evidenciándose a los 7 días una resistencia de 2.249 psi es decir que tuvo un 54% más de resistencia que el concreto estándar y un 9% más que el concreto reforzado con guadua en estado natural; mientras que para el curado a 28 días se tuvo un aumento en la resistencia a la compresión de 40% respecto al concreto estándar y un 21% al concreto con guadua en estado natural.

3.4 COMPARACIÓN DE RESISTENCIAS DE LAS MUESTRAS DE CONCRETO REFORZADO CON GUADUA EN SUS DOS ESTADOS

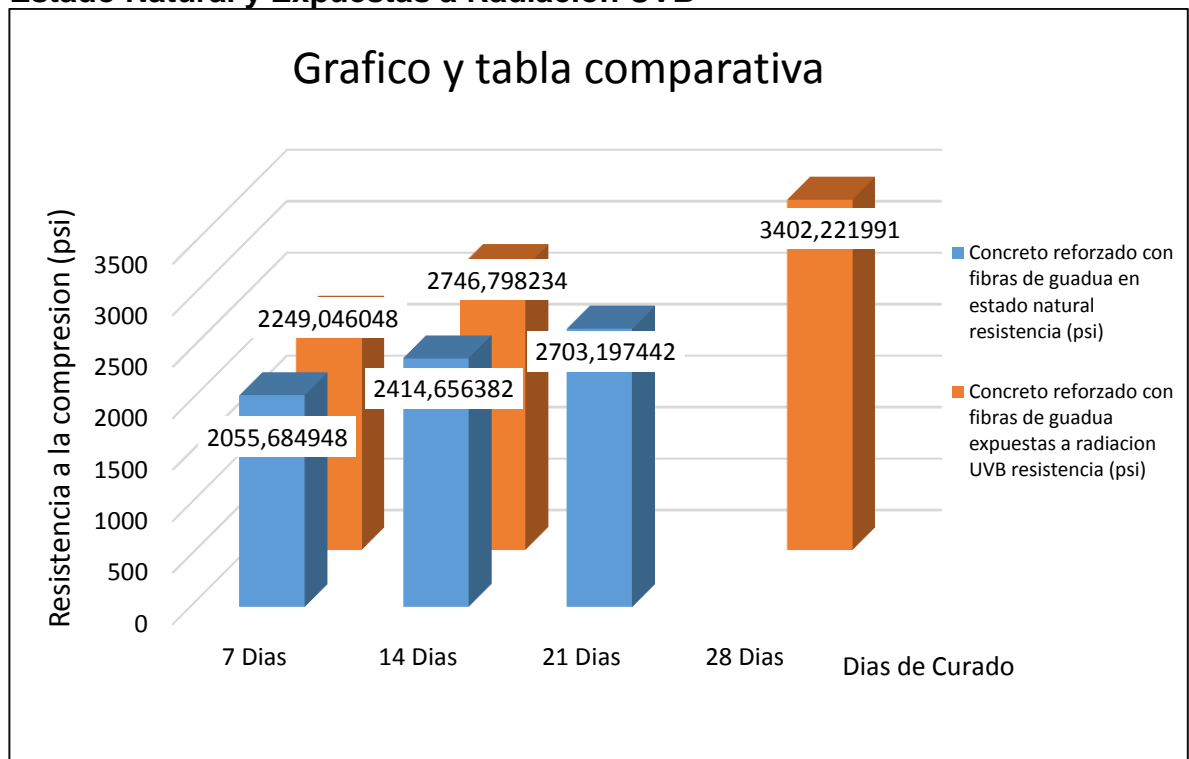
Al hacer la comparación de las resistencias obtenidas para las muestras del concreto reforzado con guadua en sus dos estados se puede observar las siguientes diferencias (véase la Tabla 11 y la Figura 44).

Tabla 12. Comparación de Concreto Reforzado con Fibras de Guadua AK en Estado Natural y Expuestas a Radiación UVB

TABLA COMPARATIVA FIBRAS EN ESTADO NATURAL Y FIBRAS EXPUESTAS		
Días de curado	Concreto reforzado con fibras de guadua en estado natural resistencia (psi)	Concreto reforzado con fibras de guadua expuestas a radiación UVB resistencia (psi)
7 Días	2056	2249
14 Días	2415	2747
21 Días	2703	
28 Días		3402

Fuente. El Autor

Figura 44. Comparación de Concreto Reforzado con Fibras de Guadua AK en Estado Natural y Expuestas a Radiación UVB



Fuente. El Autor

Como se puede observar, los resultados mostraron un mejor comportamiento de la resistencia del concreto con la guadua expuesta, sin embargo, no se ha podido establecer la razón de esta variación tan significativa, puesto que las investigaciones sobre los efectos de la radiación UVB en la guadua han mostrado “cambios considerables en la densidad de fibras y el peso específico que presenta

el material los cuales se ven afectados cuando varia su contenido de humedad”⁴⁵, lo que podría ser el causante de las variaciones de las resistencia, sin embargo, esto solo se podrá comprar con el estudio de las propiedades químicas de la guadua natural y expuesta para analizar sus variaciones y cuáles pueden ser las causantes del mejoramiento de comportamiento de la resistencia del concreto.

⁴⁵ AGUIRRE MORA, Cristhian David. Efectos de la radiación UV en presencia de humedad y temperatura en la Guadua. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Modalidad trabajo de grado, 2018.

4. CONCLUSIONES

- La adición de fibras de guadua angustifolia Kunth en estado natural (CH=10.8%) a la muestra de concreto, mejoró la resistencia a la compresión del concreto en comparación con el concreto estándar
- La adición de fibras de guadua angustifolia Kunth expuestas a radiación UVB (CH=10.8%) fue el mejor resultado de las 4 muestras de concreto que se prepararon, su resistencia a 28 días de curado sobrepasó el porcentaje esperado siendo este el valor de 113.4% (3.402 psi)
- El contenido de humedad inicial para los dos tipos de fibras (natural y expuestas) arrojó el mismo valor 10.8%, sin embargo, se pudo determinar que varias de las características de la guadua expuesta varía en comparación con la guadua natural.
- Se determinó usar un 50% más de fibras de guadua en estado natural (123gr.) que el ensayo inicial, para evaluar si el concreto aumentaría su resistencia a la compresión, el resultado no fue positivo, de igual modo el valor de resistencia obtenido a 28 días de curado con el porcentaje de guadua planteado inicialmente dio un valor superior al esperado, permitiendo determinar que el porcentaje ideal para obtener la máxima resistencia es muy cercano a 82 gramos de guadua angustifolia-Kunth.
- En términos generales la fibra de guadua angustifolia Kunth genera que el concreto sea más resistente, dúctil cuando es sometido a fuerzas axiales de compresión.
- Se determinó que el uso de guadua angustifolia Kunth como material para la construcción es bueno gracias a sus propiedades de resistencia, por lo tanto, es posible diseñar un concreto reforzado con fibras naturales que presente mayor capacidad de carga y que a la vez sea más amigable con el medio ambiente.
- La implementación de fibras de guadua angustifolia Kunth como material de refuerzo en el concreto, es más económico comparado con otro tipo de materiales como fibras de acero, o fibras plásticas, debido a que la obtención de las fibras de guadua AK es más sencilla de realizar, esto podría tener un beneficio económico en la obtención del material.
- Según los resultados obtenidos, que fueron positivos, se dará continuidad al estudio del concreto reforzado con fibras de guadua angustifolia Kunth en la Fase III del semillero de investigación SiGesCo, con el fin de utilizar este concreto en la cimentación de un proyecto en vivienda de interés social (VIS)

5. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar una investigación que analiza el comportamiento del concreto con porcentajes menores que el propuesto (123gr.)
- Se recomienda realizar una investigación en la cual se estudie la guadua en estado natural y la guadua expuesta a radiación UVB, realizando pruebas de composición físico química, para determinar variaciones que puedan dar respuesta al aumento de la resistencia del concreto reforzado con fibras de guadua expuestas.
- Se recomienda emplear estudios adicionales relacionados con la impermeabilización de las fibras de guadua con el fin de no tener inconvenientes a futuro con la descomposición del material.
- Se sugiere realizar un estudio económico del uso de fibras de guadua como material de refuerzo en el concreto, esto con el fin de determinar si tiene viabilidad económica para utilizarla en este tipo de mezclas en comparación con el concreto natural y reforzado con otro tipo de materiales como fibras de acero y plástico.

BIBLIOGRAFÍA

AGENCIA DE NOTICIAS UNIVERSIDAD NACIONAL. Guadua bamboo fibers are useful for cement reinforcing [en línea]. Manizales: Unimedios [citado 14 septiembre, 2019]. Disponible en Internet: <URL: http://agenciadenoticias.unal.edu.co/index.php?id=1937&L=2&tx_ttnews%5Btt_news%5D=68227&cHash=cd47d74c59b2b7562c16274df83bad8a>

AGUIRRE MORA, Cristhian David. Efectos de la radiación UV en presencia de humedad y temperatura en la Guadua. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Modalidad trabajo de grado, 2018.

ALFARO, Franciz. Briquetas [en línea]. Bogotá: Academia.edu [citado 8 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.academia.edu/9919687/Briquetas>>

ANTILLON, Jorge. Uso de fibras en el concreto [en línea]. México: Revista Construcción y Tecnología en Concreto [citado 8 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.revistacyt.com.mx/pdf/enero2016/experto.pdf>>

ARBELÁEZ ARCE, Anacilia. Morteros reforzados con fibras de bamboo [en línea]. Bogotá: Universidad Nacional [citado 12 febrero, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <http://bdigital.unal.edu.co/30049/1/28797-103428-1-PB.pdf>>

ARCHILA, Héctor; KAMINSKI, Sebastian; TRUJILLO, David; ZEA, Edwin; y HARRIES, Kent A.. Bamboo reinforced concrete: a critical review. En: Materials and Structures. Febrero. marzo, 2018. vol., 51, no. 102, p. 101

ARGOS. Calidad y aspectos técnicos resistencia mecánica del concreto y compresión [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 5 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <https://mniapsccp01.azurewebsites.net/comunidad360/blog/detalle/category/calidad-y-aspectos-tecnicos/resistencia-mecanica-del-concreto-y-compresion>>

ARQYTEC. Hormigón prefabricado con fibras [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 12 febrero, 2019]. Disponible en Internet: <URL: <http://arqytec.blogspot.com/2010/05/hormigon-prefabricado-con-fibras.html>>

BOBETON. Ventajas del hormigón con fibras de acero [en línea]. Madrid: La Empresa [citado 8 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <https://bobeton.es/ventajas-del-hormigon-armado-con-fibras-de-acero-frente-al-tradicional/>>

CIVILGEEKS. Prueba de resistencia a la compresión del concreto [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 8 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <https://civilgeeks.com/2017/08/24/prueba-resistencia-la-compresion-del-concreto/>>

CLAYTON, W.D.; HARMAN, K.T. y WILLIAMSON, H. GrassBase - The Online World Grass Flora Descriptions [en línea]. London: Royal Botanic Gardens [citado 8 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.kew.org/data/grasses-db.html>>

COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL. reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR 10. Título D. Mampostería estructural. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2012. p. 14.

COLOMBIA. MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES. III Seminario internacional de bambú. Programa agricultura tropical sostenible. Memorias. Estado Yaracuy: Fundación para la Investigación Agrícola DANAC, 2003.

CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DEL CONCRETO. Medida del desempeño real del concreto [en línea]. México [citado 14 octubre, 2018]. Disponible en internet: <URL: <http://www.imcyc.com/revistacyt/septiembre2013/pdfs/ingenieria.pdf>>

EDUCALINGO. Guadua [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 8 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <https://educalingo.com/es/dic-es/guadua>>

ESPITIA, Martín; SJOGREEN, Carlos; RODRÍGUEZ, Nelson; CALDERÓN, Jeimy; BENAVIDES, Alisson; PERAZA, Ricard; ESPITIA, Geraldine; NEMOCON, Ricardo. Mechanical and physical characterization of Guadua angustifolia 'Kunth' fibers from Colombia. En: Revista UIS Ingenierías. September – october, 2018. vol. 17, no. 2, p. 33-40.

GONZÁLEZ SALCEDO, Luis Octavio. Uso del bambú en el concreto reforzado. Palmira: Universidad Nacional De Colombia, 2001. p. 17

GRCA INTERNATIONAL. Horcmigón reforzado con fibra de vidrio o GRC [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 8 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.grca.org.uk/about-grc.php>>

GUADUA Y BAMBU. Guadua Angustifolia Kunth [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 5 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <https://guaduarybambu.es.tl/estudio-1.htm>>

HERRERA, Edgar y SABOGAL, Aureliano. La Guadua. Quindio: CRQ, 1999. p. 42.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACION. Ingeniería Civil y Arquitectura. Método para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos. NTC-77. Bogotá: ICONTEC, 1994, p. 2

INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO. Pruebas de Resistencia a la compresión del concreto [en línea]. México: IMCC [citado 8 septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.imcyc.com/ct2006/junio06/PROBLEMAS.pdf>>

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS INVIAS. Resistencia A La Compresión De Cilindros De Concreto. I.N.V. E – 410 – 07. Bogotá: INVIAS, 2007.

JAVADIAN, Alireza; SMITH, Ian; SAEIDI, Nazanin and HEBE, Dirk E. Mechanical Properties of Bamboo Through Measurement of Culm Physical Properties for Composite Fabrication of Structural Concrete Reinforcement. En: *Frontiers in Materials*. February, 2019. vol. 6, no. 15|, p. 2

JUAREZ ALVARADO, Cesar Antonio. Concretos base cemento portland reforzados con fibras naturales (agave lecheguilla). Como materiales para construcción en México. México: Universidad Autónoma de Nuevo Leon. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Modalidad trabajo de doctorado en Ingeniería, 2002.

MARRERO, R.E.; SOTO, H. L.; BENÍTEZ, F. R.; MEDINA, C. y SUÁREZ, O.M. Study of high-strength concrete reinforced with bamboo fibers. En: *Materials for Energy, Efficiency and Sustainability: TechConnect Briefs*, 2017. p. 301

OSORIO, Jairo; VARON, Fredy y HERRERA, Jhonny. Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar. Medellín: Dyna, 2007. Vol. 74, 153, págs. 69-79.

QUINTERO DÁVILA, Mauricio y NEVES MONTEIRO, Sergio. Composites of Portland cement and fibers of *Guadua angustifolia* Kunth from Colombia. En: *Journal of Composite Materials*. August 2018, vol. 53, no. 7 .

QUINTERO DÁVILA, Mauricio; NEVES MONTEIRO, Sergio y COLORADO, Henry A. Composites of Portland cement and fibers of *Guadua angustifolia* Kunth from Colombia. In: *Journal of Composite Materials*. Agosto, 2018. vol. 53, no. 7.

RAMOS SALCEDO, Heisin. Aplicación de Fibras Estructurales a los Pilotes tipo CPI 8. Catalonia: Universidad Politécnica de Catalonia. Facultad de Ingeniería de Estructuras y Construcción. Modalidad trabajo de Master en Ingeniería Civil, 2012. p. 22

REVISTA EMB COSTRUCIÓN. Fibras en hormigones y morteros de cemento [en línea]. Santiago: La Revista [citado 20 febrero, 2019]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=1535&tip=4&xit=fibras-en-hormigones-y-morteros-de-cemento>>

SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del concreto y del mortero. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2001.p. 138

SARTA FORERO, Helo nickolas y SILVA RODRÍGUEZ, José Luís. Análisis comparativo entre el concreto simple y el concreto con adición de fibra de acero al 4% Y 6%. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Modalidad trabajo de investigación, 2017. p. 35

SOCIEDAD COLOMBIANA DE BAMBU. Investigaciones de Guadua [en línea]. Bogotá: La Sociedad [citado 5, septiembre, 2018]. Disponible en Internet: <<http://bambuguadua.org/>>

USDA, ARS, NATIONAL GENETIC RESOURCES PROGRAM. Germplasm Resources Information Network [en línea]. Washington USDA [citado el: 12 de SEPTIEMBRE de 2018.] <http://www.ars-grin.gov.4/cgi-bin/npgs/html/gnlist.pl?1465>.