



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

**DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**ADICIÓN DE FIBRAS DE GUADUA ANGUSTIFOLIA PARA
EVALUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO
MECÁNICO DE VIGAS DE HORMIGÓN**

MOREIRA MAÑAY ANDRÉS SANTIAGO

DIRECTOR: ING. OSCAR JARAMILLO

QUITO, 2021

DEDICATORIA

A Dios y a la virgen Dolorosa mis más grandes inspiradores, con su gracia lo tengo todo.

A mis padres Fausto y Mónica quienes me han dado la vida, educación, consejos y ser ese soporte necesario para cumplir este sueño.

A mis hermanas Fer y Majo quienes son mi ejemplo, confiando ser el suyo también.

A mis seres queridos por su apoyo, pero sobre todo a mi abuelito Jorge que desde el cielo me transmitió su amor y pasión por la ingeniería civil, la misma que la llevo en la sangre, convirtiéndome en el primer nieto en seguir sus pasos. A mis tíos Jorge, Juan, Andrés; por llevarme a obra para enseñarme lo maravilloso de esta profesión.

A mis abuelitos Hilda y James por tenerme siempre en sus oraciones y por siempre creer en mí, espero nunca defraudarlos, gracias por ser incondicionales.

A MaryAnnie a quien admiro y me ha demostrado de lo que soy capaz de lograr. “Ahora sí, ya podemos hacer las carreritas de avión”.

A todas las personas que rompen el molde, que quieran contribuir con su granito de arena para cuidar y proteger el ecosistema donde nos desarrollamos sin importar su profesión.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a la virgen Dolorosa por haberme dado la salud, el impulso, la sabiduría, la humildad y la oportunidad de cumplir uno de mis sueños. Sé que siempre están conmigo.

A mis padres, Fausto y Mónica por transmitirme los valores necesarios para mi formación personal y académica. Gracias por entregarme amor, cariño y por aguantarme tanto, aunque les saque de vez en cuando de su zona de confort. Sin ustedes nada de esto sería posible.

A mis hermanas, Fer por enseñarme a través de su desempeño y constancia lo que se puede lograr cuando uno se lo propone. Majo por socorrerme en lo que necesitaba y por mostrarme que nadie ni nada te detiene.

A MaryAnnie por inspirarme, apoyarme en todo momento y creer desde el primer día en mi tesis, gracias por darme el empujón que necesitaba.

A mi director de tesis, Ing. Oscar Jaramillo, quien por su calidad incondicional para con mi persona, me ha transmitido sus conocimientos y me ha ayudado en el desarrollo de la presente investigación.

A mis correctores, Ing. Mauricio Cely, por estar presente desde el primer momento, tomándose un tiempo para leer y guiarme. Ing. Estuardo Páez por asesorarme.

A mis amigos que en las buenas y en las malas han estado conmigo, por las locuras hechas en esta etapa universitaria, por sentarnos a estudiar cuando debíamos y por darme siempre palabras de aliento.

A todos y cada uno de ustedes se los agradezco desde el fondo de mi alma. Que Dios y la virgen Dolorosa los cuide y bendiga siempre.

RESUMEN

La crisis económica y ambiental que se ha presentado alrededor del mundo son el principal problema, la adición de fibras de guadua angustifolia en el hormigón busca ser una alternativa de bajo costo y amigable con el medio ambiente, a la hora de escoger el material idóneo para construir. El objetivo fue verificar los parámetros de resistencia a la compresión ($f'c$) y el módulo de rotura a la flexión (M_r) del diseño de una mezcla de hormigón con diferentes dosificaciones de fibra, usando moldes cilíndricos y moldes prismáticos. Previamente fueron analizadas las características de los agregados fino, grueso y cemento que fueron utilizados. Se realizaron 4 probetas cilíndricas sin la adición de fibras y 4 probetas cilíndricas adicionadas con 2,5% y 5% de fibra de guadua angustifolia para ser evaluadas a los 7 y 28 días respectivamente. Para las vigas se realizaron 4 viguetas sin la adición de fibras y 4 viguetas adicionadas con haces de fibra trenzadas entre sí, con una dimensión de 150 mm de lado y una longitud de 530 mm, aproximadamente. Los resultados de la resistencia a la compresión en las probetas cilíndricas adicionadas con fibra presentaron una reducción significativa del 4% de la resistencia, en comparación a las probetas cilíndricas sin fibra. Mientras que del módulo de rotura a la flexión en las viguetas adicionadas con haces de fibra mostraron un mejor comportamiento, alcanzando una resistencia de $42,91 \text{ kg/cm}^2$ ($4,21 \text{ Mpa}$). Los parámetros de resistencia a la compresión y el módulo de rotura a la flexión, permitieron evaluar el comportamiento de las fibras de guadua angustifolia al ser adicionadas en el hormigón.

ABSTRACT

The economic and environmental crisis that has occurred around the world are the main problem. The addition of *guadua angustifolia* fibers in concrete seeks to be a low-cost and environmentally friendly alternative when choosing the ideal material for building. The objective was to verify the compressive strength parameters ($f'c$) and the flexural modulus of rupture (M_r) of the design of a concrete mix with different fiber dosages, using cylindrical molds and prismatic molds. The characteristics of the fine, coarse and cement aggregates that were used were previously analyzed. Four cylindrical specimens were made without the addition of fibers and 4 cylindrical specimens made with the additions of 2.5% and 5% of *guadua angustifolia* fiber to be evaluated at 7 and 28 days, respectively. For the beams, 4 joists were made without the addition of fibers and 4 joists with the addition of fiber bundles braided together, with a side dimension of approximately 150 mm and a length of approximately 530 mm. The results of the compressive strength in the cylindrical specimens with the addition of fiber showed a significant reduction of 4% of the resistance, compared to the cylindrical specimens without fiber. While the flexural modulus of rupture in the beams with the addition of fiber bundles showed a better behavior, reaching a resistance of 42.91 kg/cm² (4.21 MPa). The parameters of resistance to compression and the modulus of rupture to flexion allowed the evaluation of the behavior of the fibers of *guadua angustifolia* when added in the concrete.

CONTENIDO

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE ANEXOS	X
CAPÍTULO I	12
1. GENERALIDADES	12
1.1. Introducción.....	12
1.2. Antecedentes	13
1.3. Objetivos	14
1.3.1. Objetivo General	14
1.3.2. Objetivos Específicos	14
1.4. Alcance.....	15
CAPÍTULO II	16
2. MARCO TEÓRICO	16
2.1. La guadua angustifolia	16
2.1.1. Definición.....	16
2.1.2. Morfología y estructura	16
2.1.3. Ubicación y propiedades físico-mecánicas de la guadua angustifolia en Ecuador	17
2.1.4. Usos e importancia	20
2.1.5. Su aplicación en la construcción	21
2.1.6. Ventajas y desventajas.....	23
2.1.7. Utilización de fibras de guadua angustifolia en Latinoamérica	26
2.1.8. Alternativa de aplicación de fibras de guadua angustifolia en la construcción	30
2.2. El hormigón armado	31
2.2.1. Definición.....	31
2.2.2. Comportamiento mecánico.....	31

2.2.3. Teoría Elástica	32
2.2.4. Usos e importancia	33
2.2.5. Ventajas y desventajas.....	35
2.3. El acero estructural	36
2.3.1. Definición.....	36
2.3.2. Propiedades mecánicas	36
2.3.3. Usos e importancia	37
2.3.4. Ventajas y desventajas.....	39
CAPÍTULO III	41
3. ENSAYOS DE LABORATORIO	41
3.1. Ensayos de los agregados	41
3.1.1. Granulometría según la ASTM C136.....	41
3.1.2. Gravedad específica y absorción del agregado fino y grueso, según las ASTM C127 y ASTM C128 .	41
3.1.3. Contenido de humedad natural según la ASTM C566	41
3.1.4. Peso unitario e índice de vacíos en los agregados fino y grueso, según la ASTM C29.....	41
3.2. Ensayos del cemento	41
3.2.1. Finura según la ASTM C204.....	41
3.2.2. Gravedad específica según la ASTM C188.....	42
3.2.3. Consistencia normal según la ASTM C187.....	42
3.2.4. Tiempo de fraguado según la ASTM C191	42
3.2.5. Resistencia a la compresión de cubos de mortero de cemento según la ASTM C109.....	42
3.3. Diseño de la mezcla de hormigón.....	42
3.4. Ensayos de hormigón	42
3.4.1. Ensayo a la compresión según la ASTM C39	42
3.4.2. Ensayo a la flexión según la ASTM C78.....	43
CAPÍTULO IV	44
4. RESULTADOS	44
4.1. Ensayos de los agregados	44
4.1.1. Granulometría según la ASTM C136.....	44
4.1.2. Gravedad específica y absorción del agregado fino y grueso, según las ASTM C127 y ASTM C128 .	46
4.1.3. Contenido de humedad natural según la ASTM C566	46

4.1.4. Peso unitario e índice de vacíos en los agregados fino y grueso, según la ASTM C29.....	47
4.2. Ensayos del cemento	47
4.2.1. Finura según la ASTM C204.....	47
4.2.2. Gravedad específica según la ASTM C188.....	48
4.2.3. Consistencia normal según la ASTM C187.....	48
4.2.4. Tiempo de fraguado según la ASTM C191	48
4.2.5. Resistencia a la compresión de cubos de mortero de cemento según la ASTM C109.....	49
4.3. Diseño de la mezcla de hormigón.....	51
4.4. Ensayos de hormigón	52
4.4.1. Ensayo a la compresión según la ASTM C39	52
4.4.2. Ensayo a la flexión según la ASTM C78.....	53
CAPÍTULO V	54
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
5.1. Conclusiones	54
5.2. Recomendaciones	55
BIBLIOGRAFÍA	57
ANEXOS	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1.1 Determinación de la granulometría del agregado fino y grueso	45
Tabla 4.1.2 Determinación de la gravedad específica y absorción del agregado fino y grueso.....	46
Tabla 4.1.3 Determinación del contenido de humedad natural de los agregados fino y grueso	46
Tabla 4.1.4 Determinación del peso unitario e índice de vacíos en los agregados fino y grueso	47
Tabla 4.2.1 Determinación de la finura del cemento mediante la aplicación del aparato de permeabilidad al aire de Blaine.....	47
Tabla 4.2.2 Determinación de la gravedad específica del cemento	48
Tabla 4.2.3 Determinación de la consistencia normal del cemento.....	48
Tabla 4.2.4 Determinación del tiempo de fraguado del cemento	48
Tabla 4.2.5 Determinación de la dosificación de cubos de mortero de cemento	49
Tabla 4.2.6 Determinación de la resistencia a la compresión de cubos de mortero de cemento	50
Tabla 4.3 Diseño de la mezcla de hormigón.....	51
Tabla 4.4.1 Determinación de la resistencia a la compresión en probetas cilíndricas de hormigón	52
Tabla 4.4.2 Determinación del esfuerzo a la flexión de vigas de hormigón	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.2. Estructura Morfológica	17
Figura 2.1.3. Tabla comparativa de las propiedades mecánicas de la guadua angustifolia	19
Figura 2.1.6. Trípode de la sostenibilidad	24
Figura 2.2.3. Teoría elástica	32

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Agregado grueso, fino, cemento y agua.....	63
Anexo 2. Guadua angustifolia sumergida en agua	63
Anexo 3. Guadua angustifolia puesta a secar	63
Anexo 4. Guadua angustifolia seca	63
Anexo 5. Corte de la guadua angustifolia.....	63
Anexo 6. Obtención de fibras de guadua angustifolia	64
Anexo 7. Corte de guadua angustifolia para trenzarlas entre sí.....	64
Anexo 8. Guadua angustifolia trenzada entre sí	64
Anexo 9. Haces de fibra sumergidos en hidróxido de calcio.....	65
Anexo 10. Haces de fibra puestos a secar.....	65
Anexo 11. Trenzados de fibra sumergidos en hidróxido de calcio	65
Anexo 12. Trenzados de fibra puestos a secar.....	65
Anexo 13. Preparación de cubos de mortero de cemento.....	66
Anexo 14. Cubos de mortero de cemento.....	66
Anexo 15. Preparación de la mezcla de hormigón	66
Anexo 16. Mezcla de hormigón sin fibra	66
Anexo 17. Mezcla de hormigón con fibra	66
Anexo 18. Preparación de las probetas cilíndricas de hormigón sin fibra	67
Anexo 19. Preparación de las probetas cilíndricas de hormigón con fibra	67
Anexo 20. Preparación de las probetas prismáticas de hormigón sin el trenzado de fibras.....	67
Anexo 21. Colocación del trenzado de fibras en las probetas prismáticas de hormigón	68
Anexo 22. Preparación de las probetas prismáticas de hormigón con el trenzado de fibras	68
Anexo 23. Probetas cilíndricas de hormigón sin fibra en la cámara de humedad	68
Anexo 24. Probetas cilíndricas de hormigón con fibra en la cámara de humedad	69
Anexo 25. Probetas prismáticas de hormigón sin el trenzado de fibras en la cámara de humedad	69
Anexo 26. Probetas prismáticas de hormigón con el trenzado de fibras en la cámara de humedad	70
Anexo 27. Rotura a los 7 días de la probeta cilíndrica sin fibra	70
Anexo 28. Rotura a los 7 días de la probeta cilíndrica con fibra	70

Anexo 29. Rotura a los 7 días de la probeta prismática de hormigón sin el trenzado de fibras.....	71
Anexo 30. Rotura a los 7 días de la probeta prismática de hormigón con el trenzado de fibras.....	71
Anexo 31. Rotura a los 28 días de la probeta cilíndrica sin fibra	71
Anexo 32. Rotura a los 28 días de la probeta cilíndrica con fibra	72
Anexo 33. Rotura a los 28 días de la probeta prismática de hormigón sin el trenzado de fibras.....	72
Anexo 34. Rotura a los 28 días de la probeta prismática de hormigón con el trenzado de fibras	72

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1. Introducción

El adiconamiento de fibras de guadua angustifolia ha sido una práctica común a lo largo de los últimos años contribuyendo en la evaluación y caracterización del comportamiento mecánico de vigas de hormigón, generando la concientización de los seres humanos a la hora de escoger el material idóneo (guadua angustifolia) utilizado en cualquier proyecto de ingeniería civil, especialmente en el comportamiento de vigas de hormigón, para verificar las características mecánicas. De esta forma se aportará con la preservación del medio ambiente.

La guadua angustifolia ha sido utilizada en épocas pasadas principalmente para la construcción de viviendas, canalización de aguas, estética, siendo un sustituto ideal a la hora de escoger el tipo de material a ser empleado, gracias a su vida útil es considerado un material duradero y agradable con el medio ambiente, debería ser explotada con mayor regularidad pero con conciencia, para evitar un impacto ambiental sobre el ecosistema, de esta forma se generaría nuevas alternativas en el área de la construcción. Sus propiedades físicas y mecánicas, le permiten soportar altos esfuerzos de compresión, flexión y tracción, permitiéndole reemplazar estructuras de acero como de madera tradicional.

Hoy por hoy, debido a la crisis económica y ambiental en la que se vive es prioritario el reciclaje, la reutilización y la recuperación de residuos en procesos de producción, por lo que se espera que las fibras de guadua angustifolia sean una solución con viabilidad técnica y económica. Es fundamental el estudio del comportamiento del hormigón a flexión y a compresión, debido a que las fibras de guadua angustifolia permiten controlar la propagación del agrietamiento, transformando un material frágil en uno dúctil.

La aplicación de guadua angustifolia en proyectos de ingeniería civil, como losas, presentan un buen comportamiento estructural, siempre y cuando se utilice mano de obra calificada, buenos materiales y a su vez exista un control técnico especializado. Además, se puede reemplazar el acero tradicional para garantizar proyectos a un menor costo, pero que brinden seguridad a la hora de ser ejecutados.

1.2. Antecedentes

Al no existir estudios suficientes sobre la adición de fibras de guadua angustifolia en vigas de hormigón, no se conoce si las propiedades físico-mecánicas de ambos materiales aumentarán o disminuirán al combinarlas. Existen varios estudios de la adición de fibras naturales al hormigón, cuyos resultados son dispersos; puesto que, no todos han llegado a cumplir las resistencias esperadas o tener un buen comportamiento entre ambos materiales, pero evidentemente son amigables con el medio ambiente y presentan un menor costo.

La aplicación de fibras naturales en el hormigón, para este caso en específico la obtenida de la guadua angustifolia amplia enormemente el campo de investigación que permitirá evaluar si dichas fibras pueden llegar a ser una opción en la búsqueda de un desarrollo sostenible, donde se han ido desarrollando nuevos materiales y nuevas soluciones constructivas.

La adición de fibras de guadua angustifolia en el hormigón es considerada como un material compuesto, donde el hormigón viene a ser la matriz; puesto que, es quien proporciona la forma del elemento y la fibra viene a ser el refuerzo ya que se encuentra inmerso en el hormigón. En el armado de cilindros de hormigón, la adición de fibras será de varios tamaños y distribuidas aleatoriamente dentro de los mismos, los cuales son considerados como materiales casi-uniformes y casi-isotrópicos. Mientras que, en el armado de vigas de hormigón, la adición de fibras será largas y trenzadas entre sí, las mismas que presentan un refuerzo continuo en todo el material que será alineado en una sola dirección.

Los procedimientos para la obtención de fibras naturales han mejorado en los últimos años. La guadua angustifolia debido a sus propiedades físico-mecánicas, su forma circular y que sus entrenudos son cercanos le permiten tener poco peso, pero alta resistencia. Ante la presencia de fibras en el hormigón determinados materiales han mejorado sus propiedades mecánicas. La implementación de nuevas estrategias en la construcción, busca obtener una alternativa de bajo costo con una igual o mayor resistencia que los sistemas y materiales constructivos tradicionales.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Verificar las propiedades mecánicas para obtener una mezcla de hormigón utilizando diferentes dosificaciones de fibra.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Verificar los parámetros de resistencia a la compresión ($f'c$) y el módulo de rotura a la flexión (Mr).
- Determinar si las fibras de guadua angustifolia se deterioran a un porcentaje con el agua o algún compuesto del hormigón.
- Proponer la utilización de fibras de guadua angustifolia como un material alternativo en la construcción, tomando en consideración los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio.

1.4. Alcance

Este trabajo de investigación busca obtener resultados satisfactorios con la implementación de las fibras de guadua angustifolia en el comportamiento de vigas de hormigón, cuyo objetivo es ser considerado como un material idóneo a la hora de ser empleado en algún proyecto de construcción sostenible, el mismo que presentará características propias y cualidades similares a los métodos constructivos tradicionales, por parte de la sociedad que nos rodea.

Se analizará principalmente el comportamiento mecánico y la teoría elástica en vigas de hormigón; por lo tanto, se realizarán probetas de hormigón, siendo 8 ensayos a la compresión de los cuales 4 serán sin y 4 con fibra de guadua angustifolia, además de 8 ensayos a la flexión, con la misma distribución antes mencionada, los mismos que se evaluarán a los 7 y 28 días, respectivamente, con el fin de determinar el comportamiento y la resistencia de estos. No se evaluará la resistencia a la tracción.

Para la extracción de la fibra, debe estar en estado natural (verde) y ser sumergida por al menos 3 días en agua, permitiendo que la misma se suavice, facilitando el corte, pelado y cepillado de la porción cilíndrica del culmo. Para determinar si las fibras de guadua angustifolia se deterioran con el agua serán sumergidas por 3 días y posterior a estos días serán puestas a secar. La solución de hidróxido de calcio en la que serán sumergidas por 24 horas permitirá determinar si se deterioran o no las fibras con algún compuesto del hormigón.

Para proponer la utilización de fibras de guadua angustifolia como un material alternativo en la construcción se tomará en cuenta los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio y algunos estudios que se han desarrollado con este material en Latinoamérica.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. La guadua angustifolia

2.1.1. Definición

La guadua angustifolia es una especie de las 1700 datadas y aproximadamente 90 géneros de bambúes distribuidos alrededor del mundo, siendo una planta gramínea de tallo leñoso, ligero y resistente (Torres, 2020). Al hablar de planta gramínea se hace referencia al maíz, el trigo, el arroz, simplemente es una hierba o pasto gigante, al ser leñoso es maderable y aprovechable, es liviano por ser hueca en su interior lo cual hace que sea de poco peso y de mucha resistencia; por lo tanto, la hace genial como un material estructural.

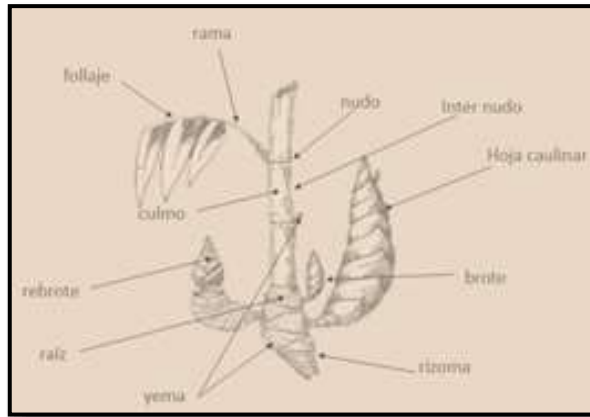
2.1.2. Morfología y estructura

Al hablar de la morfología y estructura se refiere a las partes de la planta en sí, (ver figura 2.1.2.) las mismas que se nombran a continuación:

- **El rizoma:** es donde nace la planta de bambú, las cañas o culmos, que tiene un sistema radicular.
- **La yema:** son una especie de brotes que se presentan al momento en que salen los culmos del rizoma donde surgirá una nueva caña.
- **La raíz:** va desde la base de la caña hacia abajo (suelo).
- **Los brotes:** son la intersección entre la raíz y el culmo.
- **Los rebrotes:** provienen no solo del cuello del bambú, sino también del rizoma hasta 3cm lejos del culmo principal. Estos nuevos rebrotes formarán nuevas cañas o culmos.
- **El culmo principal:** presenta una parte que se llama nudo, que es donde se forma el anillo de la caña.
- **El inter-nudo:** va entre nudo y nudo.
- **La hoja caulinar:** protege el culmo cuando es joven.
- **El follaje:** son las ramas con sus hojas.

Figura 2.1.2.

Estructura Morfológica



Fuente: Torres, J. (2020). *Guía completa de iniciación al mundo del bambú*, Oviedo, España: Evidally GBS. Copyright 2020 por Andrés Moreira. Reprinted with permission.

2.1.3. Ubicación y propiedades físico-mecánicas de la guadua angustifolia en Ecuador

Siendo una especie endémica en el Ecuador, la guadua angustifolia se reúne en las riberas de los ríos y laderas de montaña de los bosques: húmedo tropical, muy húmedo premontano, muy húmedo montano bajo y seco tropical. Su mayor concentración de guaduales es en la región occidental, sobre todo en el noroccidente: desde la cuenca de los ríos Santiago y Cayapas hasta Manabí y Guayas (INBAR, 2015).

Para un desarrollo óptimo la guadua angustifolia deberá crecer entre los 0 y 1.800 msnm, con temperaturas entre los 20 y 26 grados centígrados, donde requiere de precipitaciones en todos los meses del año de 1.300 a 4.000 mm con una humedad relativa del 80% y una luminosidad de aproximadamente 5 a 6 horas/luz/día, que alcanza alturas de 12 y 30 m, con unos diámetros de 9 y 25 cm, con paredes hasta 2 cm de espesor (INBAR, 2015).

Las propiedades físicas, son los aspectos físicos de la planta, los cuales se mencionan a continuación:

- **Contenido de humedad:** Medida en porcentaje de la concentración de agua existente en el interior de la planta.
- **Densidad:** Es la relación entre la masa y el volumen de la planta.
- **Lignificación:** Es un proceso que sucede con el tiempo (la edad madura para su corte, está entre los 3 a 4 años), donde la planta genera una sustancia llamada lignina que

tiene como objetivo ligar y endurecer los haces de fibra, otorgándole propiedades de resistencia muy interesantes.

- **Velocidad de crecimiento:** Crece muy rápido, ya que en tan solo 6 meses la planta tiene la altura y el diámetro preciso.

Las propiedades mecánicas, son el comportamiento de la estructura física de la planta al someterle a varios esfuerzos, (ver figura 2.1.3.) las cuales se mencionan a continuación:

- **Resistencia a la compresión:** Se aprieta en sus extremos a la caña, produciéndole un acortamiento. Se puede presentar en una dirección perpendicular o paralela a las fibras.
- **Resistencia a la tracción:** Al tirar de los extremos de la caña, se ocasiona un alargamiento. También se presenta en una dirección paralela a las fibras.
- **Resistencia a la flexión:** Es cuando se tiene apoyada una caña en sus extremos y al aplicarle una fuerza en el centro tendera a doblarse.
- **Resistencia al corte:** Al aplicar una fuerza axial sobre la caña, principalmente en la dirección paralela a las fibras.
- **Módulo de elasticidad:** Es la capacidad de la caña de recobrar su forma después de aplicarle un esfuerzo. Al presentar un valor parecido al del acero que se utiliza en construcción (no del acero de alta resistencia), es conocido como el “acero vegetal”.

Figura 2.1.3.

Tabla Comparativa de las Propiedades Mecánicas de la Guadua Angustifolia.

TABLA COMPARATIVA DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE GUADUA										
FUENTE	DOCUMENTO	Obtención de las propiedades mecánicas y estructurales de la Caña Guadua angustifolia Kunth del Ecuador.	Diseño de puentes peatonales utilizando caña guadúa como elemento de construcción	Optimización de Unión en Guadua ante Solicitación de Fuerza Sísmica	Uniones Estructurales con Bambú (Guadua Angustifolia).	Metodología de Diseño de Estructuras en Guadua Angustifolia como Material Estructural por el Método de Esfuerzos Admisibles.	El Uso de la Guadua como Madera Alternativa para la Construcción y su Aplicación en la Elaboración de Tablas para Encofrado	Uso de la Caña guadúa en la Vivienda Modular.	Diseño de un Modelo de Vivienda Ecológica con Bambú para la Zona Rural de Yantzaza	Propiedades Físicas-Mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth y Aplicación al Diseño de Baterías Sanitarias del IASA II
AUTOR	Ing. Pedro Córdova	Ing. Kathia Vásconez Miranda/José R. Marín	Raúl Prieto Alzate	Ing. Sergio Gutiérrez	Ing. Caori Takeuchi	Ing. Industrial Ángel Murriaguí	Arq. José Andrés Mendoza Castro / Arq. José Napoleón Rosales Salcedo	Ing. Luis Calva	Ing. Jorge Alberto Cobos Fischer / Ing. Xavier Antonio León Rodríguez	
UNIVERSIDAD	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. UCSG	Universidad de las Fuerzas Armadas. ESPE	Univ. Industrial de Santander	Universidad Nacional de Ingeniería	Universidad Nacional de Colombia	Escuela Superior Politécnica del Litoral ESPOL	Universidad de Cuenca	Universidad de Loja	Universidad de las Fuerzas Armadas. ESPE	
VARIABLE	PAÍS-FECHA DIMENSIONES	Ecuador-2014	Ecuador-2005	Colombia-2004	Perú-2010	Colombia-2011	Ecuador-2011	Ecuador-2014	Ecuador-2015	Ecuador-2007
Resistencia última a la compresión de la caña guadúa	$\sigma_k = \text{MPa}$	37,76	21,78	42,94	44,37	20,30	69,88	70,92	43,01	48,38
Módulo de Elasticidad de compresión	$E_k = \text{Gpa}$	14,35								
Resistencia última a la tensión de la caña guadúa	$\sigma_k = \text{MPa}$	117,60		161,47	107,69	40,70	258,49		52,46	242,43
Módulo de Elasticidad de tensión	$E_k = \text{GPa}$	8,31								
Resistencia última a la flexión de la caña guadúa	$\sigma_k = \text{MPa}$	45,85				37,40	172,70	33,31	17,16	34,98
Módulo de Elasticidad de flexión	$E_k = \text{GPa}$	12,16								10,36
Resistencia última al esfuerzo cortante de la caña guadúa	$\tau_k = \text{Mpa}$	7,17		6,76	6,41	3,50	6,76		6,74	5,46

Fuente: MIDUVI. (2017). *Norma Ecuatoriana de la Construcción: Estructuras de Guadua (Gak)*. Copyright 2020 por Andrés Moreira. Reprinted with permission.

Gracias a sus propiedades físico-mecánicas tiene la capacidad de absorber energía permitiéndole una mayor resistencia a flexión, siendo considerado como el material perfecto para estructuras sismorresistentes y como material de apoyo en construcciones de hormigón (INBAR, 2015).

2.1.4. Usos e importancia

En general posee más de 1500 utilidades datadas, debido a que es posible hacer casi todo lo que una persona se imagine, es por ello que es considerado un material polivalente y como el material natural del siglo XXI por la ONU, en el año 2017, por ser un recurso con unas propiedades extraordinarias y que cada vez cobra mayor popularidad (Torres, 2020).

El uso de la guadua angustifolia presenta muchas razones por las cuales puede cambiar la vida de los seres humanos y la de nuestro planeta, puesto que, viene a ser un recurso natural y alternativo ante los problemas medioambientales que nos rodean como la rápida degradación del ecosistema.

A continuación, se presentan los principales usos:

- Producción de energía a través de briquetas y carbón de guadua angustifolia, siendo este último considerado como un carbón vegetal.
- El primer fuselaje de un avión que pensó y fabricó Antonio de León, fue con tejidos de guadua angustifolia.
- Los filamentos de las primeras bombillas que fabricó Thomas Alva Edison fueron elaborados de guadua angustifolia carbonizada.
- Es muy utilizado como instrumento de cocina en el continente asiático.
- Sirve para la elaboración de artesanías y muebles.
- Gracias a su creciente demanda, el cultivo y aprovechamiento representa una oportunidad de negocio.
- Es considerado como materia prima para diferentes industrias: alimenticia como enlatados y encurtidos; farmacéutica en la elaboración de productos farmacéuticos.
- Producción de papel y varios textiles mediante las fibras de la guadua angustifolia.

En fin, se puede enumerar un sinnúmero de utilidades de la guadua angustifolia que a lo largo de su producción abre la posibilidad de ser la base de cualquier emprendimiento, pero se debería fomentar un poco más al ser un material sostenible, puesto que se utiliza un

material natural que beneficiará a todos los involucrados, tanto en la cadena de producción como la de consumo.

La importancia que se le puede dar a este material natural es que es la planta leñosa de más rápido crecimiento en el mundo siendo la más versátil para la conservación ambiental, debido a que puede absorber grandes cantidades de agua y metales pesados que contribuyen a la desintoxicación del planeta, también produce que los suelos no se erosionen, puesto que se aferra y los fertiliza, además presenta una gran influencia en la industria (Torres, 2020).

Es sumamente importante conocer las propiedades y características físico-mecánicas de la guadua angustifolia puesto que existen muchas posibilidades y soluciones que se puede aportar con este material al 100% aprovechable y sobre todo reciclable; por lo tanto, se debe proteger y conservar un bosque de guadua (guadales) por los beneficios que le puede otorgar tanto al ser humano como al medio ambiente, al momento de utilizarlo.

Las prestaciones estructurales y arquitectónicas en los acabados y elementos arquitectónicos son gracias a los excelentes rendimientos que se puede lograr al utilizar este material natural, el mismo que le aportará mucha belleza a un proyecto final.

2.1.5. Su aplicación en la construcción

La guadua angustifolia es la especie reina por excelencia para uso en construcción y escogida entre las 20 mejores especies de las más de 1700 existentes en el planeta. Los culmos de la guadua angustifolia presentan una alta resistencia gracias a las propiedades físicas y mecánicas que posee, lo cual le permite ser utilizado como un material estructural de calidad muy por delante de otras especies en la construcción de viviendas, además tiene la capacidad de absorber la energía de un sismo, es decir, presenta unas características sismo resistentes fenomenales (Torres, 2020).

La conservación y estabilización de riveras y taludes en zonas donde existe la posibilidad de anegación mediante la construcción de gaviones y sistemas de tablestacas que garantizan la estabilidad de los suelos.

La construcción de biopiscinas para la depuración de aguas grises, puesto que la guadua angustifolia es considerada un filtro vegetal muy eficaz en la captura de metales pesados.

Gracias a la posibilidad y versatilidad que presenta, constituye en una solución a la movilidad urbana, específicamente la movilidad sostenible, mediante la fabricación de vehículos monoplaza y biplaza, especialmente bicicletas.

Aprovechar para trabajos de exteriores, como sitios de ocio (parques infantiles) o pequeñas infraestructuras como peatonales, terrazas y escaleras con peldaños y barandillas de guadua angustifolia en zonas comunes y urbanas, pero es necesario conocer las características del material para protegerlo y conservarlo.

Diseñar, confeccionar y construir mobiliario urbano como: paradas de autobús con estructuras de guadua angustifolia, muebles de uso urbano. También estructuras para energías renovables como soportes para paneles solares o torres para aerogeneradores.

Construir soluciones de uso público de mayor envergadura como: puentes peatonales y estructuras polivalentes, por ejemplo, una estructura de un peaje construido con guadua angustifolia de buenas características físico-mecánicas presentará el mismo diseño y la misma técnica que una construida con hormigón o acero, pero se puede cubrir mayores luces.

Se puede construir infraestructuras menores dentro de la ciudad como puentes peatonales donde el 90% del material que se utiliza es guadua angustifolia y el 10% restante es combinado con hormigón o acero.

Con un culmo, confeccionar diferentes elementos constructivos que formarán parte de la estructura, al ser un material multifuncional. Al conocer la importancia de la rehabilitación y remodelación del espacio urbano dentro de las ciudades, como fachadas ventiladas (viviendas y edificios) y superpuestas con envolventes (cerramientos que puede pasar de efímeros a permanentes) existe un mayor valor con la utilización de la guadua.

Diseñar de forma sencilla estructuras modulares como pórticos, muros, pilares y vigas compuestas, cuyos elementos son diseñados con los culmos y las uniones respectivas. Mediante la optimización del material se consiguen diseños más flexibles y funcionales. En la parte de la sostenibilidad, es muy importante debido a que contribuye a la compacidad del espacio urbano de una ciudad, porque se produce crecimiento en altura con estructuras livianas sin la necesidad de reforzar edificios que ya están construidos, se pueden utilizar las terrazas para construir entre 1, 2 y hasta 3 alturas más.

Gracias a las características y todo el abanico de posibilidades que presenta es considerado como un material estructural y decorativo para la construcción, reconstrucción y

mantenimiento de estructuras permanentes que son estructuras donde su vida útil es a largo tiempo, como lo es una vivienda o un edificio, además de estructuras efímeras que son estructuras donde su vida útil es de un corto período; por lo tanto, la concepción y el diseño de cualquiera estructura debe contemplar si se encontrará o no a la intemperie, al igual de todas las variables del entorno que lo rodean.

Es importante destacar que a la guadua angustifolia se la puede utilizar desde el punto estructural y arquitectónico, debido a que permite tener una gran flexibilidad a la hora de diseñar una estructura con este material, por ejemplo, diseñar fachadas ventiladas y desarrollar elementos bioclimáticos que complementen a cualquier tipo de estructura o material.

2.1.6. Ventajas y desventajas

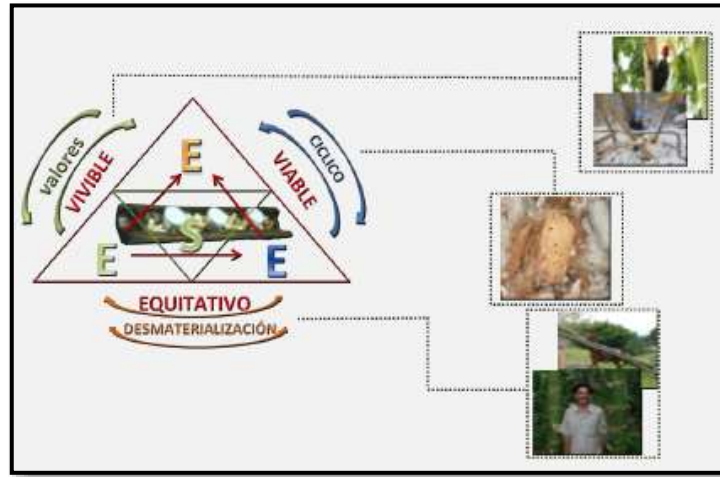
Las principales ventajas que presenta la guadua angustifolia son:

- Presenta múltiples efectos positivos al medio ambiente al ser un recurso económico, ecológico y social. La relación existente entre cada uno de ellos se encuentra reflejada en el trípode de la sostenibilidad (ver figura 2.1.6.), esto se debe a que la guadua angustifolia es el principal catalizador en la solución de la problemática medioambiental (Torres, 2020). Al hablar sobre la relación que puede existir entre las variables social y económica, se observa que existe equidad entre ambas variables porque la guadua angustifolia contribuye a la desmaterialización, por otro lado, la relación que puede existir entre las variables económica y medioambiental, demuestra falencias y obsolescencia porque de alguna forma existirá una armonía entre ambas variables que permitirá que esta relación sea más viable, puesto que, la guadua angustifolia contribuye a la economía circular (la cual es una nueva tendencia en la economía mundial) y al cierre de ciclos, al ser un material reciclable, reutilizable y biodegradable, es decir es un material que se utiliza sin afectar el ecosistema, por último, la relación que existe entre las variables social y medioambiental, se debe a que la naturaleza es quien proveerá los recursos que serán gestionados por el ser humano, el mismo que no deberá actuar como un explotador de estos recursos, porque la guadua angustifolia crea ese sentido de pertenencia; puesto que, hace que el ser humano se empoderé de una nueva posibilidad de conseguir este tipo de

recursos que valen por las características de calidad que presentan y no por el precio, convirtiendo a esta relación mucho más viable.

Figura 2.1.6.

Trípode de la Sostenibilidad



Fuente: Torres, J. (2020). *3 y más razones por las que el bambú mejora la vida*. Oviedo, España: Evidally GBS. Copyright 2020 por Andrés Moreira. Reprinted with permission.

- Gracias a la infinidad de usos que se le puede dar al potenciar su cultivo, este recurso se vuelve cultural porque hace que las personas se apropien de un material autóctono, en el caso de que sean productores del mismo.
- Presenta beneficios medioambientales, ya que es un recurso natural renovable, biodegradable y reutilizable de rápido crecimiento, puesto que crece más o menos unos 20 cm al día en sus primeros 6 meses de vida, además que se reproduce rápidamente, no es necesario volverlo a sembrar porque es una hierba solo requiere de unos simples cuidados.
- La guadua angustifolia es un secuestrador, capturador de CO₂ por excelencia, ya que es capaz de capturar 3 a 4 veces más que un árbol. Al comparar una casa normal, estándar, construida con guadua angustifolia versus una de hormigón armado, los ahorros en emisiones de CO₂ pueden llegar a ser hasta el 30% más incluido todo el ciclo de vida de la construcción y la etapa de mantenimiento.
- Fertiliza los suelos y otro tipo de cultivos al producir una cantidad entre 12 y 14 toneladas de biomasa por hectárea y por año a través de su follaje. Además, controla el efecto de las precipitaciones y el nivel freático, mediante la reducción de la erosión

de los suelos, que se debe por el sistema radicular (rizoma) que se aferra al suelo de forma natural.

- Es capaz de almacenar en su interior un promedio entre 20 y 30 litros de agua por cada culmo, suficiente para abastecer hasta 7 familias contenidas en una hectárea durante un mes, siendo este el equivalente a 30.000 litros de agua por hectárea que pueden ser almacenados para el consumo en época seca, para una población de hasta 1000 personas en un día; por lo tanto, contribuye a la retención y regulación del agua en zonas que presentan grandes precipitaciones y que producen que el nivel freático se presente sobre la superficie del terreno provocando la anegación de estas.
- Es un filtro bioambiental (natural), porque reduce la temperatura por efecto de la evaporación gracias a sus hojas, purifica las aguas negras vertidas y requiere menos de la mitad de energía para la producción por m³ de madera y principalmente contribuye a enverdecer el paisaje.
- La guadua o un bosque de guadua (guadales) es un conservador y regenerador de la biodiversidad por excelencia, ya que restaura los ecosistemas degradados, con el simple hecho de plantarlo o replantarlo, siendo beneficioso para el ecosistema.
- Presenta múltiples ventajas constructivas que se pueden aprovechar al trabajar con la guadua angustifolia gracias a sus características que lo vuelven un material ligero, resistente y muy flexible a la hora de construir elementos y brindar soluciones constructivas, las mismas que se pueden desarrollar de una forma muy fácil.
- El ser un material de fácil manipulación permite hacerlo sin la necesidad de maquinaria pesada ni herramientas sofisticadas tanto para construir como para movilizar los elementos.
- Se puede construir en seco de una forma eficiente y económica, utilizando simplemente errajes metálicos o las típicas uniones de acero que van empernadas, para construir estructuras en menor tiempo y sin la necesidad de contratar muchísima mano de obra.

Las principales desventajas que presenta la guadua angustifolia son:

- Requiere de protección al ser un material vulnerable al agua, a la humedad y a los rayos ultravioletas.
- Después del corte debe ser tratado inmediatamente ante el posible ataque de insectos xilófagos y hongos.

- Su diámetro se reduce y se contrae al secarse.
- Al no presentar una misma dimensión en su estructura se vuelve dificultoso para construir con él.

2.1.7. Utilización de fibras de guadua angustifolia en Latinoamérica

Desde hace muchos años la combinación de la guadua angustifolia con el hormigón ha sido utilizada en la construcción de obras importantes como también para fines experimentales, con el fin de determinar las ventajas y desventajas de este material compuesto. Hoy en día, gracias al aprovechamiento de sus ventajas, el desarrollo de nuevas teorías y técnicas de diseño que presenta este material compuesto lo vuelve un material factible y seguro.

Ante la falta de conocimientos teóricos y técnicos acerca de las propiedades físicas y mecánicas de la guadua angustifolia para gran parte de profesionales del sector de la construcción, no ha permitido el desarrollo técnico y masivo de este novedoso e interesante material. Para reducir el uso de fibras de acero y sintéticas, que debido a su proceso de fabricación, degradación y biodegradación que afectan el ecosistema, se ha ido promoviendo el uso de fibras naturales, como la obtenida de la guadua angustifolia con el fin de tener un material alternativo y renovable para un desarrollo sostenible.

En Latinoamérica, la guadua angustifolia ha sido el material de construcción más diversificado que ha existido, es por lo que en los últimos años ha renacido, gracias a su flexibilidad, resistencia, sostenibilidad, bajo costo y abundancia en la región. Se ha utilizado principalmente por personas de escasos recursos económicos, por lo que se debería incentivar a nuevos productores; que beneficien al campesino, al constructor y al ecosistema.

En Estados Unidos en 1914, surgió la idea de utilizar cañas o tablillas de bambú como refuerzo en el hormigón. Mientras que en 1944 se construyó la primera estructura de hormigón reforzado con bambú, pero que presentó resultados poco alentadores. Durante la segunda guerra mundial se construyeron instalaciones militares para las fuerzas armadas, siendo este proyecto la mayor aplicación de este material compuesto (González, 2001).

A continuación, se presentan varios estudios de investigación que se han realizado en los últimos años en Latinoamérica:

Ecuador

Desarrollo de losas con caña de guadua angustifolia y análisis comparativo estructural y económico con los sistemas de losas tradicionales utilizado en nuestro medio. Nace de la carencia de nuevos métodos constructivos para la creación de viviendas en nuestro medio. El desarrollo de losas con caña guadua angustifolia más que una alternativa es una revolución a las técnicas constructivas tradicionales, ya que su aplicación es de muy buen comportamiento estructural siempre y cuando se utilicen buenos materiales, mano de obra calificada y el control de un técnico especializado en obras civiles. Como resultado final la caña guadua angustifolia reemplaza al acero tradicional, permitiendo que se pueda construir una vivienda de menor costo, e igual seguridad en el contorno estructural (Narváez, 2013).

Desarrollo de un material compuesto de fibras naturales de bambú para la utilización en viviendas de bajo costo. Se examinó el comportamiento de las fibras de bambú mezcladas con concreto, obteniendo como resultado un material compuesto que podría ser utilizado para la construcción de viviendas de bajo costo, debido a la facilidad de encontrar estas fibras en el Ecuador y a sus buenas propiedades mecánicas. Para la realización de los ensayos mecánicos y térmicos se basó en la norma INEN 198. Entre los resultados que se obtuvieron, el esfuerzo máximo a la rotura es mayor en las fibras que tienen un ancho aproximado de 10mm y su coeficiente de conductividad térmica es mejor que otras fibras naturales (Salazar, 2015).

Diseño de mezcla de hormigón para impresión en 3D con fibras de guadua angustifolia. Se discutió la viabilidad de la utilización de fibras de guadua angustifolia Kunth como material de refuerzo de una mezcla de hormigón de alta resistencia para impresión en tres dimensiones; por lo tanto, se realizó un análisis comparativo de las propiedades mecánicas de mezclas de control sin fibra contra muestras con diferentes dosificaciones de fibra (Melo & Vaca, 2018).

Colombia

Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú (Guadua angustifolia) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos. Se estudiaron las fibras de bambú (guadua angustifolia) con la intención de conocer su potencial como refuerzo mecánico en materiales compuestos poliméricos. Se pudo ver en los resultados de las simulaciones, que las fibras de bambú (guadua angustifolia) tienen un gran potencial para ser utilizadas (Estrada, 2010).

Morteros reforzados con fibras de bambú. Se analizaron las propiedades físico-mecánicas de mortero 1:3, reforzado con 15, 50 y 100kg de fibras de bambú, por m³ de mortero, cuyo objetivo fue determinar la factibilidad de uso de este material, como matriz para muros estructurales. Para condiciones normales bajo una carga, el agrietamiento es inevitable sea cual fuera la cantidad y calidad de refuerzo usado; por lo tanto, 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 (Arbeláez, 2012).

Estandarización del proceso de obtención de fibra de angustifolia kunth como materia prima para material compuesto. Se realizó la estandarización del proceso de deslignificación (eliminación parcial o total de la lignina mediante tratamientos químicos) de la guadua angustifolia como materia prima para el refuerzo de materiales compuestos, en donde inicialmente, la fibra fue sometida a un proceso de fraccionamiento para obtener la fibra en viruta. Para determinar las propiedades mecánicas de la fibra se realizó el ensayo de tensión, donde al disminuir la lignina la resistencia disminuyó (Hurtado, 2017).

Paneles prefabricados en guadua angustifolia para entresijos con recubrimiento en concreto. Se estableció como objetivo principal diseñar paneles de entresijo prefabricados con guadua angustifolia para reducir el impacto negativo en el medio ambiente, los mismos que serán prácticos a la hora de instalar, reduciendo el tiempo en obra y por ende los costos, siendo una alternativa para las placas prefabricadas en concreto macizo; todo esto, sin perder su capacidad para soportar cargas vivas y muertas (Bejarano, 2018).

Evaluación de la utilización de las fibras de guadua como refuerzo del concreto para minimizar el proceso de fisuración. Se determinó las propiedades mecánicas obtenidas en concreto reforzadas con fibra guadua, para lo cual se realizó un estudio comparativo entre diferentes tipos de concreto como fueron: concreto sin adición de fibras, concreto con adición de fibras de vidrio y concreto con adición de fibras de guadua. La proporción de fibra de guadua utilizada fue del 1% con respecto a la cantidad de la mezcla de concreto. Para determinar la resistencia a la tracción indirecta en los cilindros de concreto se aplicó bajo lo establecido en la norma colombiana NTC 722 (Martínez & Poveda, 2018).

Estudio de la resistencia mecánica del concreto reforzado con fibras de guadua angustifolia kunth. Se analizó el comportamiento del concreto reforzado con fibras de

guadua, para determinar si la resistencia a la compresión mejora y puede ser usada como material de refuerzo en la construcción (Bejarano, 2019).

Evaluación del comportamiento físico-mecánico de un concreto hidráulico con adición de fibras de guadua angustifolia kunth. Fue desarrollado teniendo en cuenta los parámetros establecidos en la normativa vigente del manual INVIAS y normas técnicas colombianas para ensayos y toma de muestras. Estos análisis permitieron determinar el módulo de rotura y la resistencia a la flexión de las muestras ensayadas, con el fin de establecer la posibilidad de reducir costos, impactos ambientales y factores de resistencia (Bonilla & Conde, 2019).

Evaluación del comportamiento de un concreto hidráulico con adición de fibras de guadua de 3 centímetros de longitud en un porcentaje del 4%. Con el fin de evaluar la resistencia de un concreto reforzado con fibras de guadua en relación con un concreto tradicional, se adicionó al concreto 4% de fibra, la misma que fue secada, inmunizada y cortada con una longitud de 3cm aproximadamente. El procedimiento para los distintos tipos de ensayos de laboratorio fue realizado según la norma INVIAS, cuyos resultados servirán para determinar si el material cumple su función de mejorar su resistencia en cuanto al módulo de rotura (Carvajal & Páez, 2020).

Cuba

El bambú como refuerzo en materiales compuestos para la construcción. Se tuvo como objetivo principal la conformación de bases teóricas y criterios de utilización prácticos del uso del bambú como refuerzo en materiales compuestos para la construcción. Se enunciaron los principales parámetros físicos y mecánicos del bambú para lograr su caracterización como material de construcción, además de las condiciones técnicas-constructivas para matrices cementicias como poliméricas. Además, se plantearon las principales propiedades y recomendaciones del uso de tablillas (cañas) y cables de bambú en el hormigón armado en sustitución del acero de refuerzo (Rodríguez, 2017).

Perú

Vigas de concreto reforzadas con bambú (Guadua Angustifolia) para construcciones rurales. En este trabajo de investigación se muestra experimentalmente las propiedades mecánicas del bambú (guadua angustifolia) y su utilización como refuerzo en vigas, lo cual

podría facilitar su utilización como elemento estructural en las construcciones de viviendas rurales. El objetivo principal fue estudiar el comportamiento de vigas de concreto reforzadas con bambú sometidas a esfuerzos de flexión, cuyos resultados presentaron un incremento del orden de 2,5 veces la resistencia de tracción en comparación a una viga sin refuerzo (Vargas, 2016).

Por lo tanto, en base a los resultados obtenidos de los diferentes estudios de investigación que se han realizado en Latinoamérica y los resultados obtenidos en la presente investigación marcan una tendencia, lo que nos permitirá realizar la recopilación de información para la construcción de obras civiles a futuro; por ende, las fibras de la guadua angustifolia si pueden ser utilizadas como refuerzo del hormigón.

2.1.8. Alternativa de aplicación de fibras de guadua angustifolia en la construcción

Debido a que el comportamiento mecánico depende del grado de humedad en la caña, tendrá una alta resistencia, rigidez y baja densidad. Según Quintero et al. (2016) los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la tracción y módulo de elasticidad realizados en el estudio de las propiedades mecánicas de los haces de fibra de guadua angustifolia, se determinó que tienen un gran potencial para ser utilizadas como material de refuerzo en compuestos poliméricos naturales.

En el Ecuador el uso de fibras naturales como las obtenidas de la guadua angustifolia en materiales compuestos todavía es limitado, pese a ser un país que dispone de una gran cantidad de materia prima. El desarrollo de materiales compuestos con este tipo de fibras se encuentra en etapas iniciales. Se generaría plazas de trabajo promoviendo un desarrollo económico y sustentable para las zonas rurales, mediante la producción de fibras naturales, con una reducción del costo de fabricación de estos.

El acero al ser un generador de alto impacto en el ambiente es un material estructural que difícilmente pueda ser reemplazado por completo en la construcción. Ante la creciente demanda de materiales nuevos reutilizables y renovables que buscan disminuir la huella ecológica en las edificaciones, mejorar la economía y el desarrollo global; surge la implementación de la guadua angustifolia que, gracias a su resistencia, versatilidad, podría convertirse en algún momento en el material ideal en la construcción de viviendas a nivel social.

2.2. El hormigón armado

2.2.1. Definición

El hormigón armado es un material de construcción compuesto de hormigón (mezcla de conglomerantes, como cemento, cal, asfalto; agua y áridos, como grava, arena; con una eventual incorporación de aditivos si así lo requiere, presentando una consistencia inicial fluida y maleable, que tras el fraguado se convierte en una masa pétreo, dura y consistente) reforzado con barras (varillas) de acero, siendo un sistema que al ser diseñado y detallado adecuadamente sirve para la construcción de elementos estructurales que trabajarán de una manera eficiente para resistir diferentes tipos de solicitaciones. Combina la resistencia a compresión del hormigón con la resistencia a tracción del acero, trabajando ambos materiales coordinadamente (Córdova, 2015).

2.2.2. Comportamiento mecánico

Al hablar del comportamiento mecánico se refiere a la manera de comportarse; por lo tanto, se debe considerar las propiedades físicas y mecánicas del material que garanticen rigidez, resistencia y ductilidad. El hormigón al encontrarse en servicio depende de la durabilidad, la exposición y otros aspectos, como la calidad y capacidad de los agregados para resistir efectos consecuentes. Mientras que el refuerzo producido por las varillas (barras) de acero, se debe al anclaje en la matriz hasta alcanzar el límite elástico y que desarrollará su capacidad última cuando se haya producido la rotura de este. Los métodos de diseño y análisis utilizan suposiciones que están basadas en los resultados de investigaciones experimentales que se han realizado y de esta forma se ha obtenido el comportamiento mecánico de los elementos de hormigón armado (Nilson, 2001).

El comportamiento mecánico del hormigón armado se fundamenta principalmente en:

- El equilibrio existente entre fuerzas internas (fuerzas de corte, momentos flectores, esfuerzos normales y cortantes) externas (fuerzas sísmicas, de viento, de lluvia, y de granizo) que actúan en una sección cualquiera de un elemento estructural.
- La adherencia entre el hormigón y el acero permite que no se produzca un deslizamiento entre ambos materiales, puesto que la deformación unitaria es la misma.

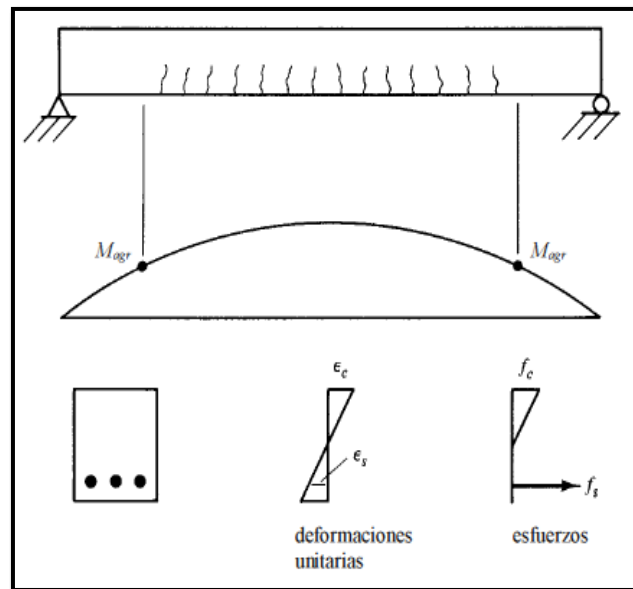
- Antes de aplicar una carga a una sección transversal plana seguirá siendo plana, en comparación con el elemento cargado.
- El hormigón antes del agrietamiento y el localizado entre fisuras si resiste esfuerzos pequeños de tensión.
- Se basará en las propiedades de resistencia y en las relaciones reales de esfuerzo-deformación de los dos materiales constituyentes (hormigón y acero).

2.2.3. Teoría Elástica

La teoría elástica fue propuesta desde 1900 por Coignet y Tedeson, debido a que las estructuras que eran diseñadas en base a esta teoría se comportaban adecuadamente bajo cargas de servicio que prestaban la seguridad y la confiabilidad necesaria para evitar el colapso de estas. Cabe señalar que la teoría elástica fue diseñada para la distribución lineal de tensiones; por lo tanto, el valor de tensión admisible en las estructuras deberá ser elegido cuidadosamente (McCormac & Brown, 2011). (Ver figura 2.2.3.)

Figura 2.2.3.

Teoría Elástica



Fuente: McCormac, J., & Brown, R. (2011). *Diseño de concreto reforzado*. México DF, México: Alfaomega Grupo Editor, S. A. Copyright 2020 por Andrés Moreira. Reprinted with permission.

El análisis por teoría elástica se basa en las siguientes hipótesis:

- Hipótesis de Naviere: las secciones planas permanecen planas hasta el instante de la falla, además de que se producen pequeñas deflexiones.
- Las deformaciones son proporcionales con la distancia al eje neutro.
- Se trabaja exclusivamente en el rango elástico.
- El hormigón no es capaz de soportar tensión.
- El esfuerzo de compresión varía linealmente y en forma proporcional con la distancia al eje neutro.

Los elementos de una estructura se diseñan por secciones, donde se asumirá que las tensiones son proporcionales a las deformaciones (como lo establece la ley de Hooke), además que las tensiones para cargas de servicio tanto en el hormigón como en el acero sirven para hallar los esfuerzos respectivos por flexión, corte, entre otros, los mismos que deberán ser comparados y no sobrepasar a las tensiones admisibles, son el resultado de la resistencia última de los materiales dividida para un factor de seguridad.

Para que un diseño cumpla con el requerimiento de tensión y este bien realizado, los esfuerzos provenientes de las cargas de servicio deberán ser menores o iguales a las tensiones admisibles, si no se cumple, se deberá cambiar las dimensiones del elemento.

2.2.4. Usos e importancia

El hormigón armado aparece desde la segunda mitad del siglo XIX, para contrarrestar la limitación del hormigón (baja resistencia a la tensión) utilizando acero (alta resistencia a la tensión) como refuerzo y de esta forma no limitar la capacidad portante de los elementos. Con el pasar del tiempo se han desarrollado y mejorado las técnicas constructivas al utilizar este material (Córdova, 2015).

La combinación de hormigón y acero permite tener casi un rango ilimitado de usos en la construcción de estructuras como edificios, viviendas, puentes, presas, vías, tanques, depósitos, acueductos, alcantarillas y muchas otras estructuras; por lo tanto, es considerado un material polivalente. Debido a que el hormigón aporta resistencia a la compresión, masa y durabilidad; mientras que el acero aporta resistencia a la tracción y ductilidad, el mismo que deberá ser colocado en cantidad y posición correcta. En zonas donde el riesgo sísmico sea elevado se debe proporcionar refuerzo de tensión y cortante para compensar la debilidad que puedan presentar las secciones de los elementos de hormigón armado.

En una sección de hormigón armado, ambos materiales deberán ser distribuidos y proporcionados de forma adecuada para optimizar el resultado final de un sistema estructural, siendo este fuerte y durable, esto es posible porque la mezcla húmeda de hormigón puede adoptar cualquier forma dentro de un molde apropiado al ser colocado y compactado, donde su masa plástica se endurecerá y al combinarlo con varillas de refuerzo se vuelve adaptable para la construcción de elementos estructurales.

Probablemente es el material disponible más importante para la construcción alrededor del mundo, debido a que puede usarse en una u otra forma para casi todas las estructuras sean estas grandes o pequeñas. Arquitectónicamente hablando no solo sirve para elementos estructurales, sino que es considerado como un revestimiento más. Gracias a las técnicas de encofrados existentes no solo se pueden diseñar y construir columnas, vigas y losas sino también muros y cimentaciones. Debido a la alta resistencia de ambos materiales se puede emplear elementos con secciones transversales pequeñas que disminuirán las cargas muertas y se tendrá luces más largas.

La importancia del hormigón armado es buscar la compenetración mutua entre ambos materiales, puesto que trabajarán en conjunto y suplirán las deficiencias del uno y del otro, mejorando sus cualidades y no sus defectos. Cabe señalar que la adherencia crece lentamente con el tiempo hasta alcanzar su máximo valor en algunos años, permitiendo la transmisión de esfuerzos entre ambos materiales.

Las estructuras pueden ser construidas in-situ o prefabricadas gracias a la adaptabilidad de formas que puede tener el hormigón armado siendo considerada una cualidad muy importante del mismo. Mediante este material se puede suprimir las juntas siendo el enemigo de toda construcción; por lo tanto, debe cumplir con las normas de diseño de cada país y que sea construida con hormigón armado; deberá formar “una sola pieza”, gracias a la solidaridad existente entre el hormigón y el acero de tal forma que se produzca una deformación local y general muy pequeña, es decir, se presenta una rigidez muy grande. Al comparar una estructura de hormigón armado versus una estructura de acero, la primera es siempre 8 a 10 veces superior en masa y rigidez, minorando vibraciones que pudieran producirse por agentes dinámicos (sismos). El equilibrio molecular en el hormigón armado no se altera por variaciones de temperatura, debido que se propaga lentamente y los coeficientes de dilatación térmica de ambos materiales son aproximadamente iguales; por lo tanto, se utiliza

en estructuras que requieran ser a prueba de fuego, principalmente en ciudades donde existe una alta probabilidad de incendios.

La importancia de combinar el hormigón con el acero radica en el aprovechamiento de sus propiedades desde el punto de vista funcional, mecánico y económico, siendo más ventajosa su aplicación en conjunto que de forma separada. Cabe señalar que la relación existente entre la mano de obra y los materiales incide en si una estructura deberá ser o no diseñada y construida con hormigón armado. De igual forma es sumamente importante conocer todo lo referente al material para su aplicación.

2.2.5. Ventajas y desventajas

Las principales ventajas que presenta el hormigón armado son:

- Las estructuras construidas con este material son muy rígidas.
- Es resistente a efectos climáticos, agua, fuego y desgastes mecánicos.
- Para el montaje de elementos o estructuras no requiere mano de obra calificada.
- Al comparar el costo por unidad con otros materiales presenta una resistencia a la compresión considerable.
- Al diseñar y ejecutar correctamente cualquier elemento o estructura se vuelve durable, puesto que posee gran capacidad de absorción y disipación de energía.
- Al ser un material compuesto, se vuelve trabajable, porque se adapta a cualquier forma de encofrado y puede disponerse siguiendo la trayectoria de los esfuerzos principales internos.
- Son aplicables en estructuras de múltiple indeterminación estática, como las construcciones monolíticas sin juntas, puesto que posee gran capacidad portante y un elevado grado de seguridad.
- Es económico por la gran disponibilidad de los materiales como cemento, agregados y acero para su aplicación en la construcción, como losas de piso, pilares, muros de sótano, zapatas y estructuras similares.
- Requiere poco mantenimiento, puesto que el hormigón protege al acero de la corrosión y oxidación, siempre y cuando este recubierto adecuadamente.

Las principales desventajas que presenta el hormigón armado son:

- El aislamiento térmico es reducido.
- La relación del peso propio de una estructura y su resistencia es elevada.
- Alto costo y dificultad en la demolición, y ante posibles modificaciones que se hagan a los elementos o estructuras.
- Para mantener en posición hasta que endurezca el hormigón se requiere de cimbras, las cuales resultan demasiado costosas.

2.3. El acero estructural

2.3.1. Definición

El acero proviene de la aleación de hierro con pequeñas proporciones de carbono, las cuales no deberán superar el 1,8% y que pueden presentarse combinados bajo diversas formas, adquiriendo propiedades especiales mediante tratamientos térmicos y mecánicos (McCormac & Csernak, 2013).

2.3.2. Propiedades mecánicas

Sus propiedades mecánicas varían y mejoran considerablemente según la proporción de carbono u otro componente metálico (cobre, cromo, níquel, manganeso, molibdeno, silicio, vanadio, entre otros) que se encuentre en la aleación, también depende del tratamiento térmico al cual se hayan sometido (McCormac & Csernak, 2013).

Un acero duro será: mientras más carbono y más resistente sea, si posee menos carbono será un acero más soldable; es decir, que el porcentaje de carbono es el principal regulador de sus propiedades.

A continuación, se presentan las principales propiedades del acero:

- **Alta resistencia:** a la tracción, compresión y a esfuerzos cortantes; puesto que, presenta una gran relación de resistencia y rigidez por unidad de peso; por lo tanto, el peso de las estructuras será relativamente bajo.
- **Ductilidad:** puede soportar grandes deformaciones antes de su rotura, debido a que absorbe grandes cantidades de energía, lo cual no le permite fallar al someterse a esfuerzos de tensión altos.
- **Durabilidad:** su vida útil puede prolongarse indefinidamente, al proporcionarle un adecuado mantenimiento.

- **Dureza:** es la resistencia o capacidad del material a ser penetrado, deformado, rozado o frotado, permanente o superficialmente.
- **Elasticidad:** propiedad que le permite al material deformarse y recuperar su forma después de haberle aplicado una carga, debido a que sigue la ley de Hooke puede soportar esfuerzos altos y su comportamiento se asemeja a la mayoría de los materiales por las hipótesis de diseño.
- **Fatiga:** propiedad que le permite al material resistir un número limitado de ciclos de carga y descarga de forma alternada y periódicamente hasta que se rompa.
- **Plasticidad:** propiedad que le permite al material permanecer deformado y que no recuperará su forma aun después de retirarle la carga que le ha sido aplicada. Entre sus principales características, se encuentran:
 - **Maleabilidad:** capacidad que le permite al material transformarse en láminas debido a la acción de los esfuerzos de compresión.
 - **Acritud:** se produce debido al aumento de la resistencia del material, por efecto de la deformación.
 - **Fragilidad:** se produce cuando la deformación es muy pequeña antes de la rotura.
- **Soldabilidad:** dos elementos de una misma especie pueden unirse para formar un nuevo elemento.
- **Tenacidad:** propiedad que le permite al material resistir grandes deformaciones y absorber energía sin fracturarse, al ser poseedor de resistencia y ductilidad.
- **Uniformidad:** sus propiedades no cambian considerablemente con el tiempo.

2.3.3. Usos e importancia

Anteriormente, se obtenía directamente del mineral de hierro reducido con carbón vegetal; por lo tanto, en las décadas de 1870 y 1890 en Estados Unidos el acero se empezó a producir en grandes cantidades, convirtiéndolo en el principal metal estructural y a comienzos de la década de 1980, la producción mundial de acero era de unos 710 millones de toneladas anuales. En la actualidad, se obtiene a partir de hierro líquido, descarburándolo y regulando al mismo tiempo su contenido en azufre, fósforo y otros componentes (McCormac & Csernak, 2013).

Constituye la base de la industria contemporánea; por lo tanto, es utilizado para la fabricación de piezas de maquinaria, armazones, perfiles, paneles, chapas, paneles prefabricados, recipientes, cajones, tuberías, conducciones, cascos de buques, calderas, carriles, carrocerías y material para vías férreas.

En el sector de la construcción se utiliza para edificaciones, naves industriales, estructuras metálicas, cerramientos, apuntalamientos, obras civiles, túneles, obras subterráneas, anclajes, obras de contención, micropilotes, excavaciones y armaduras para el hormigón, las cuales se utilizan de dos formas, como: acero de refuerzo y acero de preesfuerzo.

La importancia del acero viene dada porque se ha convertido en materia prima fundamental para el desarrollo de la infraestructura de cada país que depende de los avances tecnológicos y de la capacidad de inversión en producción y consumo, dinamizando el mercado de este material para la optimización del costo en proyectos de ingeniería. Debido a su composición química es un material que, a la vez, resulta maleable y resistente a los esfuerzos mecánicos y a la corrosión; puede cementarse y revestirse, puede ser convertido en hilos finos o en poderosos pilares que sostienen un puente.

Como material de construcción es utilizado por sus excelentes propiedades a tracción y por su rápida colocación, pero al ser un material poco económico y poco amigable con el medioambiente al generar un alto gasto energético, ha sido revalorizado. Al comparar una estructura de acero versus una estructura de hormigón armado, se prefiere utilizar la primera debido a que resultan más livianas y se puede alcanzar grandes magnitudes en menor tiempo; por lo tanto, es importante conocer el comportamiento, la composición química y las propiedades físicas y mecánicas del material.

Existen cuatro grandes industrias (la minería del hierro, las plantas de acero, los talleres de fabricación y el montaje de estructuras) que influyen en las etapas de producción desde la transformación de la materia prima hasta la materialización en elementos estructurales de gran calidad. La fabricación de estructuras de acero, se basa en el diseño arquitectónico y estructural con el fin de cubrir las necesidades del usuario, garantizando su seguridad y la de la estructura mediante la correcta aplicación de normas que rijan en cada país.

Al necesitar aceros más fuertes, con mejores propiedades de soldabilidad, con mayor resistencia a la corrosión y otras características, la producción de este material ha evolucionado para satisfacer la demanda global por parte de ingenieros y arquitectos. En

elementos a tensión, columnas y vigas se utiliza aceros más resistentes, los mismos que son altamente resistentes a la corrosión, presentan un menor peso que disminuye el costo en montaje, cimentaciones y transporte, se reduce el espesor en los pisos al utilizar vigas de menor altura y al ser elementos más pequeños no se requiere tanta protección contra el fuego.

2.3.4. Ventajas y desventajas

Las principales ventajas que presenta el acero estructural son:

- Es el material de construcción de mejor relación resistencia-peso.
- Se dispone de una mayor área, al presentar elementos de menor sección lo que permite colocar ductos en el espacio existente bajo los entrepisos.
- Al ser un material homogéneo presenta un buen comportamiento sísmico.
- Menor tiempo de construcción.
- Al ser un material versátil y adaptable se puede conceptualizar arquitectónicamente cualquier estructura, la misma que puede ser reforzada y modificada.
- Las conexiones son más seguras y gracias a su valor residual se pueden volver a comercializar para ser reutilizadas; por lo tanto, es un material reciclable por excelencia.
- Con un correcto mantenimiento los elementos de acero pueden durar indefinidamente.
- Los elementos prefabricados que cumplen con los estándares de calidad presentan una gran eficiencia constructiva debido a la precisión dimensional.

Las principales desventajas que presenta el acero estructural son:

- Poca resistencia al fuego, al frío y al medioambiente, debido a que es un material muy susceptible a la corrosión, empieza a perder ductilidad y la capacidad de absorber energía, volviéndose frágil.
- Debido a la alta relación resistencia-peso, los elementos como columnas de acero se vuelven susceptibles al pandeo elástico.
- Al someter al material a un gran número de esfuerzos a tracción, la resistencia puede disminuir debido a la fatiga.
- Al ser un material costoso, la mano de obra no es barata; por lo tanto, el costo de una estructura, su mantenimiento y la protección que se le brinde será excesivo.

- Si una estructura no cumple con las condiciones de seguridad, ni con los requisitos de servicio, funcionamiento y confort que son parte de un buen diseño, sufrirá excesivas vibraciones.

CAPÍTULO III

3. ENSAYOS DE LABORATORIO

3.1. Ensayos de los agregados

Se verificará el cumplimiento de los requisitos técnicos que debe cumplir el agregado fino y grueso, para propósitos de investigación según las normas ASTM D75 y C33 o la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 695 y 872.

3.1.1. Granulometría según la ASTM C136

Con el fin de eliminar la mayor cantidad de vacíos en el agregado (fino y grueso), es necesario determinar la distribución granulométrica del mismo por tamizado.

3.1.2. Gravedad específica y absorción del agregado fino y grueso, según las ASTM C127 y ASTM C128

Para una porción sólida de un número grande de agregado fino y grueso se determina la gravedad específica Bulk, la gravedad específica saturada con superficie seca, la gravedad específica aparente y la absorción.

3.1.3. Contenido de humedad natural según la ASTM C566

En una muestra de agregado se puede determinar el porcentaje de humedad evaporable contenida en los poros y superficialmente, por secado.

3.1.4. Peso unitario e índice de vacíos en los agregados fino y grueso, según la ASTM C29

Permite determinar el peso unitario del agregado fino, grueso o la mezcla de ambos, en condiciones compacta o suelta, además del porcentaje de vacíos entre partículas.

3.2. Ensayos del cemento

Se verificará el cumplimiento de los requisitos técnicos que debe cumplir un cemento según el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE 007 o la norma ASTM C1157.

3.2.1. Finura según la ASTM C204

Mediante la aplicación del aparato de permeabilidad al aire de Blaine, se obtendrá en términos de superficie específica la finura del cemento.

3.2.2. Gravedad específica según la ASTM C188

Permite determinar la gravedad específica del cemento que servirá en el diseño y control de mezclas de hormigón.

3.2.3. Consistencia normal según la ASTM C187

Permite determinar la cantidad de agua necesaria que será añadida a una pasta de cemento para obtener su consistencia normal.

3.2.4. Tiempo de fraguado según la ASTM C191

Mediante la aplicación del método A, se utilizará un aparato de Vicat normalizado, el mismo que es operado manualmente para la obtención del tiempo de fraguado del cemento.

3.2.5. Resistencia a la compresión de cubos de mortero de cemento según la ASTM C109

Permite determinar la resistencia a la compresión de cubos de mortero de cemento de 50mm de arista.

3.3. Diseño de la mezcla de hormigón

El diseño de la mezcla de hormigón resultó para obtener las proporciones adecuadas de arena, ripio, cemento y agua. Que al ser mezcladas entre sí tengan consistencia, durabilidad, resistencia y trabajabilidad. Para cumplir lo solicitado en el diseño, se utilizó la dosificación del hormigón en función de la mezcla de sus componentes en peso y volumen que se requiera por m³, cuya aplicación deberá ser la más correcta, eficiente y económica. Para verificar el cumplimiento de las condiciones impuestas en el diseño se realizó mezclas de prueba en el laboratorio con las correcciones pertinentes para obtener la dosificación óptima.

3.4. Ensayos de hormigón

Sirve para determinar las características del hormigón fresco, mientras permanece en estado plástico o las características del hormigón endurecido, Esto permite verificar el cumplimiento de los requisitos técnicos que debe cumplir el hormigón según la norma ASTM C94 o la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1 855-1.

3.4.1. Ensayo a la compresión según la ASTM C39

Permite determinar la resistencia a la compresión de cilindros de hormigón.

3.4.2. Ensayo a la flexión según la ASTM C78

Mediante el uso de una viga simple apoyada en los extremos y cargada en los tercios de la luz libre, se determina la resistencia a la flexión del hormigón.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Ensayos de los agregados

Se empleó agregado fino y grueso proporcionado por la empresa Naranjo López Constructores, de su mina ubicada en la vía E-35 (Pifo-Sangolquí), sector Inga, junto a la planta de desechos de Incinerox.

4.1.1. Granulometría según la ASTM C136

Tabla 4.1.1*Determinación de la granulometría del agregado fino y grueso.*

<i>Identificación del material</i>									
N° Tamiz	Abertura (mm)	Agregado Fino				Agregado Grueso			
		Masa Retenida Parcial (g)	Masa Retenida Acumulada (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Que Pasa (%)	Masa Retenida Parcial (g)	Masa Retenida Acumulada (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Que Pasa (%)
2"	50,80					0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,10					0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,40					253,30	253,30	5,05	94,95
¾"	19,00					2825,40	3078,70	61,41	38,59
½"	12,70	0,00	0,00	0,00	100,00	1128,30	4207,00	83,91	16,09
3/8"	9,51	0,00	0,00	0,00	100,00	609,10	4816,10	96,06	3,94
4	4,76	29,70	29,70	3,49	96,51	48,20	4864,30	97,02	2,98
8	2,36	222,50	252,20	29,60	70,40				
16	1,18	162,40	414,60	48,67	51,33				
30	0,60	122,10	536,70	63,00	37,00				
50	0,30	106,00	642,70	75,44	24,56				
100	0,15	72,90	715,60	84,00	16,00				
	Pasa N°		136,30				149,40		
	Total		851,90				5013,70		

Elaborado por: Andrés Moreira.

4.1.2. Gravedad específica y absorción del agregado fino y grueso, según las ASTM C127 y ASTM C128

Tabla 4.1.2

Determinación de la gravedad específica y absorción del agregado fino y grueso.

Descripción	Identificación del material	
	Agregado Fino	Agregado Grueso
Masa matraz (g)	148,9	
Matraz + Agua + Muestra (g)	927,2	
Masa SSS (g)	500	5227
Masa de la muestra seca (g)	482,6	5128
Masa sumergida en agua (g)		3248
Ge: Gravedad específica Bulk	2,177	2,591
Ges: Gravedad específica del material saturado con superficie seca	2,255	2,641
Gea: Gravedad específica aparente	2,362	2,728
Porcentaje de absorción (%)	3,61	1,93

Elaborado por: Andrés Moreira.

4.1.3. Contenido de humedad natural según la ASTM C566

Tabla 4.1.3

Determinación del contenido de humedad natural de los agregados fino y grueso.

Descripción	Identificación del material	
	Agregado Fino	Agregado Grueso
Masa inicial (g)	1600	5530
Masa seca (g)	1593	5511
W: Contenido de humedad natural (%)	0,44	0,34

Elaborado por: Andrés Moreira.

4.1.4. Peso unitario e índice de vacíos en los agregados fino y grueso, según la ASTM C29

Tabla 4.1.4

Determinación del peso unitario e índice de vacíos en los agregados fino y grueso.

Descripción	Identificación del material	
	Agregado Fino	Agregado Grueso
Masa del molde (g)	1652	3814
Volumen del molde (cm ³)	2735	6878
Molde + Material compacto (g)	6210	15310
Molde + Material suelto (g)	5805	14485
Mc: Masa del material compactado (g)	4558	11496
Puc: Peso unitario compactado (kg/m ³)	1667	1671
Pus: Peso unitario suelto (kg/m ³)	1518	1551

Elaborado por: Andrés Moreira.

4.2. Ensayos del cemento

Se empleó cemento hidráulico tipo GU de la marca Chimborazo, que sirve para todo tipo de construcción en general.

4.2.1. Finura según la ASTM C204

Tabla 4.2.1

Determinación de la finura del cemento mediante la aplicación del aparato de permeabilidad al aire de Blaine.

Descripción	N° Muestra	
	1	2
Masa de la muestra de cemento (g)	2,550	2,560
T: Tiempo de caída del manómetro para la muestra de ensayo (s)	59,79	59,01
Ts: Tiempo de caída del manómetro para la muestra normalizada (s)	72,04	71,26
S: Superficie específica de la muestra de ensayo (m ² /kg)	305,19	306,67
Ss: Superficie específica de la muestra normalizada (m ² /kg)	335	337
Promedio de S (m ² /kg)	305,93	

Elaborado por: Andrés Moreira.

4.2.2. Gravedad específica según la ASTM C188

Tabla 4.2.2

Determinación de la gravedad específica del cemento.

Descripción	N° Muestra		
	1	2	3
Masa de la muestra de cemento (g)	64,30	64,38	64,45
Lectura inicial (cm ³)	1,4	1,7	1,8
Lectura final (cm ³)	22,1	22,3	22,5
V: Volumen desalojado (cm ³)	20,7	20,6	20,7
Gs: Gravedad específica del cemento	3,11	3,13	3,11
Promedio de Gs		3,12	

Elaborado por: Andrés Moreira.

4.2.3. Consistencia normal según la ASTM C187

Tabla 4.2.3

Determinación de la consistencia normal del cemento.

Descripción	N° Muestra		
	1	2	3
Masa de la muestra de cemento (g)	655,45	655,50	655,55
Masa del agua (g)	190	200	202
C: Consistencia normal (%)	28,99	30,51	30,81
Promedio de C (%)		30,10	

Elaborado por: Andrés Moreira.

4.2.4. Tiempo de fraguado según la ASTM C191

Tabla 4.2.4

Determinación del tiempo de fraguado del cemento.

Descripción	N° Muestra		
	1	2	3
Tiempo de fraguado inicial (min)	120	120	120
Promedio del tiempo de fraguado inicial (min)		120	
Tiempo de fraguado final (min)	191	195	195
Promedio del tiempo de fraguado final (min)		193,7	

Elaborado por: Andrés Moreira.

4.2.5. Resistencia a la compresión de cubos de mortero de cemento según la ASTM C109

Tabla 4.2.5

Determinación de la dosificación de cubos de mortero de cemento.

Descripción	<i>N° Muestra</i>
	1
Masa de la muestra de cemento (g)	740
Masa de la muestra de arena graduada normalizada (g)	2035
Masa del agua (cm ³)	340
Flujo (%)	110,5

Elaborado por: Andrés Moreira.

Tabla 4.2.6*Determinación de la resistencia a la compresión de cubos de mortero de cemento.*

Descripción	N° Muestra								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fecha de fabricación	14/02/20								
Fecha de ensayo	17/02/20			21/02/20			11/03/20		
Edad (días)	3			7			28		
Largo (mm)	51,96	51,71	51,97	51,17	50,80	51,90	51,00	51,22	51,24
Ancho (mm)	51,93	51,42	51,28	51,97	51,77	51,76	50,83	51,36	50,08
Altura (mm)	51,68	51,89	51,58	51,33	51,29	51,79	51,75	51,15	51,02
Área (mm ²)	2698,28	2658,93	2665,02	2659,30	2629,92	2686,34	2592,33	2630,66	2566,10
Volumen (cm ³)	139,45	137,97	137,46	136,50	134,89	139,13	134,15	134,56	130,92
Peso (g)	286,56	291,46	286,02	288,68	290,91	291,44	291,56	290,21	292,59
Pu: Peso unitario del mortero (g/cm ³)	2,055	2,112	2,081	2,115	2,157	2,095	2,173	2,157	2,235
Promedio de Pu (g/cm ³)	2,083			2,122			2,188		
Carga de ruptura (N)	36639	39202	37918	51914	54737	50256	203007	208777	201645
Resistencia (Mpa) ¹	13,6	14,7	14,2	19,5	20,8	18,7	78,3	79,4	78,6
Promedio de la Resistencia (Mpa)	14,2			19,7			78,8		
Promedio de la Resistencia (kg/cm ²)	144,84			200,94			803,76		

Elaborado por: Andrés Moreira.

4.3. Diseño de la mezcla de hormigón

Tabla 4.3

Diseño de la mezcla de hormigón.

<i>Requerimientos</i>			
f'c (Kg/cm²)	210	Asentamiento (cm)	10
<i>Características de los materiales</i>			
<i>Agregado Fino</i>		<i>Agregado Grueso</i>	
Porcentaje de absorción (%)	3,61		1,93
Contenido de humedad (%)	0,44		0,34
		TMN: Tamaño Máximo Nominal (mm)	38,10
Porcentaje agregado (%)	60		40
Estado saturado con superficie seca (kg/m ³)	863,13		575,42
Estado seco (kg/m ³)	833,10		564,52
Estado natural (kg/m ³)	836,76		566,47
Ges: Promedio gravedad específica del material saturado con superficie seca		2,448	
Gs: Gravedad específica del cemento		3,12	
Agua neta (kg/m ³)		246,50	
Contenido de aire (%)		2,5	
Factor de seguridad		3	
f'c diseño (kg/cm ²)		216,3	
Relación a/c		0,553	
Cemento (kg/m ³)		445	
Peso unitario del hormigón (kg/m ³)		2130,81	
Agua de mezcla (kg/m ³)		282	
<i>Reestimación de la mezcla</i>			
Peso unitario real del hormigón (kg/m ³)		2448	
Agua de mezcla (kg/m ³)		290	
Cemento (kg/m ³)		500	
Agregado fino (kg/m ³)		938	
Agregado grueso (kg/m ³)		635	

Elaborado por: Andrés Moreira.

4.4. Ensayos de hormigón

Se empleó los datos obtenidos en el diseño de la mezcla de hormigón.

Para la obtención de los haces de fibra de guadua angustifolia se utilizó cañas en estado natural (verde) a una edad joven (de uno a tres años) proporcionados por el arquitecto Colón Falconí, de su taller ubicado en la vía Panamericana N1-247, Pifo.

4.4.1. Ensayo a la compresión según la ASTM C39

Tabla 4.4.1

Determinación de la resistencia a la compresión en probetas cilíndricas de hormigón.

Descripción	Identificación								
	Sin Fibra				Con Fibra				
	N° Muestra								
	1	2	3	4	1	2	3	4	
Fecha de fabricación	14/10/20								
Fecha de ensayo	21/10/20			11/11/20		21/10/20		11/11/20	
Edad (días)	7			28		7		28	
Porcentaje de fibra (%)					2,5		5		
Diámetro 1 (mm)	153,96	149,90	150,00	149,90	152,78	150,00	150,00	150,10	
Diámetro 2 (mm)	154,50	149,80	150,20	150,00	152,66	150,19	150,00	150,10	
Promedio del Diámetro (mm)	154,23	149,85	150,10	149,95	152,72	150,10	150,00	150,10	
Altura 1 (mm)	304,44	299,76	298,82	296,74	300,55	305,43	291,90	296,90	
Altura 2 (mm)	303,99	298,72	298,78	295,69	299,68	305,89	292,12	297,14	
Altura 3 (mm)	304,98	299,70	298,76	296,72	299,97	305,42	292,10	297,10	
Promedio Altura (mm)	304,47	299,39	298,79	296,38	300,07	305,58	291,44	297,05	
Área (mm ²)	18682,18	17636,13	17695,03	17659,68	18318,15	17693,85	17671,46	17695,03	
Peso (kg)	12,40	11,77	12,29	12,16	12,22	12,00	11,87	12,40	
Carga Máxima (N)	271887	268699	371361	380247	272388	260098	346800	354105	
Tipo de falla	5								
Resistencia (Mpa) ¹	14,55	15,24	20,99	21,53	14,87	14,70	19,62	20,01	
Promedio Resistencia (Mpa)	14,90		21,26		14,78		19,82		
Promedio Resistencia (kg/cm ²)	151,98		216,85		150,86		202,16		

Elaborado por: Andrés Moreira.

4.4.2. Ensayo a la flexión según la ASTM C78

Tabla 4.4.2

Determinación del esfuerzo a la flexión de vigas de hormigón.

Descripción	Identificación							
	Sin Fibra				Con Fibra Trenzada			
	N° Muestra							
	1	2	3	4	1	2	3	4
Fecha de fabricación	15/10/20							
Fecha de ensayo	22/10/20		12/11/20		22/10/20		12/11/20	
Edad (días)	7		28		7		28	
Longitud 1 (mm)	539	532	538	538	533	537	536	538
Longitud 2 (mm)	539	532	538	539	534	536	535	538
Longitud 3 (mm)	541	531	537	539	534	536	536	539
Promedio Longitud (mm)	540	532	538	539	534	536	536	538
Ancho 1 (mm)	152	150	152	152	152	151	151	152
Ancho 2 (mm)	151	149	151	151	153	152	150	153
Ancho 3 (mm)	151	151	152	152	152	151	151	152
Promedio Ancho (mm)	151	150	152	152	152	151	151	152
Altura 1 (mm)	150	133	150	148	150	138	150	150
Altura 2 (mm)	151	135	151	149	149	139	151	150
Altura 3 (mm)	150	136	151	149	148	138	151	151
Promedio Altura (mm)	150	135	151	149	149	138	151	150
Longitud de apoyo (mm)	450	450	450	450	450	450	450	450
Peso (kg)	26,99	23,90	26,60	26,53	26,56	24,73	26,07	28,08
Carga Máxima (N)	19168	18261	28609	33250	21008	23564	29246	34934
Resistencia (Mpa) ¹	2,52	3,02	3,74	4,46	2,80	3,66	3,85	4,57
Promedio Resistencia (Mpa)	2,77		4,10		3,23		4,21	
Promedio Resistencia (kg/cm ²)	28,25		41,82		32,95		42,94	

Elaborado por: Andrés Moreira.

¹ Nota: Tabla de Conversión

Conversión	
1 Mpa	10,2 kg/cm ²

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se concluyó que la caracterización y evaluación de los diferentes componentes, permitieron valorar sus propiedades mecánicas mediante los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio para conseguir una mezcla de hormigón de 210 kg/cm^2 a la cual se le añadió 2,5 y 5% de fibra de guadua angustifolia.
- Debido a que las fibras de guadua angustifolia tienden a absorber el agua de mezcla alterando el proceso de fraguado del hormigón y al no existir adherencia entre las fibras y el hormigón la resistencia a la compresión disminuyó, lo cual generaría la aparición de fisuras.
- Los resultados a compresión obtenidos en las probetas cilíndricas sin adición de fibras de guadua angustifolia a los 7 días presentaron una resistencia de $151,98 \text{ Kg/cm}^2$ ($14,90 \text{ Mpa}$) y a los 28 días de $216,85 \text{ Kg/cm}^2$ ($21,26 \text{ Mpa}$). Mientras que los obtenidos en las probetas cilíndricas con adición de fibras de guadua angustifolia a los 7 días $150,86 \text{ Kg/cm}^2$ ($14,79 \text{ Mpa}$) y a los 28 días $202,16 \text{ Kg/cm}^2$ ($19,82 \text{ Mpa}$). Se concluyó que adicionando fibras de guadua angustifolia al hormigón no son aptas para ser consideradas como material de refuerzo a compresión.
- Los resultados a flexión obtenidos en las probetas prismáticas sin adición de fibras de guadua angustifolia a los 7 días su resistencia fue de $28,25 \text{ Kg/cm}^2$ ($2,77 \text{ Mpa}$), a los 28 días de $41,82 \text{ Kg/cm}^2$ ($4,10 \text{ Mpa}$). Mientras que los obtenidos en las probetas prismáticas con adición de fibras de guadua angustifolia a los 7 días $32,95 \text{ Kg/cm}^2$ ($3,23 \text{ Mpa}$) y a los 28 días $42,94 \text{ Kg/cm}^2$ ($4,21 \text{ Mpa}$). Se concluyó que el comportamiento de vigas de hormigón adicionadas con fibra mejora la resistencia y pueden llegar a ser consideradas como material de refuerzo a flexión. Al utilizar haces de fibra trenzados entre sí la absorción de humedad es menor; por lo tanto, funcionan muy bien para la retracción por fraguado, presentando un buen comportamiento a flexión, es por lo que pueden trabajar como refuerzo de elementos estructurales de poca luz o como emparillado para suelos de hormigón.

- A pesar del constante avance de tecnologías “verdes” los materiales compuestos reforzados con fibras naturales no son una opción a la hora de construir debido a que sus propiedades mecánicas son más bajas de lo esperado y que gran parte de profesionales del sector de la construcción prefiere utilizar materiales tradicionales y convencionales.
- La mejor alternativa de aplicación de fibras de guadua angustifolia en la construcción es de forma secundaria mediante el uso de paneles decorativos y tableros laminados y aglomerados en fachadas, cielorrasos, entrepisos, paredes internas y externas, revestimientos, contornos de puertas y ventanas, además de piezas sanitarias y persianas; por lo tanto, al no ser un material estructural que forma parte de un sistema complejo, viene a ser un material funcional que permitirá desarrollar nuevos inventos con nuevas utilidades, que posean alta durabilidad y flexibilidad, baja inflamabilidad, bajo costo de mantenimiento e instalación, estabilidad dimensional, facilidad de montaje, ligereza y resistencia a la corrosión y al impacto.
- El porcentaje de deterioro de las fibras de guadua angustifolia al contacto solamente con agua es 0%, siempre y cuando hayan sido preservadas y curadas en términos de siembra y cosecha.
- La presente investigación concluyó que las fibras de guadua angustifolia deben ser protegidas con hidróxido de calcio, para no presentar un porcentaje de deterioro antes de entrar en contacto con algún compuesto del hormigón.
- Los resultados obtenidos en la presente investigación permiten considerar el uso de fibras de guadua angustifolia como material alternativo en la construcción, especialmente para elementos sometidos a flexión.

5.2. Recomendaciones

- Evaluar el deterioro y la vida útil de determinados elementos estructurales al adicionar fibras de guadua angustifolia como refuerzo en el hormigón.
- Al ser el cemento un material mineral y la guadua angustifolia un material vegetal se recomienda investigar si existe algún proceso que deban cumplir para su mutua adherencia.
- Debido a que la fibra de guadua angustifolia altera el tiempo de fraguado se recomienda estudiar si se debiese usar algún aditivo o plastificante que aporte en este proceso.

- Debido a la crisis económica y ambiental que se presenta en la actualidad se recomienda analizar la posibilidad de utilizar materiales naturales y alternativos que mejoren o igualen las propiedades de los tradicionales.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, P. (2013). *Análisis, diseño y comportamiento de vigas de hormigón armado reforzadas exteriormente con fibra de carbono para obra de reparación*. (Tesis de pregrado). PUCE, Quito, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/9573>
- Arbeláez, A. (2012). Morteros reforzados con fibras de bambú. *Revista de la Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 50 (2), 131-152. Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/30049/1/28797-103428-1-PB.pdf>
- ASTM INTERNATIONAL. (2017). *Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate* (ASTM C29). <https://www.astm.org/Standards/C29.htm>
- ASTM INTERNATIONAL. (2017). *Standard Specification for Concrete Aggregates* (ASTM C33). <https://www.astm.org/Standards/C33.htm>
- ASTM INTERNATIONAL. (2017). *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens* (ASTM C39). <https://www.astm.org/Standards/C39.htm>
- ASTM INTERNATIONAL. (2017). *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)* (ASTM C78). <https://www.astm.org/Standards/C78.htm>
- ASTM INTERNATIONAL. (2017). *Standard Specification for Ready-Mixed Concrete* (ASTM C94). <https://www.astm.org/Standards/C94.htm>
- ASTM INTERNATIONAL. (2017). *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)* (ASTM C109). <https://www.astm.org/Standards/C109.htm>
- ASTM INTERNATIONAL. (2017). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate* (ASTM C127). <https://www.astm.org/Standards/C127.htm>
- ASTM INTERNATIONAL. (2017). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate* (ASTM C128). <https://www.astm.org/Standards/C128.htm>

- ASTM INTERNATIONAL. (2017). *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates* (ASTM C136). <https://www.astm.org/Standards/C136.htm>
- ASTM INTERNATIONAL. (2017). *Standard Test Method for Amount of Water Required for Normal Consistency of Hydraulic Cement Paste* (ASTM C187). <https://www.astm.org/Standards/C187.htm>
- ASTM INTERNATIONAL. (2017). *Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement* (ASTM C188). <https://www.astm.org/Standards/C188.htm>
- ASTM INTERNATIONAL. (2017). *Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle* (ASTM C191). <https://www.astm.org/Standards/C191.htm>
- ASTM INTERNATIONAL. (2017). *Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by Air-Permeability Apparatus* (ASTM C204). <https://www.astm.org/Standards/C204.htm>
- ASTM INTERNATIONAL. (2017). *Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying* (ASTM C566). <https://www.astm.org/Standards/C566.htm>
- ASTM INTERNATIONAL. (2017). *Standard Performance Specification for Hydraulic Cement* (ASTM C1157). <https://www.astm.org/Standards/C1157.htm>
- ASTM INTERNATIONAL. (2017). *Standard Practice for Sampling Aggregates* (ASTM D75). <https://www.astm.org/Standards/D75.htm>
- Bejarano, D. (2019). *Estudio de la resistencia mecánica del concreto reforzado con fibras de guadua angustifolia Kunth*. (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/24124>
- Bejarano, J., & Quecan, J. (2018). *Paneles prefabricados en guadua angustifolia para entrepisos con recubrimiento en concreto*. (Tesis de pregrado). Universidad La Gran Colombia, Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://repository.ugc.edu.co/handle/11396/3354>
- Bonilla, N., & Conde, C. (2019). *Evaluación del comportamiento físico-mecánico de un concreto hidráulico con adición de fibras de guadua angustifolia Kunth*. (Tesis de pregrado). Universidad Piloto de Colombia, Girardot, Colombia. Recuperado de <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/6491/MONOGRAFIA%202019%20CONDE-BONILLA.pdf>

- Briseño, D. (2016). *Análisis del comportamiento a flexión de vigas reforzadas con fibra de cabuya*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. Recuperado de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/24183/1/Tesis%201062%20-%20Brise%C3%B1o%20S%C3%A1nchez%20Daniela%20Yajaira.pdf>
- Carvajal, C., & Páez, J. (2020). *Evaluación del comportamiento de un concreto hidráulico con adición de fibras de guadua de 3 centímetros de longitud en un porcentaje del 4%*. (Tesis de pregrado). Universidad Piloto de Colombia, Girardot, Colombia. Recuperado de <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/7459>
- Córdova, C. (2015). *Diseño de estructuras de hormigón armado*. Santiago de Chile, Chile: Universidad de Santiago de Chile.
- Espinoza, M. (2015). *Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar*. (Tesis de maestría). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23026/1/tesis.pdf>
- Estrada, M. (2010). *Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú (Guadua angustifolia) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos*. (Tesis de maestría). Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/11158/u402361.pdf?sequence=1>
- Guerrero, V et al. (2011). *Nuevos materiales: Aplicaciones estructurales e industriales*. Quito. Ecuador: Imprefepp.
- González, L. (2001). *Uso del bambú en el concreto reforzado*. Palmira, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Hurtado, S. (2017). *Estandarización del proceso de obtención de fibra de angustifolia kunth como materia prima para material compuesto*. (Tesis de pregrado). Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/10718>
- INBAR. (2015). *Estudio de la cadena desde la producción al consumo del bambú en Ecuador con énfasis en la especie Guadua angustifolia*. Quito, Ecuador: INBAR. Recuperado de <https://bambuecuador.files.wordpress.com/2018/01/2015-estudio-de-la-cadena-desde-la-produccioc81n-al-consumo-del-bmabucc81n-en-ecuador.pdf>

- INECYC. (2007). *El manual de Pepe Hormigón: Consejos prácticos sobre el hormigón*. Quito, Ecuador: INECYC-APRHOPEC.
- INEN. (2010). *Áridos. Muestreo* (NTE INEN 695). <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/695-1.pdf>
- INEN. (2011). *Áridos para hormigón. Requisitos* (NTE INEN 872). <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/872-1.pdf>
- INEN. (2001). *Hormigones. Hormigón premezclado. Requisitos* (NTE INEN 1 855-1). <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1855-1.pdf>
- INEN. (2019). *Cementos, cal y yeso para la construcción* (RTE INEN 007). <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/reglamentos/RTE-007-2R.pdf>
- McCormac, J., & Brown, R. (2011). *Diseño de concreto reforzado*. México DF, México: Alfaomega Grupo Editor, S. A.
- McCormac, J., & Csernak, S. (2013). *Diseño de estructuras de acero*. México DF, México: Alfaomega Grupo Editor, S. A.
- Martínez, J., & Poveda J. (2018). *Evaluación de la utilización de las fibras de guadua como refuerzo del concreto para minimizar el proceso de fisuración*. (Tesis de pregrado). Universidad La Gran Colombia, Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://repository.ugc.edu.co/handle/11396/3378>
- Melo, S., & Vaca, R. (2018). *Diseño de mezcla de hormigón para impresión en 3D con fibras de guadua angustifolia*. (Tesis de pregrado). PUCE, Quito, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/16550>
- MIDUVI. (2017). *Norma Ecuatoriana de la Construcción: Estructuras de Guadua (Gak) (NEC-SE-GUADUA)*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/04/NEC-SE-GUADUA-VERSION-FINAL-WEB-MAR-2017.pdf>
- Narváez, L. (2013). *Desarrollo de losas con caña de guadua angustifolia y análisis comparativo estructural y económico con los sistemas de losas tradicionales utilizado en nuestro medio*.

- (Tesis de pregrado). ESPE, Sangolquí, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/6857>
- Nilson, A. (2001). *Diseño de estructuras de concreto*. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Interamericana, S.A.
- Ouedraogo, I., & Zapata, J. (2014). *Características físicas y mecánicas de hormigones reforzados con fibras de vidrio e influencia del porcentaje fibra adicionado*. (Tesis de pregrado). PUCE, Quito, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/12095>
- Poveda, W. (2011). *Comparación del bambú con el acero como material de refuerzo a flexión en concreto*. (Tesis de pregrado). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. Recuperado de https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6165/Comparaci%C3%B3n_bamb%C3%BA_acero_material_%20refuerzo_flexi%C3%B3n_concreto.pdf
- Quintero, L et al. (2016). *Estudio de las propiedades mecánicas de los haces de fibras de Guadua Angustifolia Kunth ecuatoriana extraída a partir de diferentes métodos*. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/315708764>
- Roca, X. (2005). *Estudio de la aplicabilidad de materiales compuestos avanzados en la construcción de edificios industriales*. (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. Recuperado de <https://www.tdx.cat/handle/10803/6162;jsessionid=51F70468255005E9100D64A170362F10>
- Rodríguez, R. (2017). *El bambú como refuerzo en materiales compuestos para la construcción*. (Tesis de pregrado). Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Santa Clara, Cuba. Recuperado de <https://dspace.uclv.edu.cu/handle/123456789/8894?show=full>
- Rojas, M. & Arenas, J., (2008). Comparación técnico-financiera del acero estructural y el hormigón armado. *Revista de la Universidad Nacional de Colombia*, 75 (155), 47-56. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49611953006>
- Salazar, C. (2015). *Desarrollo de un material compuesto de fibras naturales de bambú para la utilización en viviendas de bajo costo*. (Tesis de pregrado). ESPE, Sangolquí, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/10783>

- Torres, J. (25 de marzo - 8 de abril de 2020). *Introducción, generalidades, morfología, propiedades y características físicas-mecánicas del bambú*. [Sesión de conferencia]. Guía completa de iniciación al mundo del bambú, España. <https://evidally.com/asp-products/curso-guia-completa-de-iniciacion-al-mundo-del-bambu>
- Torres, J. (2020). *3 y más razones por las que el bambú mejora la vida*. Oviedo, España: Evidally GBS. Recuperado de <https://evidally.com/contenidos-valor>
- Vargas, W. (2016). *Vigas de concreto reforzadas con bambú (Guadua Angustifolia) para construcciones rurales*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2488>

ANEXOS



Anexo 1. Agregado grueso, fino, cemento y agua.



Anexo 2. Guadua angustifolia sumergida en agua.



Anexo 3. Guadua angustifolia puesta a secar.



Anexo 4. Guadua angustifolia seca.



Anexo 5. Corte de la guadua angustifolia.



Anexo 6. Obtención de fibras de guadua angustifolia.



Anexo 7. Corte de guadua angustifolia para trenzarlas entre sí.



Anexo 8. Guadua angustifolia trenzada entre sí.



Anexo 9. Haces de fibra sumergidos en hidróxido de calcio.



Anexo 10. Haces de fibra puestos a secar.



Anexo 11. Trenzados de fibra sumergidos en hidróxido de calcio.



Anexo 12. Trenzados de fibra puestos a secar.



Anexo 13. Preparación de cubos de mortero de cemento.



Anexo 14. Cubos de mortero de cemento.



Anexo 15. Preparación de la mezcla de hormigón.



Anexo 16. Mezcla de hormigón sin fibra.



Anexo 17. Mezcla de hormigón con fibra.



Anexo 18. Preparación de las probetas cilíndricas de hormigón sin fibra.



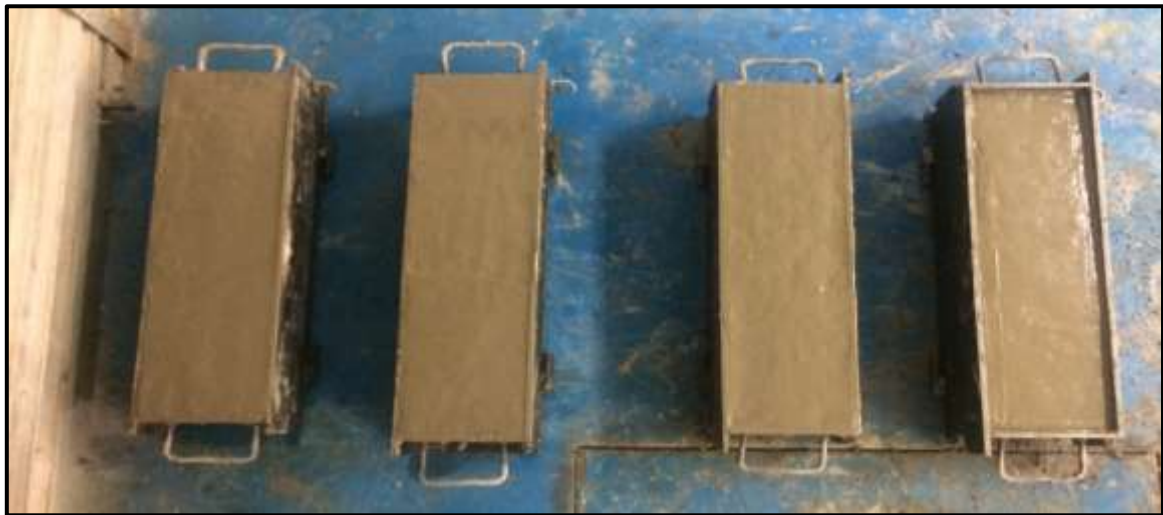
Anexo 19. Preparación de las probetas cilíndricas de hormigón con fibra.



Anexo 20. Preparación de las probetas prismáticas de hormigón sin el trenzado de fibras.



Anexo 21. Colocación del trenzado de fibras en las probetas prismáticas de hormigón.



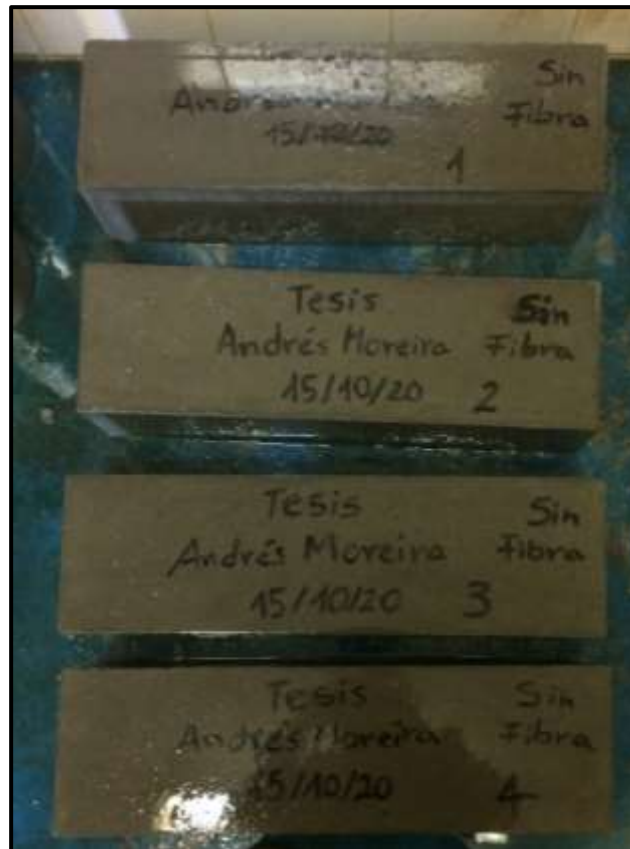
Anexo 22. Preparación de las probetas prismáticas de hormigón con el trenzado de fibras.



Anexo 23. Probetas cilíndricas de hormigón sin fibra en la cámara de humedad.



Anexo 24. Probetas cilíndricas de hormigón con fibra en la cámara de humedad.



Anexo 25. Probetas prismáticas de hormigón sin el trenzado de fibras en la cámara de humedad.



Anexo 26. Probetas prismáticas de hormigón con el trenzado de fibras en la cámara de humedad.



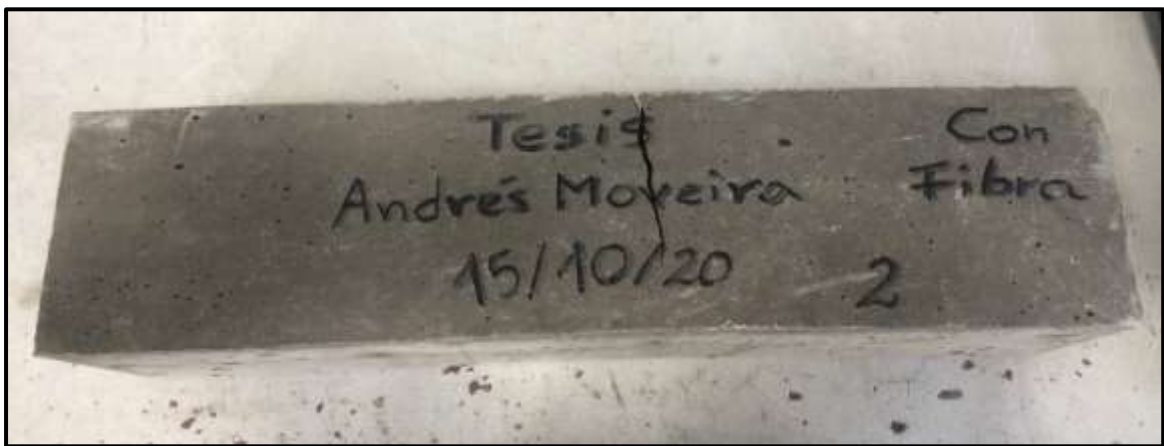
Anexo 27. Rotura a los 7 días de la probeta cilíndrica sin fibra.



Anexo 28. Rotura a los 7 días de la probeta cilíndrica con fibra.



Anexo 29. Rotura a los 7 días de la probeta prismática de hormigón sin el trenzado de fibras.



Anexo 30. Rotura a los 7 días de la probeta prismática de hormigón con el trenzado de fibras.



Anexo 31. Rotura a los 28 días de la probeta cilíndrica sin fibra.



Anexo 32. Rotura a los 28 días de la probeta cilíndrica con fibra.



Anexo 33. Rotura a los 28 días de la probeta prismática de hormigón sin el trenzado de fibras.



Anexo 34. Rotura a los 28 días de la probeta prismática de hormigón con el trenzado de fibras.