



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA
DE CONSTRUCCIONES

**Implementación de fibra vegetal (bambú) en hormigón
armado**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES

Autores:

JOSÉ ALEJANDRO BERNAL REINOSO

XAVIER ANDRÉS JARRÍN MOSQUERA

Director:

ING. JOSÉ VÁZQUEZ CALERO

CUENCA, ECUADOR

2021

DEDICATORIA

A mi familia, especialmente a mis madres María y Blanca, a mi hermano Andrés; por aconsejarme, apoyarme, guiarme y estar presentes en todos los momentos de mi vida.

José Alejandro Bernal Reinoso

Dedico este trabajo de titulación a mi madre Ximena, a mis hermanos Paúl y Daniela, a mi abuelo Estuardo; por apoyarme, guiarme y estar en cada momento junto a mí a lo largo de mi vida y a mi padre John que desde el cielo me ve cumplir otra meta.

Xavier Andrés Jarrín Mosquera

AGRADECIMIENTO

A la Universidad del Azuay en especial a la Facultad de Ciencia y Tecnología y a los docentes que en estos años nos acogieron y nos brindaron sus enseñanzas con ética y responsabilidad.

Un agradecimiento al Ing. José Vázquez Calero quien ha sido nuestro tutor y guía a lo largo de este trabajo; así mismo a los ingenieros Rolando Armas Novoa y Roberto Gamón por sus enseñanzas.

Finalmente, a nuestros amigos por acompañarnos a lo largo de estos años, por todos los momentos y enseñanzas que hemos compartido.

José Alejandro Bernal Reinoso-Xavier Andrés Jarrín Mosquera

ÍNDICE DE CONTENIDO

1	CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1	Antecedentes	1
1.2	Justificación	3
1.3	Hipótesis.....	3
1.4	Objetivos	3
1.4.1	Objetivo general.....	3
1.4.2	Objetivos específicos	3
2	CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	5
2.1	Bambú guadua.....	5
2.1.1	Estructura del bambú (guadua)	5
2.1.2	Resistencia a la tracción del bambú (guadua).....	6
2.2	Cables de bambú	6
2.3	Acero de refuerzo.....	7
2.3.1	Diámetro del acero de refuerzo	7
2.4	Hormigón armado	7
2.4.1	Cemento Portland.....	8
2.4.2	Agregados para el hormigón armado	8
2.4.3	Ventajas del hormigón armado	8
2.4.4	Resistencia a la compresión del hormigón armado.....	9
2.5	Adherencia entre el bambú y el hormigón	9
3	CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA	10
3.1	Elaboración de armaduras para cada tipo de vigueta	10
3.1.1	Elaboración de la armadura de acero	10
3.1.2	Elaboración de armadura mixta compuesta de acero y bambú.....	11
3.1.3	Elaboración de armadura de bambú con tablillas	13
3.1.4	Elaboración de la armadura con cables de bambú (guadua).....	14
3.1.4.1	Obtención de esterilla de bambú (guadua).....	15
3.1.4.2	Extracción de la fibra de bambú	16
3.1.4.3	Trenzado de cables de bambú (guadua).....	17
3.2	Dosificación para la elaboración de las muestras de hormigón	18
3.2.1	Materiales.....	19
3.2.2	Equipos y herramientas	19

3.2.3	Elaboración de la mezcla de hormigón con la dosificación seleccionada	20
3.3	Ensayo de asentamiento “Cono de Abrams”	21
3.3.1	Toma de muestras para probetas cilíndricas de hormigón (compactación con varilla).....	23
3.4	Ensayo con viguetas a flexión (compactación con varilla).....	25
3.4.1	Procedimiento de toma de muestras de las viguetas	25
3.5	Elaboración de viguetas en el laboratorio	26
4	CAPÍTULO 4: RESULTADOS	28
4.1.1	Resultados ensayo a compresión de las probetas cilíndricas.	28
4.1.2	Resultados ensayo de viguetas a flexión (norma astm c78).....	29
4.1.2.1	Resultados ensayo a flexión viguetas de hormigón	32
4.1.2.2	Resultados ensayo a flexión viguetas de acero como refuerzo	35
4.1.2.3	Resultados ensayo a flexión viguetas con refuerzo mixto	38
4.1.2.4	Resultados ensayo a flexión viguetas con refuerzo de bambú (tablilla)	41
4.1.2.5	Resultados ensayo a flexión viguetas con refuerzo de bambú (trenzado)	44
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
5.1.1	Elaboración de las diferentes armaduras utilizadas	53
5.1.2	Corte, doblado y elaboración de las armaduras de acero	53
5.1.3	Elaboración de las armaduras mixtas.....	54
5.1.4	Trenzado de la fibra de bambú.....	54
5.1.5	Elaboración de la armadura de bambú (tablilla)	54
5.1.6	Proceso de curado de las viguetas y muestras cilíndricas	55
5.1.7	Ensayos de laboratorio con los diferentes tipos de vigueta	55
5.1.8	Rotura y agrietamiento de las vigas	56
5.1.9	Muestra número 4 con bambú de refuerzo (trenzado)	56
5.1.10	Análisis de precios unitarios de las viguetas ensayadas en el laboratorio	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Partes del bambú guadua	6
Figura 3.1 Esquema de vigueta con refuerzo de acero.....	11
Figura 3.2 Armadura de acero de refuerzo.....	11
Figura 3.3 Esquema de vigueta con refuerzo mixto (bambú tablilla y acero)	12
Figura 3.5 Esquema de vigueta con refuerzo de bambú (tablillas)	13
Figura 3.6 Armadura de tablillas de bambú.....	14
Figura 3.7 Proceso para elaborar cables de bambú (guadua).....	15
Figura 3.8 Bambú en forma de esterillas	16
Figura 3.9 Fibras de bambú (guadua)	17
Figura 3.10 Esquema de vigueta con refuerzo de bambú (trenzado).....	18
Figura 3.11 Bambú en forma de trenzas	18
Figura 3.12 Colocación del volumen necesario de árido fino y grueso para la elaboración de las muestras (20 viguetas y 4 probetas).....	20
Figura 3.13 Pesado de cemento necesario de cemento para la elaboración de las muestras (20 viguetas y 4 probetas).....	21
Figura 3.14 Colocación de materiales en la concretera.....	21
Figura 3.15 Esquema del ensayo de asentamiento “Cono de Abrams”	22
Figura 3.16 Asentamiento cono de Abrams.....	23
Figura 3.17 Elaboración de viguetas	26
Figura 3.18 Piscina de curado por inmersión.....	27
Figura 4.1 Cilindros luego de ser ensayados a la compresión simple.....	28
Figura 4.2 Aparato para ensayo a flexión para viguetas de hormigón por el método de carga en los tercios de la luz.....	29
Figura 4.3 Prensa para ensayo a flexión con los mecanismos de medición de deformación adaptados	30
Figura 4.4 Muestra marcada y enumerada	30
Figura 4.5 Sección transversal de las viguetas y ubicación del centroide ©	31
Figura 4.6 Esquema de momentos para todas las viguetas	32
Figura 4.7 Fallas presentadas en muestra de hormigón	33
Figura 4.8 Esfuerzo vs deformación de las viguetas de hormigón sin refuerzo	34
Figura 4.9 Esfuerzo vs deformación promedio viguetas de hormigón sin refuerzo .	35
Figura 4.10 Fallas presentadas en muestra de acero como refuerzo	36
Figura 4.11 Esfuerzo vs deformación de las viguetas de hormigón con acero como refuerzo	37

Figura 4.12 Esfuerzo vs deformación promedio viguetas de hormigón con acero como refuerzo	38
Figura 4.13 Fallas presentadas en muestra de refuerzo mixto	39
Figura 4.14 Esfuerzo vs deformación de las viguetas de hormigón con refuerzo mixto	40
Figura 4.15 Esfuerzo vs deformación promedio viguetas de hormigón con refuerzo mixto	41
Figura 4.16 Presencia de grietas en viguetas con refuerzo de bambú (tablillas)	42
Figura 4.17 Fallas presentadas en muestra de refuerzo bambú (tablillas)	42
Figura 4.18 Esfuerzo vs deformación de las viguetas con refuerzo de bambú (tablilla)	43
Figura 4.19 Esfuerzo vs deformación promedio viguetas de hormigón con refuerzo de bambú (Tablilla)	44
Figura 4.20 Fallas presentadas en muestra de refuerzo bambú (trenza)	45
Figura 4.21 Esfuerzo vs deformación de las viguetas con refuerzo de bambú (trenzado)	46

ÍNDICE DE TABLAS

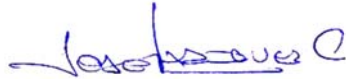
Tabla 2.1 Diámetros mínimos y máximos de barras.....	7
Tabla 3.1 Dosificación $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$	19
Tabla 4.1 Resultados del ensayo a compresión de probetas cilíndricas.....	28
Tabla 4.2 Resultados ensayos a flexión viguetas de hormigón.....	32
Tabla 4.3 Resultados obtenidos en el laboratorio para las viguetas de hormigón sin refuerzo	33
Tabla 4.4 Promedio de resultados de viguetas de hormigón sin refuerzo.....	34
Tabla 4.5 Resultados ensayos a flexión viguetas con refuerzo de acero	35
Tabla 4.6 Resultados obtenidos en el laboratorio para las viguetas con acero como refuerzo	36
Tabla 4.7 Promedio de resultados de viguetas de hormigón con acero como refuerzo	37
Tabla 4.8 Resultados ensayos a flexión viguetas con refuerzo mixto.....	38
Tabla 4.9 Resultados obtenidos en el laboratorio para las viguetas con refuerzo mixto	39
Tabla 4.10 Promedio de resultados de viguetas de hormigón con refuerzo mixto	40
Tabla 4.11 Resultados ensayos a flexión viguetas con refuerzo de bambú (tablilla) ..	41
Tabla 4.12 Resultados obtenidos en el laboratorio para las viguetas con refuerzo de bambú (tablilla)	43
Tabla 4.13 Promedio de resultados de viguetas de hormigón con refuerzo de bambú (tablilla).....	44
Tabla 4.14 Resultados ensayos a flexión viguetas con refuerzo de bambú (trenza)..	45
Tabla 4.15 Resultados obtenidos en el laboratorio para las viguetas con refuerzo de bambú (Trenzado)	46
Tabla 4.16 Promedio de resultados de viguetas de hormigón con refuerzo de bambú (trenzado)	47
Figura 4.22 Esfuerzo vs deformación promedio viguetas de hormigón con refuerzo de bambú (trenzado).....	47

Implementación de fibra vegetal (bambú) en hormigón armado

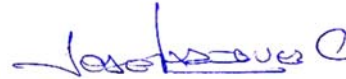
RESUMEN

A lo largo de los años el bambú (guadua) ha sido conocido como el acero vegetal por su alta resistencia a la tracción, pero las investigaciones del uso de bambú como refuerzo dentro del hormigón han sido escasas; por este motivo, el objetivo de esta investigación fue comparar la resistencia del bambú con la del acero, empleados como refuerzo dentro del hormigón. Utilizando la normativa ASTM C78 se realizaron ensayos a la flexión, esperando como resultado que el bambú como refuerzo en el hormigón alcance una resistencia similar a la del acero ante esfuerzos de tracción generados por la flexión.

Palabras clave: *Bambú guadua, esfuerzos, flexión, refuerzo, tracción.*



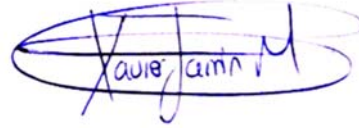
Ing. José Fernando Vázquez Calero
DIRECTOR DE ESCUELA



Ing. José Fernando Vázquez Calero
DIRECTOR DE TESIS



José Alejandro Bernal Reinoso



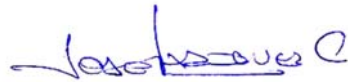
Xavier Andrés Jarrín Mosquera

Implementation of vegetable fiber (bamboo) in reinforced concrete

ABSTRACT

Throughout the years, bamboo (guadua) has been known as vegetable steel for its high tensile strength, but research on the use of bamboo as reinforcement within concrete has been scarce. For this reason, the objective of this research was to compare the resistance of bamboo vs steel while used as reinforcement within concrete. Using the ASTM C78 standard flexural tests were made, expecting as a result that the bamboo working as reinforcement in the concrete achieves a resistance similar to steel against tensile stresses generated by bending.

Keywords: *Bamboo guadua, stress, flexion, reinforcement, traction*

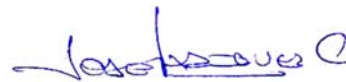


Ing. José Fernando Vázquez Calero

DIRECTOR DE ESCUELA

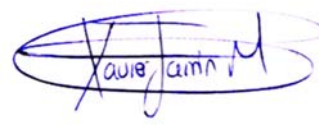


José Alejandro Bernal Reinoso



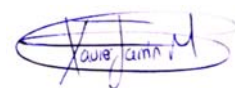
Ing. José Fernando Vázquez Calero

DIRECTOR DE TESIS



Xavier Andrés Jarrín Mosquera

Translated by



Alejandro Bernal and Xavier Jarrín

José Alejandro Bernal Reinoso

Xavier Andrés Jarrín Mosquera

Trabajo de Titulación

Ing. José Vázquez Calero

Septiembre, 2021.

Implementación de fibra vegetal (bambú) en hormigón armado

1 CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de titulación tiene la finalidad de estudiar el comportamiento del bambú guadua como refuerzo en el hormigón. Con la intención de dar a conocer cuál es el comportamiento del bambú dentro del hormigón, asimismo, conocer cuáles son sus cualidades y limitaciones al utilizarlo como refuerzo. El bambú guadua en nuestro país es un material atractivo que ha sido usado en los últimos años como material en la construcción, muchos países de Latinoamérica han empezado a utilizarlo como material de refuerzo por su economía, pues al compararlo en precio con el acero existe una gran diferencia. No obstante, el bambú es catalogado como el acero vegetal por sus grandes cualidades.

La metodología que se siguió en esta investigación fue la estipulada por la norma ASTM C31 para la elaboración de muestras (viguetas y cilindros) de hormigón y la normativa ASTM C78 para el ensayo a flexión de las viguetas.

1.1 Antecedentes

En los últimos años es notable la evolución y desarrollo de la construcción. A partir de este desarrollo se han impulsado el uso de materiales ecológicos, dado que se ha tomado conciencia del impacto ambiental que generan los procesos constructivos. Debido a esto, existen un sinnúmero de estudios acerca del uso del bambú dentro de la construcción y se lo ha catalogado como una excelente alternativa dentro de este campo, gracias a su buen comportamiento físico - mecánico (Gómez, Rodríguez, & Ramal, 2020). En Latinoamérica existe gran disponibilidad de la guadua, que es una variedad de bambú. Este material es muy importante en diferentes ámbitos tales como:

lo cultural, lo ambiental y lo socioeconómico. La guadua es considerada un material autosustentable, pues su proceso de crecimiento es corto, además, proporciona beneficios en el suelo y en la biósfera. Por otro lado, es un material que se lo aprovecha en casi su totalidad a diferencia de otros materiales como la madera (Echezuría, 2018).

El bambú es catalogado como el material de los mil usos, destacando su disponibilidad y sus bajos costos dentro del Ecuador. En las zonas rurales del país el uso de la guadua es la base para el crecimiento económico, dado que se generan nuevas plazas de trabajo para los habitantes. Además de que la materia prima es aprovechada para diferentes usos, ya sea en la construcción, por su resistencia, en la elaboración de instrumentos- artesanías, dentro de la agricultura como un soporte y guía en plantaciones como el cacao, elaboración de papel y, finalmente en la elaboración de muebles o decoraciones. Es necesario resaltar la disminución notable del clasismo que se le ha dado a este material, gracias a su incorporación en diferentes proyectos dentro del país. Por ejemplo: el mercado de mariscos en Manabí, el museo de los amanes en Santa Elena- Olón, paradas de buses elaboradas con guadua en la zona litoral del país, entre otros; de tal forma que, los habitantes y visitantes observen la estética que imprime este material y los valores de identidad que genera el mismo.

El bambú es considerado como el acero vegetal a causa de su composición natural, pues posee fibras de celulosa de manera longitudinal y estas se incrementan desde el interior hacia el exterior del tallo (Torres, Segarra, & Bragança, 2019). Además, es un material ideal para la construcción de viviendas sismo – resistentes, a causa de sus propiedades estructurales como lo son su resistencia, flexibilidad y su ligereza (Añazco, 2013). En nuestro país Ecuador existe la organización CAEMBA “Casitas emergentes de bambú”; esta organización se potenció a raíz del terremoto ocurrido el 16 de abril del 2016, la cual tiene como objetivo construir viviendas cómodas en zonas abandonadas de nuestro país, mejorando así la calidad de vida de estas personas. Además, se han encargado de construir escuelas. Con el mantenimiento adecuado estas construcciones de bambú pueden durar 35 años y los costos de estas casas bordean los cinco mil dólares.

En países como México ya se utiliza al bambú como material de refuerzo, sus propiedades son similares a la del acero; esto quiere decir, que las estructuras poseen las características mecánicas adecuadas (Gómez, Rodríguez, & Ramal, 2020). En realidad, la mayoría de países latinoamericanos están implementando al bambú como

una opción en la construcción como material de refuerzo, generando precios de construcción más baratos que hacen de esta combinación muy atractiva en zonas rurales. Otro ejemplo es en Costa Rica, pues ya existen diversos estudios del bambú como sustitución del acero; aquí se emplean tablillas de bambú con discontinuidades dentro de elementos de hormigón.

1.2 Justificación

En algunas zonas costaneras y amazónicas del Ecuador se han realizado trabajos de construcción con el bambú (guadua), este material presenta buena resistencia a la tracción, tanto así que es considerado el acero vegetal, además de otras ventajas como la trabajabilidad, su ligereza, bajos costos y que se encuentra listo para usar en la construcción a edades tempranas a diferencia de la madera, debido a estudios realizados en países como México y Costa Rica en donde se lo utiliza como material de refuerzo, sería conveniente para una ciudad como Cuenca investigar sobre materiales más económicos y renovables como refuerzo para el hormigón en distintos elementos estructurales que respondan a las solicitudes como lo haría una armadura de acero convencional.

1.3 Hipótesis

Con este trabajo, se espera que el bambú guadua alcance una resistencia similar a la del acero como refuerzo en el hormigón. De tal modo que, se pueda emplearlo en la ciudad de Cuenca en elementos estructurales sometidos a esfuerzos de tracción generados por la flexión.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Utilizar bambú (guadua) como refuerzo en viguetas de hormigón; para comparar su resistencia a la flexión con viguetas de hormigón armado, viguetas con hormigón sin refuerzo y viguetas con refuerzo mixto (trabajando el bambú guadua en conjunto con el acero), así conocer acerca de las ventajas y limitaciones que este material puede presentar al momento de usarlo como refuerzo.

1.4.2 Objetivos específicos

- Medir la deformación obtenida de los ensayos de flexión de los distintos tipos de viguetas de hormigón realizadas en el laboratorio.

- Realizar tablas con los esfuerzos y las deformaciones obtenidas de los ensayos para cada tipo de vigueta de hormigón realizados en el laboratorio.
- Elaborar gráficos de esfuerzo-deformación para las viguetas de hormigón sin refuerzo, viguetas de hormigón armado, viguetas de hormigón con refuerzo mixto y viguetas de hormigón con bambú guadua como refuerzo para comparar los resultados.

2 CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Bambú guadua

El bambú es una planta muy importante para la población de las zonas rurales de todo el mundo; se usa en la construcción de casas, postes eléctricos, escaleras, postes para antenas de televisión, juguetes, manualidades e incluso en la fabricación de papel (Mercedes, 2006).

Como afirman Durán y Uribe (2002) la guadua es una gramínea nativa de gran distribución en América cumpliendo con un rol significativo en el papel ambiental, sociocultural y económico. A lo largo del tiempo se han clasificado alrededor de 40 géneros y cerca de 450 especies.

2.1.1 Estructura del bambú (guadua)

La estructura de la guadua varía dependiendo de la sección de la planta, ésta se divide en tres partes: rizoma, tallo, y las ramas. El rizoma hace referencia a la parte subterránea del tallo y puede alcanzar profundidades de 1 a 3 metros, siendo esta la parte encargada de dar soporte, absorber nutrientes y de la reproducción por vía asexual. Gracias a su configuración se ha utilizado para estabilizar laderas y prevenir la erosión por escorrentía y el viento (Suárez, 2011).

El diámetro máximo que llega a tener el tallo del bambú guadua es el mismo con el que emerge del suelo, es robusto y de color verde oscuro, es hueco en sus entrenudos los cuales están separados de manera transversal por nudos que le dan rigidez, flexibilidad y resistencia a la planta. El tallo del bambú no tiene tejido cambium el cual es el responsable del ensanchamiento de los troncos y raíces, por lo que, el diámetro del tallo de un bambú nace y muere siendo el mismo llegando a alcanzar una altura promedio de 18 a 22 metros y aproximadamente 5 a 19 cm de diámetro (Mendoza & Rosales, 2014).

Una de las ventajas del bambú (guadua) es que en tan solo medio año puede alcanzar su altura máxima y a una edad de 3 años está listo para ser tratado para aplicarlo en diferentes tipos de usos, desde utensilios artesanales hasta estructuras de viviendas.

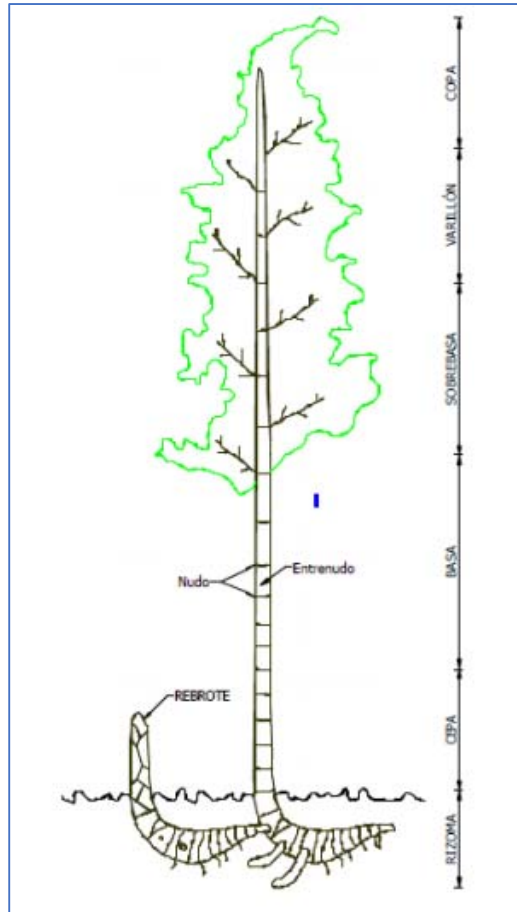


Figura 2.1 Partes del bambú guadua

Fuente: PROPUESTA DE LA TEORÍA DE LA FLUENCIA PARA EL DISEÑO DE CONEXIONES DE GUADUA ROLLIZA (Suárez, 2011).

2.1.2 Resistencia a la tracción del bambú (guadua)

La guadua tiene fibras longitudinales con una muy elevada resistencia a la tracción; según los ensayos realizados de probetas de guadua tomadas de la pared externa se han registrado datos en donde poseen una resistencia a la tracción promedio de 2561 kg/cm^2 . Esta especie es muy comparada con el acero A36 cuyo esfuerzo de fluencia es de 2530 kg/cm^2 y un esfuerzo ultimo de 4000 kg/cm^2 , es por esta razón que se considera que el bambú guadua es el acero vegetal (Pantoja & Acuña, 2004).

2.2 Cables de bambú

La experiencia del hombre asiático a lo largo de los años le enseñó que las cintas extraídas del tallo del bambú en su parte externa son mucho más resistentes que la fibra interna; de esta manera juntando varias cintas de bambú se obtuvieron cables de mayor resistencia utilizados en las estructuras; así mismo con el paso del tiempo se

utilizaron dos técnicas para elaborar cables de bambú, el primero siendo la torsión de las cintas extraídas del bambú y el segundo el trenzado de varias cintas (Hidalgo, 1978).

Con la aplicación del segundo método en donde se utilizan por lo menos tres o más cintas para elaborar el cable, se obtuvieron resistencias superiores capaces de implementar en la estructura de puentes con grandes luces que podían ser mayores a los 100 metros o para arrastrar barcos.

2.3 Acero de refuerzo

El acero a utilizar debe ser corrugado, excepto cuando se trabaja en espirales o con acero pretensado, para los cuales se deberá utilizar acero liso. Cuando la norma lo permita se pueden usar conectores para resistir fuerzas de corte, perfiles de acero o fibras dispersas (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015).

2.3.1 Diámetro del acero de refuerzo

Dependiendo de la estructura de hormigón que se utilice en obra, se usará un tipo diferente de armadura o refuerzo de acero, en la siguiente Tabla 2.1 se indican cuáles son los diámetros mínimos y máximos.

Tabla 2.1 Diámetros mínimos y máximos de barras

Tipo	Diámetro mínimo de barra, d_b	Diámetro máximo de barra, d_b
Barras corrugadas	8 mm	36 mm
Alambre para mallas	4 mm	10 mm
Estribos	10 mm	16 mm

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015.

2.4 Hormigón armado

Es una mezcla de arena y grava, unidos por una pasta de cemento y agua. Suele combinarse con aditivos para cambiar algunas características del hormigón, tales como la resistencia, ductilidad, durabilidad y tiempo de fraguado; el hormigón tiene una alta resistencia a la compresión y una baja resistencia a la tracción (McCormac & Brown, 2011).

El hormigón es el material más utilizado en la construcción en países en vías de desarrollo debido a su resistencia a la compresión, sin embargo, su baja resistencia a la tracción ha hecho que se deba implementar una armadura de refuerzo la cual

generalmente es de acero corrugado, que sirve para compensar esa falta de resistencia a la tracción que presenta el hormigón ante los esfuerzos de flexión.

2.4.1 Cemento portland

Es un polvo muy fino de color gris, está compuesto de silicatos de calcio y de aluminio, que provienen de la mezcla de calizas, arcillas o pizarras y de yeso mediante procesos químicos a elevadas temperaturas (Romo Proaño, 2008).

El cemento Portland es también llamado cemento hidráulico debido a que, al entrar en contacto con el agua este se endurece hasta formar una piedra artificial. Para la elaboración de estructuras de hormigón solo se utilizan cementos hidráulicos.

2.4.2 Agregados para el hormigón armado

Los agregados (áridos grueso y fino) que se utilizan en hormigón son aproximadamente tres cuartas partes del volumen de este; es por ello que, al tener un precio más económico es favorable utilizar tanto como sea posible. Se utiliza dos tipos de agregados: el fino que por lo general es arena y el grueso que puede ser grava o piedra triturada (McCormac & Brown, 2011).

Para la división del agregado y su correcta categorización tenemos el uso de los tamices normados por la ASTM C136; todo material pasante del tamiz No 4 (4.75mm) es considerado fino y el de mayor tamaño es agregado grueso. Por otro lado, los agregados deben presentar condiciones adecuadas para la mezcla, estos deben estar limpios debido a que la resistencia del hormigón disminuirá si el agregado no presenta condiciones adecuadas para su uso, ya sea que se encuentren con polvo o no sean resistentes ni durables.

2.4.3 Ventajas del hormigón armado

El hormigón armado es el material más utilizado en la construcción; se puede usar en casi todas las estructuras, ya sean grandes o pequeñas, en edificaciones, puentes, pavimentos, presas, muros de retención, túneles, drenaje, tanques, etcétera. Esto se debe a las considerables ventajas que el material presenta, tales como:

- Tiene buena resistencia a la compresión.
- Tiene gran resistencia a las acciones de fuego y agua, es el material más conveniente a nivel mundial en casos en que el agua esté presente en la obra. En casos de incendios de mediana intensidad, las estructuras con recubrimiento adecuado de hormigón solo sufrirán daños superficiales.

- Las estructuras de hormigón armado son muy rígidas.
- El mantenimiento es mínimo
- Los elementos estructurales de hormigón armado tienen una larga vida de servicio.
- Es el único material económico para zapatas, losas de piso, muros, columnas y otras construcciones similares.
- Requiere mano de obra de baja calificación para su construcción, lo que lo vuelve de mayor accesibilidad comparándolo con otros materiales como el acero estructural (McCormac & Brown, 2011).

2.4.4 Resistencia a la compresión del hormigón armado

Por lo general, todos los elementos elaborados con hormigón armado son diseñados con la hipótesis de resistir solo esfuerzos de compresión. Para medir la resistencia a la compresión se efectúan ensayos normalizados siguiendo los procedimientos de las Normas INEN, ASTM C31 Y ASTM C39 (Hernandez, 2010).

2.5 Adherencia entre el bambú y el hormigón

Uno de los principales fallos al implementar el bambú como elemento de refuerzo en el hormigón se debe a que éste puede sufrir variaciones en su volumen en el tiempo de fraguado del hormigón. En primera instancia el bambú sufriría un hinchamiento debido al contacto con la mezcla aún fresca del hormigón, para que después se inviertan los papeles en donde el hormigón aún fraguando, pero en un estado de endurecimiento, absorbe la humedad del bambú, haciendo que este se llegue deteriorar y pierda sus propiedades (González Salcedo, 2001).

Por lo que, para poder tener una adherencia entre estos materiales es necesario trabajar de dos modos; el primero sería dejar los nudos de la parte lisa del bambú para que se adhiera con el hormigón, por otro lado la segunda forma de generar adherencia y la más conveniente sería trabajar el bambú trenzando su fibra para evitar el contacto del hormigón con una superficie lisa como sería el bambú guadua es sus condiciones iniciales, generando este trenzado de bambú le damos mayor adherencia al material como refuerzo.

3 CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

En el presente trabajo de titulación “IMPLEMENTACIÓN DE FIBRA VEGETAL (BAMBÚ) EN HORMIGÓN” se realizaron 5 tipos de viguetas de hormigón con dimensiones iguales, cada una de ellas de 60 centímetros de longitud y de 15 centímetros de cara; la distinción entre los tipos de vigueta radica en el material que se utilizó como refuerzo. El primer tipo de vigueta compuesta solo por hormigón sin ningún material como refuerzo, el segundo tipo de vigueta tiene bambú como material de refuerzo (Tipo tablilla), el tercer tipo de vigueta tiene bambú como material de refuerzo (Tipo trenzado), el cuarto tipo de vigueta tiene como refuerzo una combinación de acero con bambú, por último, el quinto tipo de vigueta tiene acero como refuerzo.

3.1 Elaboración de armaduras para cada tipo de vigueta

3.1.1 Elaboración de la armadura de acero

En primer lugar, para la elaboración de la armadura de las viguetas se decidió utilizar dos diámetros de varillas, la primera de 10 milímetros correspondiente al acero longitudinal y la segunda de 5.5 milímetros para el acero de los estribos.

Partiendo desde el molde de la vigueta de 60x15x15 centímetros, se procedió a realizar cortes longitudinales con la ayuda de un corta cadenas a una distancia de 52 centímetros, debido al recubrimiento de 4 cm de cada lado que se aplicó para este ensayo, al terminar de realizar todos los cortes del acero longitudinal, se cortó el acero de estribos con el corta cadenas; obteniendo un largo de 32 centímetros debido a que, cada lado del doblado de los estribos sería de 7 centímetros y finalmente, se realizó un doblado de 4 centímetros restantes para un mayor agarre de las varillas longitudinales. En la Figura 3.1 se indica un esquema del armado del acero.

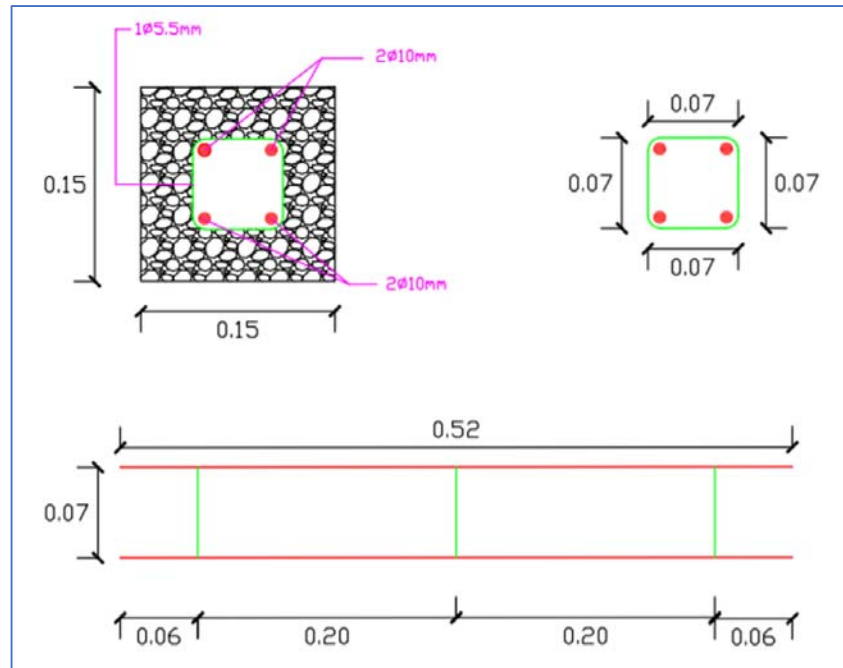


Figura 3.1 Esquema de viga con refuerzo de acero

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

La siguiente Figura 3.2 muestra el resultado final de la armadura de acero.



Figura 3.2 Armadura de acero de refuerzo

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

3.1.2 Elaboración de armadura mixta compuesta de acero y bambú

Como primer paso para la elaboración de la armadura mixta, se realizó los cortes de acero con ayuda del corta cadenas, de la misma manera que en la armadura de acero se utilizó una varilla longitudinal de diámetro de 10 milímetros; la cual, fue cortada con una medida de 52 centímetros respectivamente, para cumplir con los 4 centímetros de recubrimiento en cada lado de la viga, puesto que, el molde de viga es de 60x15x15 centímetros, siendo el mismo para todas las vigas por ensayar. También, se utilizó una varilla de acero con un diámetro de 5.5 milímetros como estribo. Por otro lado, el bambú utilizado durante todo este trabajo de titulación tenía una edad

aproximada de 4 años listo para su uso en la construcción. Este se colocó en forma de tablillas, estas fueron cortadas para lograr el ancho deseado de 6 centímetros, luego, se realizaron cortes con la ayuda de un serrucho para tener las tablillas de bambú de 52 centímetros de longitud. En la siguiente Figura 3.3 se muestra un esquema de la armadura mixta.

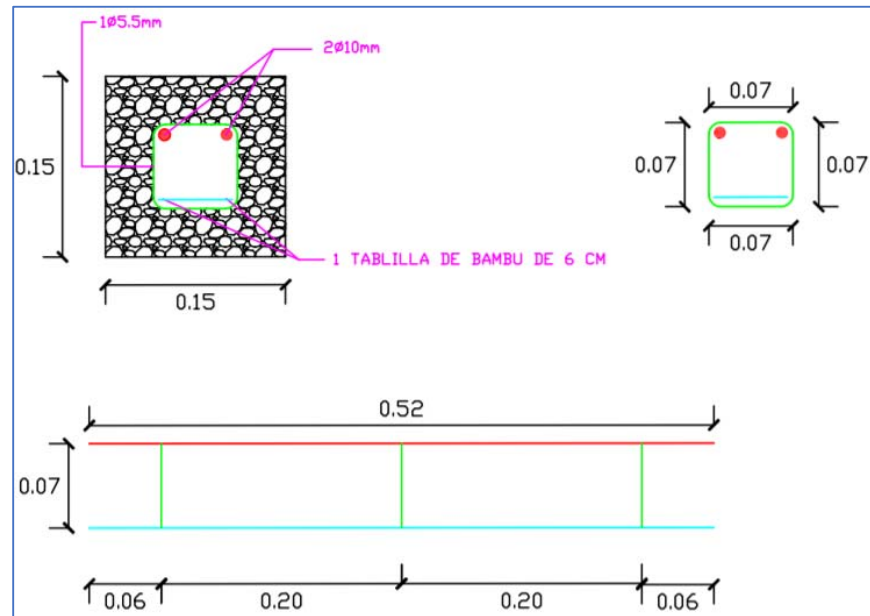


Figura 3.3 Esquema de vigueta con refuerzo mixto (bambú tablilla y acero)

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

Estas tablillas fueron ubicadas en la parte inferior de la armadura, el resultado final de la armadura se puede apreciar en la Figura 3.4.



Figura 3.4 Armadura mixta

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

3.1.3 Elaboración de armadura de bambú con tablillas

Para la confección del refuerzo correspondiente al bambú con tablillas se utilizaron 3 tablillas de bambú amarradas consecutivamente de menor a mayor longitud como se muestra en la Figura 3.5, la menor con una longitud de 44 centímetros de largo, la mediana con una longitud de 48 centímetros de largo y la mayor con una longitud de 52 centímetros de largo, y todas con un ancho de 6 centímetros.

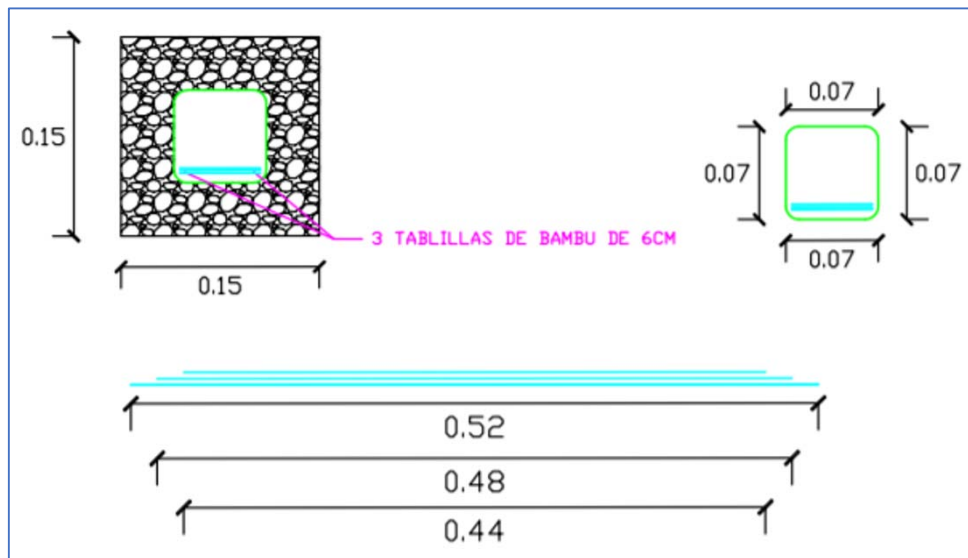


Figura 3.5 Esquema de vigueta con refuerzo de bambú (tablillas)

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

Las tablillas fueron cortadas de la misma manera que las tablillas utilizadas en la vigueta de refuerzo mixto. Se las colocó de esta forma, para que soporten las sollicitaciones a flexión que actuarán en la parte inferior de la vigueta y de esta forma lograr un mejor comportamiento del bambú ante dichas sollicitaciones a flexión. A continuación, en la Figura 3.6 se puede observar el resultado final del refuerzo de bambú.

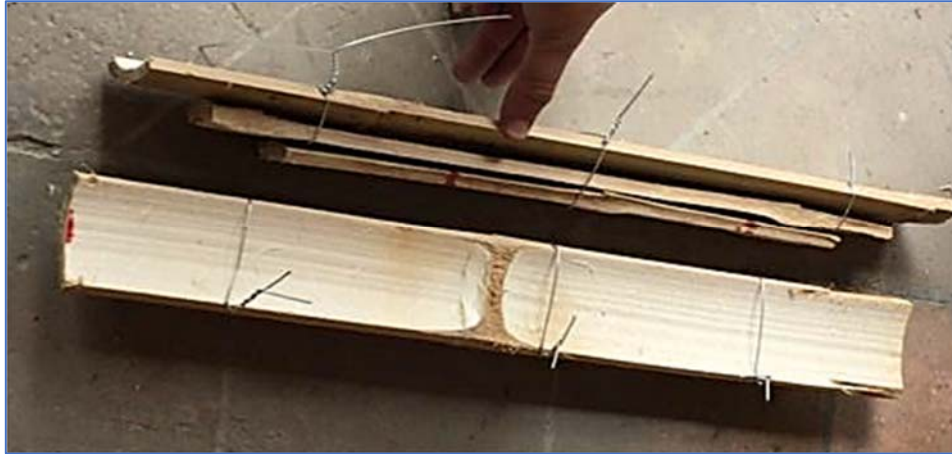


Figura 3.6 Armadura de tablillas de bambú

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

3.1.4 Elaboración de la armadura con cables de bambú (guadua)

Se aplica el mismo principio utilizado en la fabricación de cuerdas, para el cable se utilizan mínimo tres cintas de 3 milímetros de espesor y hasta 10 milímetros de ancho extraídas de la parte externa del tallo del bambú; en un extremo se juntan las cintas formando un haz, el cual se procede a girar al mismo tiempo y en el mismo sentido que los extremos libres; este proceso se lo repite hasta completar 3 o 4 vueltas como máximo por metro lineal de cinta de bambú. Una vez que tengamos el mismo número de vueltas en cada cinta se procede a soltar el haz el cual girará por la energía que posee formando el cable que posteriormente se deberá amarrar en sus extremos (Hidalgo, Nuevas técnicas de construcción con bambú, 1978). El resumen del proceso viene detallado en la siguiente Figura 3.7.

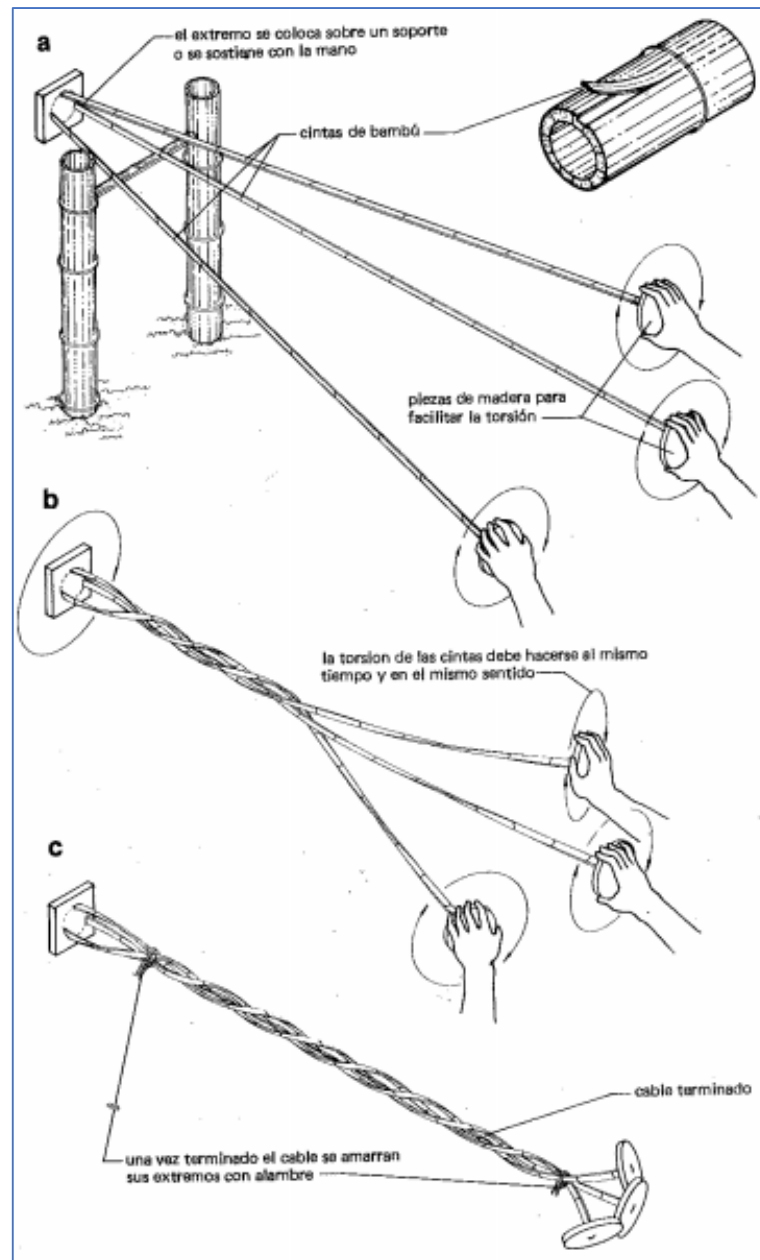


Figura 3.7 Proceso para elaborar cables de bambú (guadua)

Fuente: Manual de construcción con bambú (Hidalgo, 1981).

3.1.4.1 Obtención de esterilla de bambú (guadua)

La esterilla es el producto final de un proceso manual en el cual se abre el tallo del bambú (guadua) para obtener laminas planas. Para este proceso se necesitó de un hacha de mano con la cual se comenzaron a dar golpes en un extremo del bambú hasta que este empezara a mostrar el sentido de las fibras de manera vertical. Una vez realizado este paso se procede a continuar golpeando los nodos externos del tallo del

bambú para que de esta manera el corte siga por el sentido de las fibras desde el extremo donde empezamos los golpes hacia el nodo en el que estamos actualmente. Este proceso se repite a lo largo del bambú de 6 metros usado en esta investigación, para obtener los cortes verticales a lo largo de todo el bambú. Luego, se utilizó un machete para abrir con un corte un lado del bambú, para que, se tenga una especie de plancha plana con todos los cortes verticales realizados previamente. En la siguiente Figura 3.8 se muestra el resultado del proceso descrito.



Figura 3.8 Bambú en forma de esterillas

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

3.1.4.2 Extracción de la fibra de bambú

Una vez abierta la esterilla de bambú, con la ayuda de un machete o hacha se empezó a desfibrar o cortar cada tramo de la esterilla, teniendo como resultado las fibras o cintas de bambú necesarias para la elaboración de los cables como se indica en la Figura 3.9.



Figura 3.9 Fibras de bambú (guadua)

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

3.1.4.3 Trenzado de cables de bambú (guadua)

Partiendo del criterio expuesto en el inciso 3.1.4 para el trenzado, se utilizaron tres fibras del mismo largo unidas en la punta por medio de un hilo de tejer, para que, el agarre fuera firme mientras se realizaba la torción de cada fibra seguido del trenzado. Una vez trenzada la longitud total se aseguró el extremo inferior con hilo; este proceso se repitió dos veces más. Luego, se sujetaron tres trenzas de fibra de bambú al inicio con la ayuda del mismo hilo de tejer, para volver a trenzarlas una vez más y formar un cable más grueso de fibra, en la siguiente Figura 3.10 se observa el esquema de la vigueta.

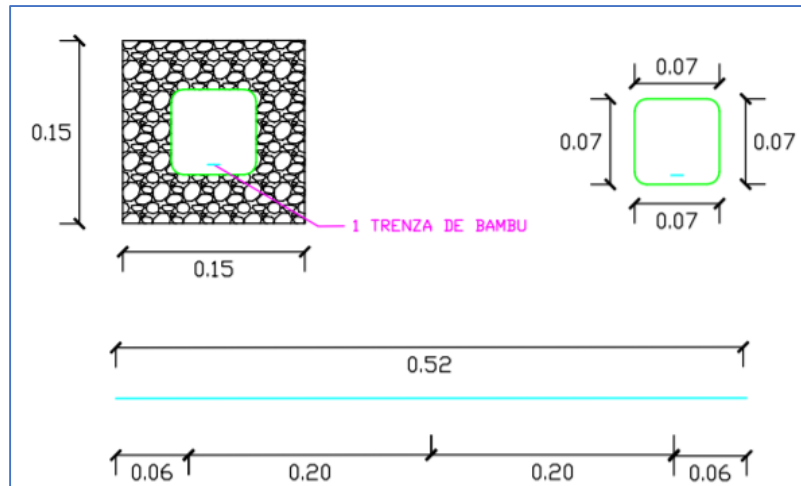


Figura 3.10 Esquema de viga con refuerzo de bambú (trenzado)

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

La Figura 3.11 indica el resultado final de este proceso.



Figura 3.11 Bambú en forma de trenzas

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

3.2 Dosificación para la elaboración de las muestras de hormigón

Se realizaron 4 muestras por cada tipo de viga, además de 4 probetas cilíndricas para ensayar a la compresión simple el hormigón elaborado. Se utilizó como referencia la dosificación brindada por la Holcim para un hormigón de $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$; a partir de esta dosificación, se calculó la cantidad de agregado fino, agregado grueso, cemento y agua necesaria para la elaboración de todas las muestras (20 viguetas y 4 cilindros). En la siguiente Tabla 3.1 se detalla la dosificación de referencia.

Tabla 3.1 Dosificación $f_c=240 \text{ kg/cm}^2$

MATERIAL	REFERENCIA HOLCIM	UNIDAD
CEMENTO	50,00	kg
AGREGADO FINO	64,00	dm ³
AGREGADO GRUESO	80,00	dm ³
AGUA	25,00	lts

Fuente: Dosificación de la Holcim

3.2.1 Materiales

Los materiales empleados como: el agregado fino y el agregado grueso fueron adquiridos de la misma cantera; asimismo, se utilizó solo cemento de la marca Holcim, con la intención de fijar esta variable para todas las muestras durante este proceso de investigación. A continuación se enlista los materiales que se usaron en esta investigación:

- Agregado fino (arena gruesa) < 1.75 mm
- Agregado grueso 3/4"
- Varillas de acero de refuerzo (10 mm y 5.5 mm)
- Fibras vegetales bambú (guadua) en forma de tablillas y trenzado
- Cemento Portland "Holcim" Fuerte
- Agua
- Molde vigueta 60x15x15 cm
- Molde de cilindro de 30x15cm

3.2.2 Equipos y herramientas

Los equipos y herramientas que se utilizaron para realizar la mezcla del hormigón fueron los siguientes:

- Hormigonera
- Palas
- Bailejo
- Cuchara
- Balanza

- Balde
- Probeta de 1000 ml
- Probeta de 500 ml
- Recipientes de 4 y 5 dm³

3.2.3 Elaboración de la mezcla de hormigón con la dosificación seleccionada

Una vez obtenidos los materiales, se almacenaron en el laboratorio de la Universidad del Azuay. Luego, se midió la cantidad de agregado fino y grueso con los recipientes de 4 y 5 dm³ como indica la Figura 3.12.



Figura 3.12 Colocación del volumen necesario de árido fino y grueso para la elaboración de las muestras (20 viguetas y 4 probetas)

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

Después con una probeta se midió la cantidad de agua necesaria para alcanzar nuestra dosificación seleccionada; asimismo fue pesada la porción de cemento necesaria para la elaboración del número de muestras seleccionadas como muestra la Figura 3.13.



Figura 3.13 Pesado de cemento necesario de cemento para la elaboración de las muestras (20 viguetas y 4 probetas)

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

Una vez obtenidas las cantidades adecuadas de los materiales fueron colocadas en la hormigonera como se muestra en la Figura 3.14.



Figura 3.14 Colocación de materiales en la concretera

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

3.3 Ensayo de asentamiento “Cono de Abrams”

Este ensayo consta en tomar una muestra del concreto fresco, colocarlo y compactarlo mediante el uso de una varilla en un molde metálico con una forma de

cono truncado. Una vez compactada la muestra el molde es levantado verticalmente y el concreto fresco se hunde, se hace una comparación entre la altura del molde metálico y la distancia desplazada del centro de la cara superior de la muestra de hormigón, esta diferencia de alturas es considerada el asentamiento de ese hormigón (ASTM C143).

Para la elaboración de este ensayo se necesitaron los siguientes materiales:

- Cono de Abrams
- Varilla compactadora
- Base metálica para el Cono de Abrams
- Cuchara para la muestra de hormigón
- Flexómetro
- Bailejo

El molde metálico para el ensayo tiene las siguientes dimensiones:

- 10 centímetros en la punta del cono truncado
- 30 centímetros de alto
- 20 centímetros de base

La muestra se coloca en tres capas a lo alto del molde, cada una de las capas es compactada con 25 golpes con una varilla metálica, la compactación se realiza en cada una de las capas sin permitir que la varilla bajara a las capas anteriores. Posteriormente, se enrasa la parte superior, una vez enrasada se retira el molde verticalmente en un periodo de 5 segundos para medir el asentamiento de la muestra del material, esto se hace con la ayuda del molde colocando en la parte superior la varilla metálica. Después, con la ayuda del flexómetro se toma una medida al centro de la cara superior de la muestra y así se determina el asentamiento del hormigón fresco. En la siguiente Figura 3.15 se muestra un esquema de este ensayo.

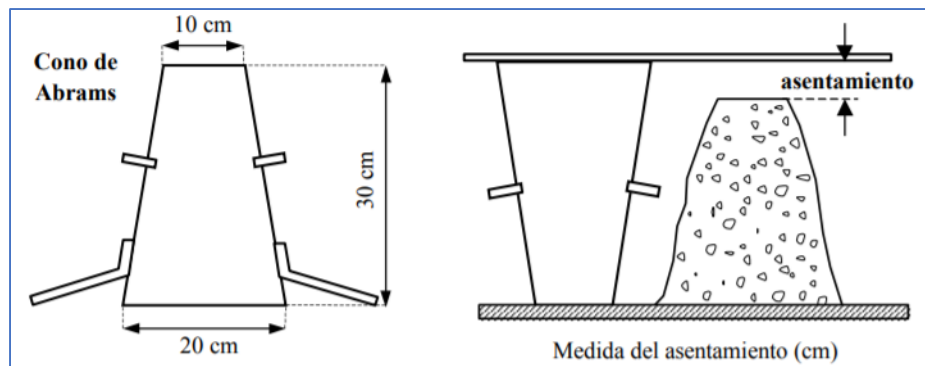


Figura 3.15 Esquema del ensayo de asentamiento "Cono de Abrams"

Fuente: ISRAM 1.536 (Instituto Argentino de Normalización y Certificación)

En la aplicación del ensayo de asentamiento para medir la trabajabilidad del hormigón mediante el cono de Abrams, se obtuvo un resultado de 10 centímetros de asentamiento para todas las mezclas como se observa en la Figura 3.16.



Figura 3.16 Asentamiento cono de Abrams

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

3.3.1 Toma de muestras para probetas cilíndricas de hormigón (compactación con varilla)

Para la toma de muestras de probetas cilíndricas se siguió el proceso descrito en la norma ASTM C31. En la cual se escogió utilizar los moldes cilíndricos de 15 centímetros de diámetro y 30 centímetros de altura.

Se utilizó una varilla apisonadora de diámetro de 1.6 centímetros y longitud de 50 centímetros. Además, se usarán las siguientes herramientas menores: martillo con cabeza de caucho, cuchara, bailejo y pala. Por último, se utilizará el recipiente de muestreo con la capacidad suficiente para almacenar la mezcla.

- Colocar los moldes sobre una superficie plana libre de obstáculos y vibraciones.
- Aplicar una capa delgada de desmoldante; este puede ser aceite mineral.
- Tomar una muestra siguiendo la norma ASTM C172; se deposita el hormigón con la cuchara dentro del molde.

- El llenado se realiza en tres capas iguales de 10 centímetros, pues se utilizó para el ensayo cilindros de 15 centímetros de radio por 30 centímetros de altura; empleando un método de compactación mediante apisonamiento.
- Se apisona la capa con el extremo redondeado de la varilla, utilizando 25 inserciones por capa y estas deben atravesar por lo menos 25 milímetros de la capa inferior.
- Se golpea los bordes del molde con el martillo de 10 a 15 veces con el objetivo de tapar cualquier orificio y eliminar las burbujas de aire atrapadas.
- Se agregan las capas adicionales y se repite el proceso de apisonamiento con el extremo redondeado de la varilla y los golpes con el martillo.
- Se enrasa con el bailejo los cilindros sin moverlos, dejando una superficie lisa evitando depresiones mayores a 3 milímetros.
- Se marcan los cilindros sin alterar la superficie de los mismos durante el curado inicial.
- Luego de 24 horas más o menos 8 horas se desmoldan las muestras y se marcan. Las muestras se deben desmoldar máximo a las 48 horas de haberlas conformado.
- Antes de los 30 minutos las muestras deben sumergirse en tanques de agua para el curado a una temperatura de 23 grados centígrados más o menos 2 grados centígrados.
- Cuando las muestras vayan a ser ensayadas deben protegerse de daños y golpes.

Para finalizar, se pesa la muestra y se mide el diámetro de la misma con un vernier. Además, se colocan bases de neopreno dentro de la máquina de compresión axial y estas deben estar centradas en la base de la máquina. Se introduce la probeta dentro del equipo. Y la resistencia a la compresión es medida mediante la máquina de compresión axial, la cual aplica una carga sobre la superficie del cilindro a una velocidad específica mientras ocurre la falla. La carga a la que falla la probeta queda registrada en un tablero de la máquina.

3.4 Ensayo con viguetas a flexión (compactación con varilla)

Para elaborar las muestras de viguetas se necesita contar con moldes prismáticos de un material rígido no absorbente y no reactivo con el hormigón. Estos moldes deben tener una superficie lisa en su interior; sus lados, fondo y extremos deben estar a 90 grados unos de otros, esto quiere decir, que el molde debe estar correctamente alineado y derecho. Los moldes por normativa deben tener una sección transversal de 15 por 15 centímetros, asimismo, la longitud de la viga debe ser al menos 5 centímetros, mayor que tres veces el ancho.

Se empleará una varilla cilíndrica compactadora lisa de acero y su extremo compactador debe ser hemisférico manteniendo el diámetro de la varilla. Las dimensiones de la varilla son las siguientes:

- Diámetro de 1.6 centímetros y longitud de 50 centímetros destinadas para viguetas con un ancho de 15 centímetros.

Además, se usarán las siguientes herramientas menores: martillo con cabeza de caucho, cuchara, bailejo y pala.

3.4.1 Procedimiento de toma de muestras de las viguetas

- Situar los moldes sobre una superficie plana y nivelada.
- Emplear una capa de desmoldante en la superficie interior del molde.
- Tomar una muestra siguiendo la norma ASTM C172; se deposita el hormigón con la cuchara en el molde. La toma de la muestra no puede extenderse por más de 15 minutos una vez tomada la muestra.
- El llenado de las vigas debe ser en dos capas de igual volumen para vigas de 10 a 20 centímetros de ancho o tres capas iguales para vigas con un ancho mayor a 20 centímetros.
- Entre capa y capa efectuar 56 inserciones con la varilla apisonadora y de 10 a 15 golpes por capa distribuidos con el martillo con cabeza de caucho.
- Enrasar la parte superior de la viga para lograr una superficie plana y uniforme.
- Luego de que las vigas fragüen y máximo 48 horas después de haberlas conformado, desencofrarlas y marcarlas.
- Colocar las vigas en la piscina de curado (inmersión en agua).

3.5 Elaboración de viguetas en el laboratorio

Por causa de la pandemia producida por el COVID, la disposición de los laboratorios se limitaba al siguiente horario: apertura a las siete de la mañana y cierre a las trece horas con treinta minutos. Por esta razón, se realizaron primero las cuatro muestras de viguetas del tipo de hormigón sin ningún material como refuerzo. Estas fueron elaboradas como se describe en la norma ASTM C31, que fue mencionada y descrita anteriormente.

Para la elaboración de los 4 tipos de viguetas con distinto refuerzo se usó el mismo proceso para la realización de la mezcla del hormigón con la dosificación seleccionada. En estas muestras se colocó los refuerzos de cada una de ellas en los moldes con un recubrimiento de 4 centímetros y se siguió el mismo proceso de elaboración descrita en la norma ASTM C 31, como se muestra en la Figura 3.17. Además, se realizaron 4 cilindros de 15 por 30 centímetros para comprobar que la mezcla alcance la resistencia de 240 kg/cm^2 .



Figura 3.17 Elaboración de viguetas

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

Luego, se colocó en la piscina de curado por inmersión todas las muestras correspondientes a cada tipo de viga y las muestras de los cilindros como se indica en la Figura 3.18; para lograr un curado adecuado y poder ensayarlas a los 28 días de su fecha de elaboración.



Figura 3.18 Piscina de curado por inmersión

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

4 CAPÍTULO 4: RESULTADOS

4.1.1 Resultados ensayo a compresión de las probetas cilíndricas.

Luego de esperar los 28 días, se realizó el ensayo a compresión de las probetas cilíndricas de hormigón. El número de muestras ensayadas fueron cuatro, estas muestras fueron realizadas siguiendo los parámetros de la norma ASTM C31 como se describió en el inciso 3.3.1. La Tabla 4.1 indica los resultados obtenidos del ensayo de las cuatro muestras elaboradas siguiendo la normativa.

Tabla 4.1 Resultados del ensayo a compresión de probetas cilíndricas

# Muestra	Diámetro Cm	Altura cm	Vol cilindro m ³	Peso kg	Densidad kg/ m ³	Densidad Media kg/ m ³	Carga de rotura kgf	Esfuerzo Compresión kgf/ cm ²	Esfuerzo medio kgf/ cm ²
1	15	30	0.005	12.69	2395.19	2380.7	43152	244	241
2				12.52	2361.81		41482	234	
3				12.64	2385.20		43126	244	
4				12.62	2380.48		42980	243	

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

la Figura 4.1 muestra las fallas producidas en los cilindros luego de ser ensayados a la compresión simple.



Figura 4.1 Cilindros luego de ser ensayados a la compresión simple

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

En resumen, con el resultado obtenido del ensayo a compresión simple de las muestras cilíndricas, se puede decir que la dosificación brindada por la Holcim es válida y confiable, pues entre las 4 muestras no existe gran variación en sus resultados. En otras palabras, el hormigón usado para la elaboración de las muestras tiene la resistencia seleccionada y se lo consideró como una variable fija en esta investigación.

4.1.2 Resultados ensayo de viguetas a flexión (norma astm c78)

Las viguetas luego de estar inmersas en la piscina de curado un lapso de 28 días desde que fueron elaboradas, se prepararon para ser ensayadas. En primer lugar, estas se dejaron secar por un periodo aproximado de una hora y media. Durante este tiempo se preparó el aparato apropiado para el ensayo a flexión, como se observa en la Figura 4.2.

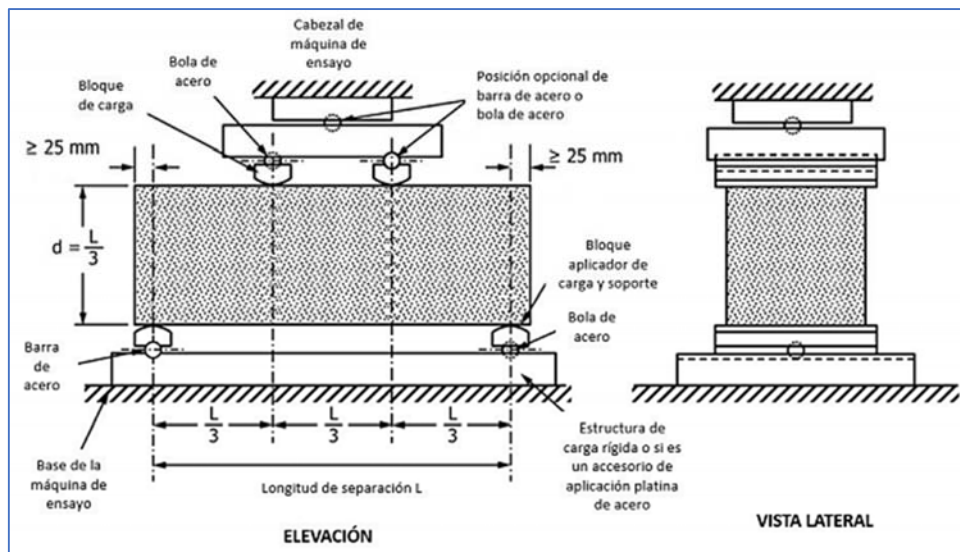


Figura 4.2 Aparato para ensayo a flexión para viguetas de hormigón por el método de carga en los tercios de la luz

Fuente: ASTM C78

Para observar la deformación en el ensayo a flexión se usaron dos planchas de acero como soporte para el deformímetro, el mismo que se encontraba plegado en su totalidad y encerado. El deformímetro se colocó en la prensa con ayuda de dos imanes de parlante. Por otro lado, en la parte derecha de la prensa se colocó una regla para medir la deformación de las viguetas, con el objetivo de constatar la deformación observada en ambos sistemas de medición. En las siguientes Figura 4.3 se muestra el mecanismo detallado.



Figura 4.3 Prensa para ensayo a flexión con los mecanismos de medición de deformación adaptados

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

Una vez listo el mecanismo de medición se empezó con el ensayo. Antes de colocar las viguetas en la prensa fueron enumeradas y marcadas como describe la norma ASTM C78 en la Figura 4.2, todo esto con el objetivo de que las muestras queden ubicadas de manera correcta y siempre en la misma posición sobre los apoyos de la prensa.



Figura 4.4 Muestra marcada y enumerada

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

Luego de que la muestra fue colocada correctamente en la prensa, con la ayuda de cinta se ubicó una regla de color rojo para poder registrar la deformación, junto con la otra regla colocada previamente en la malla de la prensa. Cuando la vigueta empieza

a deformarse por la fuerza aplicada sobre ella, la regla de color rojo baja conjuntamente con la misma y se puede distinguir la deformación en centímetros.

Los resultados de este ensayo fueron registrados mediante tres cámaras de video. La primera cámara enfocaba la fuerza ejercida por la prensa en kilo Newton (kN), la segunda enfocaba el deformímetro y la última cámara la deformación de la viga medida por el par de reglas.

A partir de estas grabaciones se realizaron tablas donde se registró la fuerza y deformación correspondiente a la duración total del ensayo; luego se calculó el esfuerzo para cada una de las viguetas mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{M * c}{I}$$

Donde:

- σ : Esfuerzo (kN/cm^2).
- M: Momento flector ($\text{kN}\cdot\text{cm}$).
- c: Distancia del eje neutro (cm).
- I: Momento de inercia (cm^4)

Primero se calculó el centroide (c) cuyo valor es igual a 7.5 cm como indica la Figura 4.5.

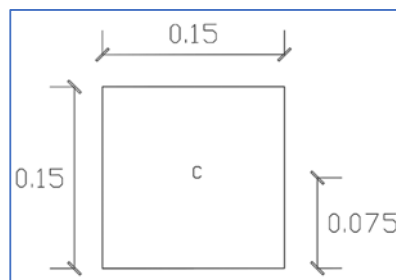


Figura 4.5 Sección transversal de las viguetas y ubicación del centroide (c)

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

Después se calculó el momento de inercia mediante la siguiente ecuación:

$$I = \frac{b * h^3}{12}$$

Donde:

- b: base de la sección transversal de la vigueta.

- h : altura de la sección transversal de la viga.

El centroide y el momento de inercia son los mismos, pues la sección transversal de las viguetas es la misma para todas las muestras realizadas. A partir de las cargas de rotura obtenidas se consiguió calcular el valor de las reacciones mediante la sumatoria de fuerzas en “y”, seguido de esto se procedió a el cálculo del momento para cada una de las viguetas. En la siguiente Figura 4.6 se muestra el esquema de momentos.

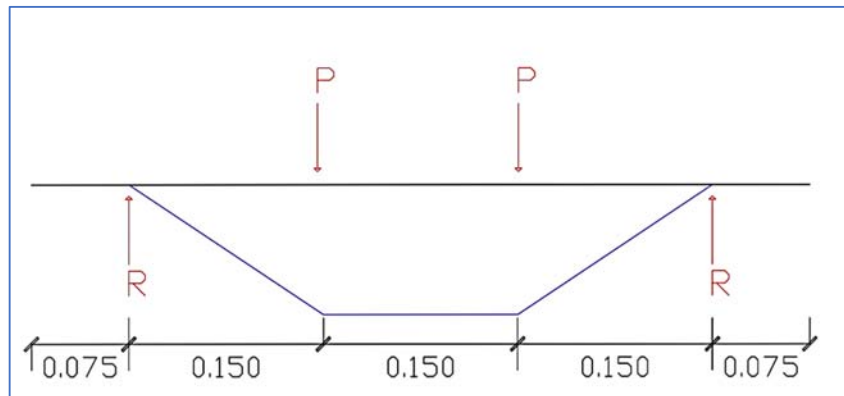


Figura 4.6 Esquema de momentos para todas las viguetas

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

4.1.2.1 Resultados ensayo a flexión viguetas de hormigón

A continuación, mediante la Tabla 4.2 se presenta las cargas de rotura de cada viga de hormigón sin refuerzo.

Tabla 4.2 Resultados ensayos a flexión viguetas de hormigón

Nº de muestra	Carga de rotura (kN)	Promedio de carga (kN)
1	22	
2	21	
3	22	22,25
4	24	

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

Las cuatro muestras de viguetas de hormigón sin refuerzo tuvieron un correcto curado, puesto que no se encontraban grietas previas al ensayo. Después de ser ensayados los cuatro especímenes presentaron la misma rotura justo partiéndose por la mitad al estar sometidas a la máxima fuerza aplicada por la prensa, dando como

resultado una fuerza promedio de carga de rotura de 22,25 kN. En la siguiente Figura 4.7 se observan las fallas de las muestras.



Figura 4.7 Fallas presentadas en muestra de hormigón

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

En la siguiente Tabla 4.3 aparecen los resultados obtenidos en el laboratorio.

Tabla 4.3 Resultados obtenidos en el laboratorio para las viguetas de hormigón sin refuerzo

INERCIA = 4218.75 cm⁴

C = 7.5 cm

PRIMERA MUESTRA		SEGUNDA MUESTRA		TERCERA MUESTRA		CUARTA MUESTRA	
MOMENTO	165 kN*cm	MOMENTO	157.5 kN*cm	MOMENTO	165 kN*cm	MOMENTO	180 kN*cm
Deformación	Esfuerzo	Deformación	Esfuerzo	Deformación	Esfuerzo	Deformación	Esfuerzo
(cm)	(kN/cm ²)	(cm)	(kN/cm ²)	(cm)	(kN/cm ²)	(cm)	(kN/cm ²)
0	0	0	0	0	0	0	0
0.11	0.293	0.10	0.280	0.11	0.293	0.10	0.32

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

Las siguiente Figura 4.8 muestra el esfuerzo versus la deformación de cada una de las muestras de hormigón sin refuerzo con los resultados obtenidos del ensayo.

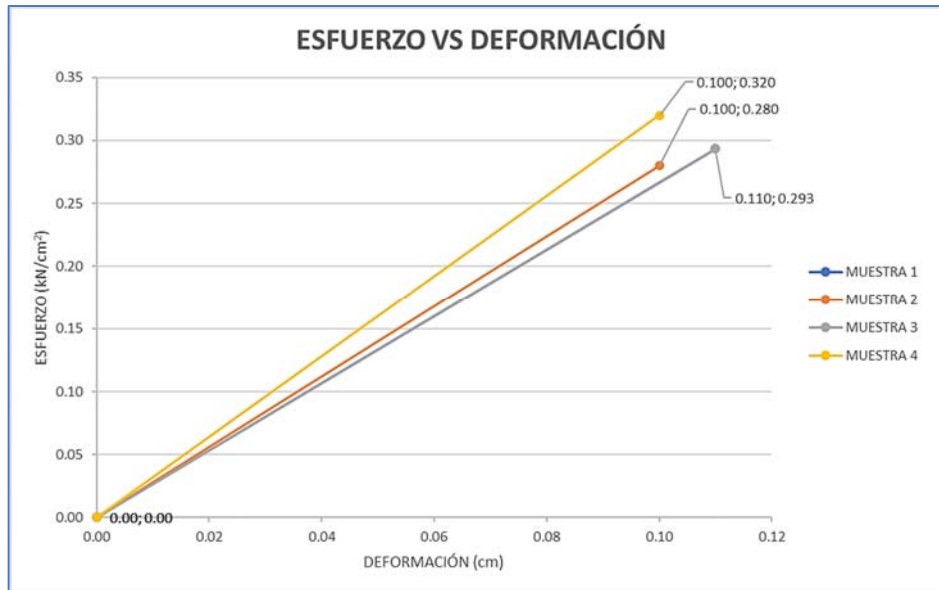


Figura 4.8 Esfuerzo vs deformación de las viguetas de hormigón sin refuerzo

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

En la Figura 4.8 presentada se indica el esfuerzo que sufrieron las viguetas de hormigón sin refuerzo en función de la deformación que experimentaron al mismo tiempo.

La Figura 4.9 muestra el promedio general de esfuerzo versus deformación de las viguetas de hormigón sin refuerzo. Teniendo como resultado una deformación y un esfuerzo promedio como indica la Tabla 4.4

Tabla 4.4 Promedio de resultados de viguetas de hormigón sin refuerzo

PROMEDIO	
DEFORMACIÓN	ESFUERZO
(cm)	(kN/cm ²)
0	0
0.105	0.297

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

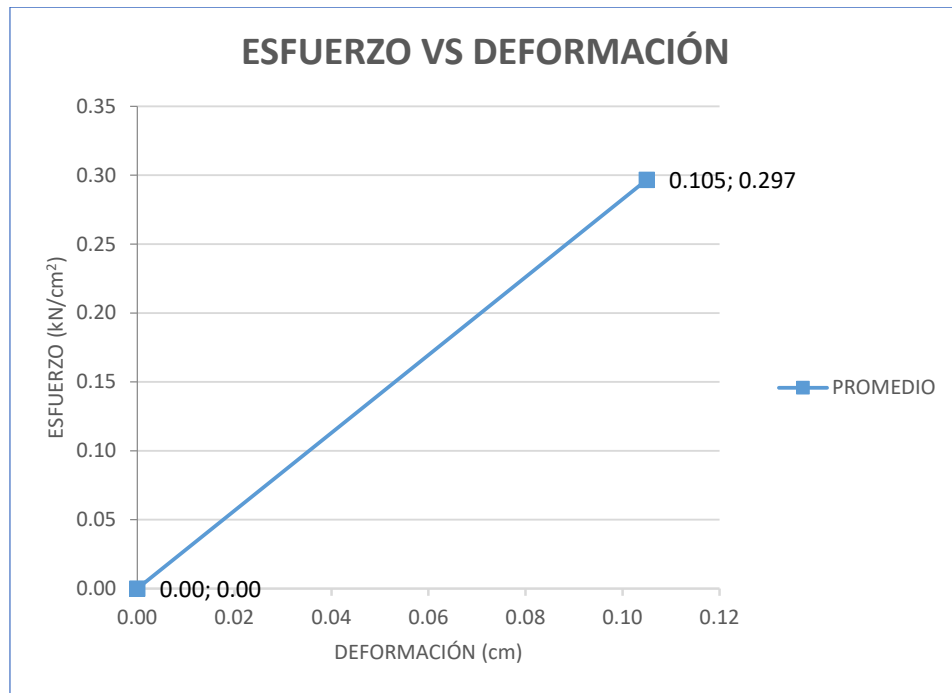


Figura 4.9 Esfuerzo vs deformación promedio viguetas de hormigón sin refuerzo

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

4.1.2.2 Resultados ensayo a flexión viguetas de acero como refuerzo

A continuación, mediante la Tabla 4.5 se presenta las cargas de rotura de cada una de las viguetas con acero como refuerzo.

Tabla 4.5 Resultados ensayos a flexión viguetas con refuerzo de acero

Nº de muestra	Carga de rotura (kN)	Promedio de carga (kN)
1	100	
2	102	
3	98	100,25
4	101	

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

Las cuatro viguetas con acero como refuerzo tuvieron un correcto curado, puesto que no se encontraban grietas previas al ensayo. Después de ser ensayados los cuatro especímenes presentaron agrietamientos como se muestran en la Figura 4.10, en las cuales se observan grietas verticales en el centro y grietas a 45 grados en los extremos con respecto al eje. Como resultado se obtuvo una fuerza promedio de carga de rotura de 100,25 kN.

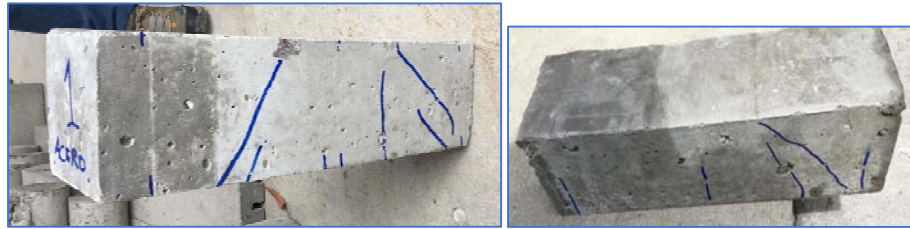


Figura 4.10 Fallas presentadas en muestra de acero como refuerzo

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

En la siguiente Tabla 4.6 aparecen los resultados obtenidos en el laboratorio.

Tabla 4.6 Resultados obtenidos en el laboratorio para las viguetas con acero como refuerzo

INERCIA = 4218.75 cm⁴

C = 7.5 cm

PRIMERA MUESTRA		SEGUNDA MUESTRA		TERCERA MUESTRA		CUARTA MUESTRA	
MOMENTO	750 kN*cm	MOMENTO	765 kN*cm	MOMENTO	735 kN*cm	MOMENTO	758 kN*cm
Deformación	Esfuerzo	Deformación	Esfuerzo	Deformación	Esfuerzo	Deformación	Esfuerzo
(cm)	(kN/cm ²)	(cm)	(kN/cm ²)	(cm)	(kN/cm ²)	(cm)	(kN/cm ²)
0	0	0	0	0	0	0	0
0.41	1.33	0.45	1.36	0.37	1.31	0.40	1.35

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

Las siguiente Figura 4.11 muestra el esfuerzo versus la deformación de cada una de las muestras de hormigón con acero como refuerzo con los resultados obtenidos del ensayo.

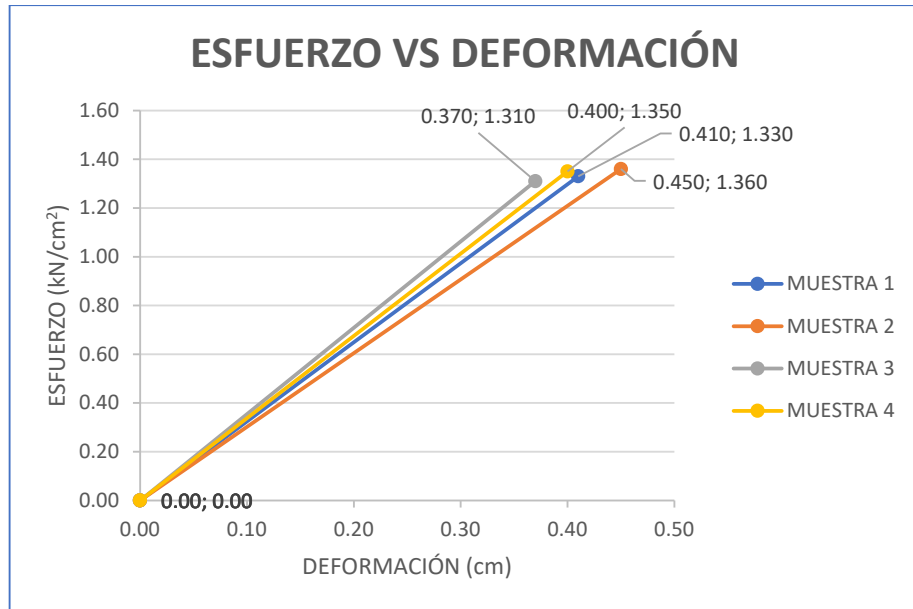


Figura 4.11 Esfuerzo vs deformación de las viguetas de hormigón con acero como refuerzo

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

La Figura 4.12 muestra el promedio general de esfuerzo versus deformación de las viguetas de hormigón con acero como refuerzo. Teniendo como resultado una deformación y un esfuerzo promedio como indica la Tabla 4.7.

Tabla 4.7 Promedio de resultados de viguetas de hormigón con acero como refuerzo

PROMEDIO	
DEFORMACIÓN	ESFUERZO
(cm)	(kN/cm²)
0	0
0.41	1.34

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín



Figura 4.12 Esfuerzo vs deformación promedio viguetas de hormigón con acero como refuerzo

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

4.1.2.3 Resultados ensayo a flexión viguetas con refuerzo mixto

A continuación, mediante la Tabla 4.8 se presenta las cargas de rotura de cada muestra con refuerzo mixto.

Tabla 4.8 Resultados ensayos a flexión viguetas con refuerzo mixto

Nº de muestra	Carga de rotura (kN)	Promedio de carga (kN)
1	61	60,75
2	57	
3	61	
4	64	

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

Las cuatro viguetas con refuerzo mixto tuvieron un correcto curado, puesto que no se encontraban grietas previas al ensayo. Después de ser ensayados los cuatro especímenes presentaron agrietamientos como se muestran en la Figura 4.13, en las cuales se observan grietas verticales en el centro y grietas a cuarenta y cinco grados en los extremos con respecto al eje. Como resultado se obtuvo una fuerza promedio de carga de rotura de 60,75 kN.

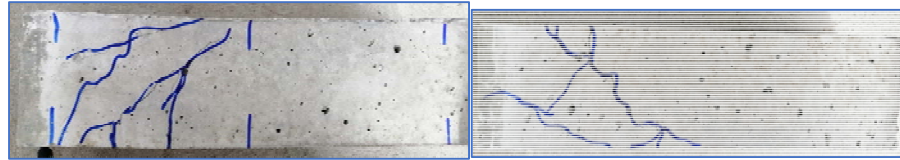


Figura 4.13 Fallas presentadas en muestra de refuerzo mixto

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

En la siguiente Tabla 4.9 aparecen los resultados obtenidos en el laboratorio.

Tabla 4.9 Resultados obtenidos en el laboratorio para las viguetas con refuerzo mixto

INERCIA = 4218.75 cm⁴

C = 7.5 cm

PRIMERA MUESTRA		SEGUNDA MUESTRA		TERCERA MUESTRA		CUARTA MUESTRA	
MOMENTO	458 kN*cm	MOMENTO	428 kN*cm	MOMENTO	458 kN*cm	MOMENTO	480 kN*cm
Deformación	Esfuerzo	Deformación	Esfuerzo	Deformación	Esfuerzo	Deformación	Esfuerzo
(cm)	(kN/cm ²)	(cm)	(kN/cm ²)	(cm)	(kN/cm ²)	(cm)	(kN/cm ²)
0	0	0	0	0	0	0	0
0.29	0.813	0.32	0.76	0.29	0.813	0.33	0.853

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

Las siguiente Figura 4.14 muestra el esfuerzo versus la deformación de cada una de las viguetas de hormigón con refuerzo mixto con los resultados obtenidos del ensayo.

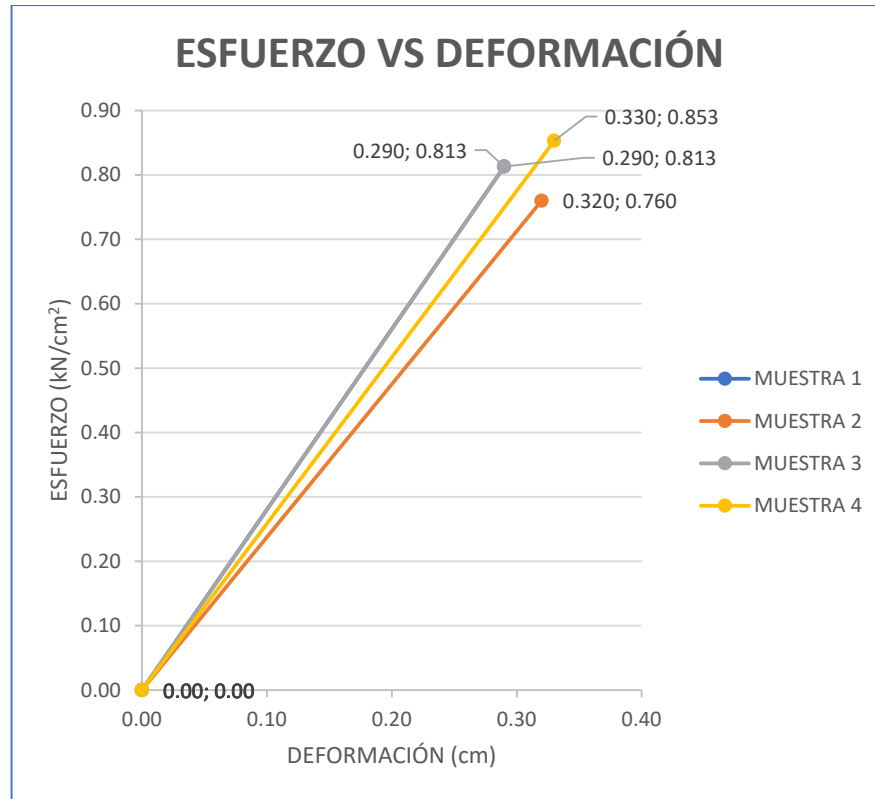


Figura 4.14 Esfuerzo vs deformación de las viguetas de hormigón con refuerzo mixto

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

La Figura 4.15 muestra el promedio general de esfuerzo versus deformación de las viguetas de hormigón con refuerzo mixto. Teniendo como resultado una deformación y un esfuerzo promedio como indica la Tabla 4.10.

Tabla 4.10 Promedio de resultados de viguetas de hormigón con refuerzo mixto

PROMEDIO	
DEFORMACIÓN	ESFUERZO
(cm)	(kN/cm ²)
0	0
0.31	0.81

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

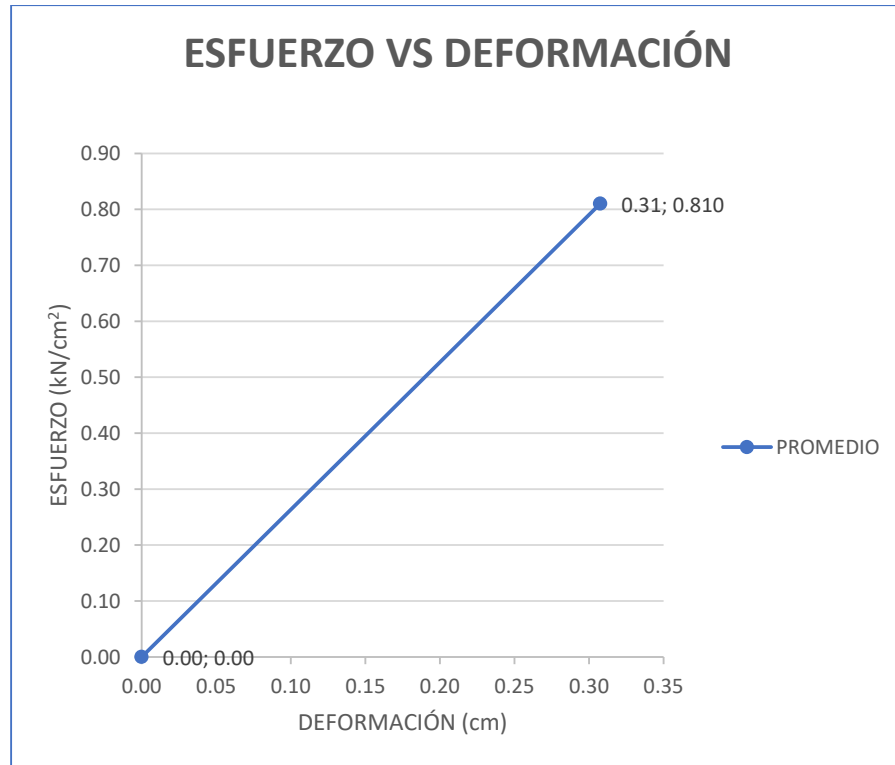


Figura 4.15 Esfuerzo vs deformación promedio viguetas de hormigón con refuerzo mixto

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

4.1.2.4 Resultados ensayo a flexión viguetas con refuerzo de bambú (tablilla)

A continuación, mediante la Tabla 4.11 se presenta las cargas de rotura de cada muestra con refuerzo de bambú (tablillas).

Tabla 4.11 Resultados ensayos a flexión viguetas con refuerzo de bambú (tablilla)

Nº de muestra	Carga de rotura (kN)	Promedio de carga (kN)
1	36	
2	22	
3	28	29,79
4	33	

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

Las cuatro viguetas con refuerzo de bambú (tablilla) presentaron problemas de agrietamiento a los pocos días de su elaboración, se observó una grieta horizontal a lo largo de toda su longitud. Esta se ubicaba justo en la zona del refuerzo de tablilla, debido a que, colocar bambú en forma de tablillas causó una retención de agua durante

el curado inicial y esto produjo un hinchamiento del refuerzo de bambú que terminó agrietando la vigueta como se muestra a continuación en la Figura 4.16.



Figura 4.16 Presencia de grietas en viguetas con refuerzo de bambú (tablillas)

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

Como resultado del ensayo los cuatro especímenes presentaron agrietamientos en los extremos a cuarenta y cinco grados con respecto al eje como indica la Figura 4.17. Como resultado se obtuvo una fuerza promedio de carga de rotura de 29,79 kN.



Figura 4.17 Fallas presentadas en muestra de refuerzo bambú (tablillas)

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

En la siguiente Tabla 4.12 aparecen los resultados obtenidos en el laboratorio.

Tabla 4.12 Resultados obtenidos en el laboratorio para las viguetas con refuerzo de bambú (tablilla)

INERCIA = 4218.75 cm ⁴							
C = 7.5 cm							
PRIMERA MUESTRA		SEGUNDA MUESTRA		TERCERA MUESTRA		CUARTA MUESTRA	
MOMENTO	270 kN*cm	MOMENTO	165 kN*cm	MOMENTO	210 kN*cm	MOMENTO	248 kN*cm
Deformación	Esfuerzo	Deformación	Esfuerzo	Deformación	Esfuerzo	Deformación	Esfuerzo
(cm)	(kN/cm ²)	(cm)	(kN/cm ²)	(cm)	(kN/cm ²)	(cm)	(kN/cm ²)
0	0	0	0	0	0	0	0
0.21	0.480	0.19	0.293	0.19	0.373	0.19	0.44

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

Las siguiente Figura 4.18 muestra el esfuerzo versus la deformación de cada una de las viguetas con refuerzo de bambú (tablilla) con los resultados obtenidos del ensayo.

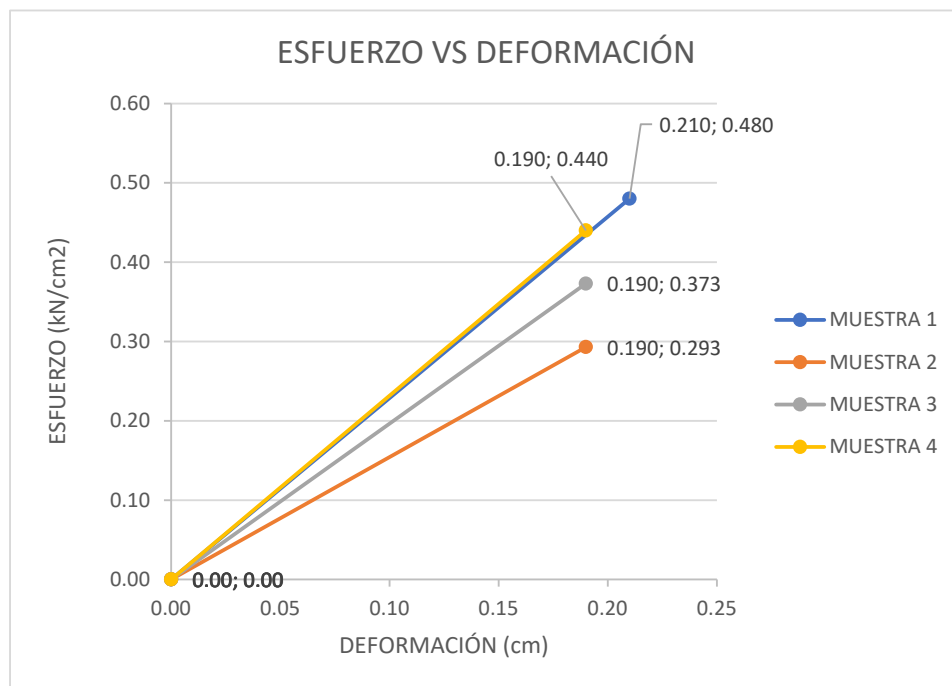


Figura 4.18 Esfuerzo vs deformación de las viguetas con refuerzo de bambú (tablilla)

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

La Figura 4.19 muestra el promedio general de esfuerzo versus deformación de las viguetas de hormigón con refuerzo de bambú (Tablilla). Teniendo como resultado una deformación y un esfuerzo promedio como indica la Tabla 4.13.

Tabla 4.13 Promedio de resultados de viguetas de hormigón con refuerzo de bambú (tablilla)

PROMEDIO	
DEFORMACIÓN	ESFUERZO
(cm)	(kN/cm ²)
0	0
0.20	0.397

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín



Figura 4.19 Esfuerzo vs deformación promedio viguetas de hormigón con refuerzo de bambú (Tablilla)

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

4.1.2.5 Resultados ensayo a flexión viguetas con refuerzo de bambú (trenzado)

A continuación, mediante la Tabla 4.14 se presenta las cargas de rotura de cada muestra con refuerzo de bambú (trenzado).

Tabla 4.14 Resultados ensayos a flexión viguetas con refuerzo de bambú (trenza)

Nº de muestra	Carga de rotura (kN)	Promedio de carga (kN)
1	22	
2	23	
3	21	22
4	22	

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

Las cuatro viguetas con refuerzo de bambú (trenzado) tuvieron un correcto curado, puesto que no se encontraban grietas previas al ensayo como ocurrieron con las muestras de tablilla como refuerzo. El trenzado de bambú ayuda a tener una mayor adherencia y también a no tener problemas de agrietamiento. Después de ser ensayados los cuatro especímenes presentaron agrietamientos como se muestran en la Figura 4.20, en las cuales se observan grietas verticales en el centro. Como resultado se obtuvo una fuerza promedio de carga de rotura de 22 kN.



Figura 4.20 Fallas presentadas en muestra de refuerzo bambú (trenza)

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

En la siguiente Tabla 4.15 aparecen los resultados obtenidos en el laboratorio.

Tabla 4.15 Resultados obtenidos en el laboratorio para las viguetas con refuerzo de bambú (Trenzado)

INERCIA = 4218.75 cm ⁴							
C = 7.5 cm							
PRIMERA MUESTRA		SEGUNDA MUESTRA		TERCERA MUESTRA		CUARTA MUESTRA	
MOMENTO	165 kN*cm	MOMENTO	173 kN*cm	MOMENTO	158 kN*cm	MOMENTO	165 kN*cm
Deformación	Esfuerzo	Deformación	Esfuerzo	Deformación	Esfuerzo	Deformación	Esfuerzo
(cm)	(kN/cm ²)	(cm)	(kN/cm ²)	(cm)	(kN/cm ²)	(cm)	(kN/cm ²)
0	0	0	0	0	0	0	0
0.14	0.293	0.14	0.310	0.11	0.28	0.13	0.293

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

Las siguiente Figura 4.21 muestra el esfuerzo versus la deformación de cada una de las viguetas con refuerzo de bambú (trenzado) con los resultados obtenidos del ensayo.

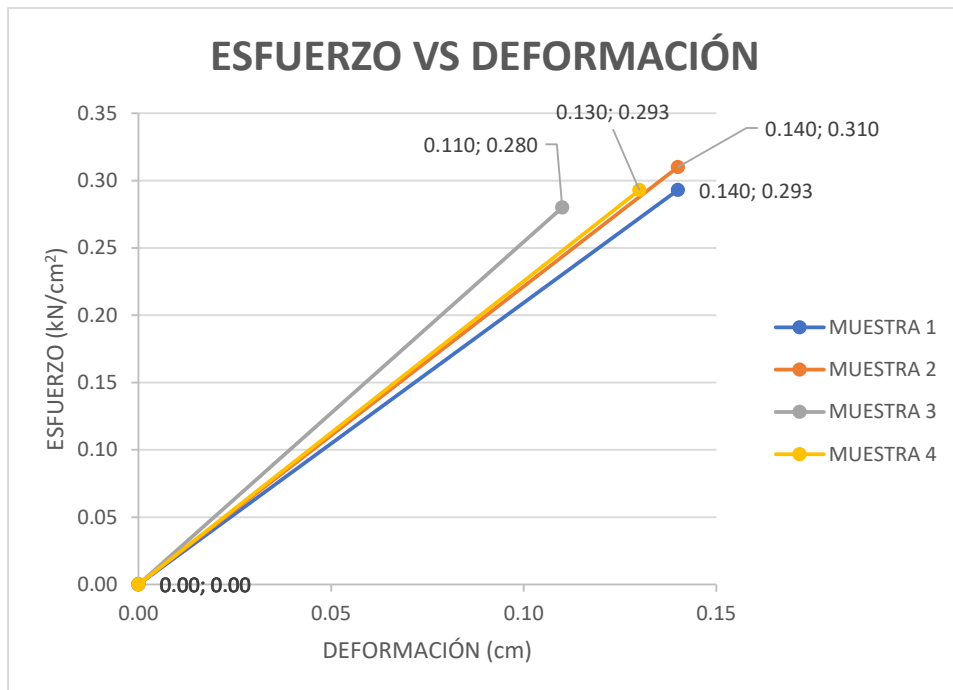


Figura 4.21 Esfuerzo vs deformación de las viguetas con refuerzo de bambú (trenzado)

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

La Figura 4.22 muestra el promedio general de esfuerzo versus deformación de las viguetas de hormigón con refuerzo de bambú (trenzado). Teniendo como resultado una deformación y un esfuerzo promedio como indica la Tabla 4.16.

Tabla 4.16 Promedio de resultados de viguetas de hormigón con refuerzo de bambú (trenzado)

PROMEDIO	
DEFORMACIÓN (cm)	ESFUERZO (kN/cm ²)
0	0
0.13	0.293

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

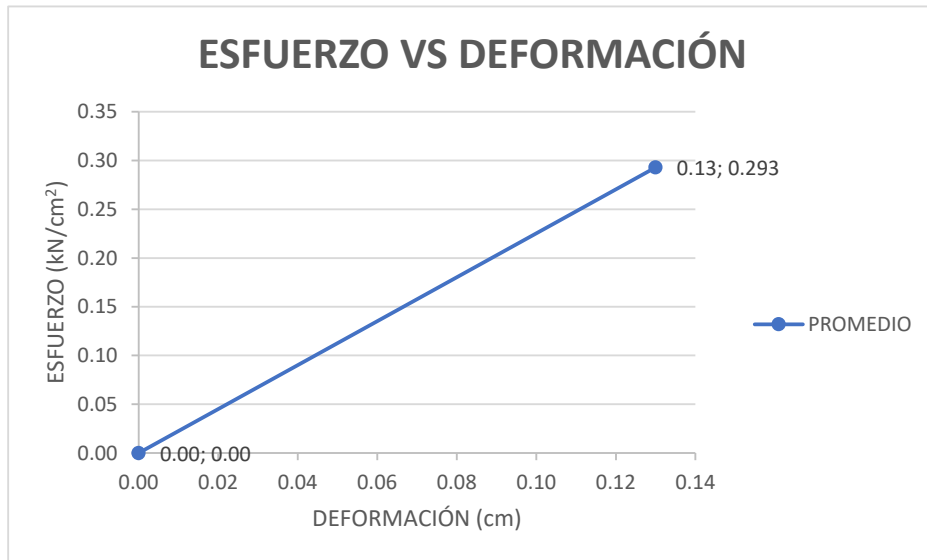


Figura 4.22 Esfuerzo vs deformación promedio viguetas de hormigón con refuerzo de bambú (trenzado)

Fuente: Elaboración propia Bernal-Jarrín

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Con los resultados obtenidos en laboratorio, se puede realizar las comparaciones de esfuerzo y deformación para cada tipo de vigueta, donde, tenemos una mayor resistencia a la flexión de parte de la vigueta con acero como refuerzo, no obstante, la vigueta con refuerzo mixto no se aleja tanto de la vigueta de acero como refuerzo, debido a que las dos varillas de acero son las que están soportando los esfuerzos de tracción generados por la flexión.
- Por otro lado, la vigueta de hormigón sin refuerzo tiene una resistencia y similar a las viguetas con bambú como refuerzo (trenzado), tal como indican los resultados de esfuerzo promedio de la Tabla 4.4 y la Tabla 4.16, hay que resaltar, que el bambú en este caso ayuda a que las viguetas continúen resistiendo un poco más de carga antes de partirse por la mitad.
- Al comparar los resultados del bambú como refuerzo en forma de tablilla con el trenzado podemos decir que, aplicándolo de la primera forma se obtiene una mayor resistencia y deformación como se puede apreciar en las tablas promedio Tabla 4.13 y Tabla 4.16, sin embargo, el trenzado es la mejor opción para solucionar los problemas de adherencia.
- De los incisos anteriores podemos concluir que el acero es el material que genera la resistencia tanto en las viguetas con armadura de acero y las viguetas con refuerzo mixto, por otro lado, el bambú en forma de tablilla y trenzado aporta lo mismo que el hormigón en cuanto a los esfuerzos de flexión, por lo tanto, podemos afirmar que el bambú cuando trabaja como refuerzo no presenta una ayuda significativa para el hormigón, sino que todo el trabajo lo está realizando el acero.
- Uno de los principales problemas que tiene el bambú es que al ser un material orgánico que necesita de agua para su crecimiento, este tiende a absorber el agua en la etapa de curado del hormigón, por lo que agrietará las estructuras fabricadas al adquirir mayor dimensión absorbiendo el agua, si se lo coloca en forma de tablillas este problema es mayor.

- Si comparamos una vigueta solo de hormigón con una que contenga bambú podemos decir que esta última presenta una ventaja y es que a pesar de agrietarse al mismo tiempo que una vigueta solo de hormigón esta puede seguir soportando carga antes de romperse a la mitad, en los ensayos realizados se pudo observar que soporta aproximadamente 12 kN más antes de quebrarse completamente, la imagen se muestra como anexo 5.1.9.

Recomendaciones

- El trabajo necesario para que el acero esté en condiciones de ser colocado como refuerzo es mucho más simple de lograr, que el proceso que requiere el bambú para obtener las tablillas o trenzas para colocarlas como material de refuerzo, esto se debe a que el bambú es muy complicado de cortar en el sentido vertical debido a los nudos que este presenta, es complicado obtener la fibra debido a que no toda sale de la misma dimensión por lo que se debe cortar bastante material antes de obtener las fibras necesarias para realizar el trenzado de refuerzo, mientras que, el acero se corta, dobla y está listo para su uso.
- Para una ciudad como Cuenca es complicado obtener el bambú verde que presente las condiciones ideales para obtener la fibra, si se desea realizar trabajos con este material debe ser en lugares de la costa y la amazonia donde el material sea propio del sitio y se pueda obtener un bambú verde de manera inmediata.
- En caso de seguir trabajando con este material, lo recomendable sería buscar otras maneras de colocarlo ya sea en cantidad o en forma (trenzado, tablilla) para seguir analizando si de alguna manera se puede trabajar en conjunto con el acero debido a que reemplazarlo completamente sería algo muy difícil de lograr.
- Utilizar un bambú joven si se desea obtener la fibra, después de realizados los trenzados, dejar secar el material antes de intentar usarlo como refuerzo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(s.f.).

Añazco, M. (Abril de 2013). ESTUDIO DE VULNERABILIDAD DEL BAMBÚ (*Guadua angustifolia*) AL CAMBIO CLIMÁTICO en la costa del Ecuador y norte Perú. Quito, Ecuador.

Echezuría, H. (2018). El Bambú como Recurso Sustentable para Construcción . *Tekhné*, 21(2), 052-068. doi:/10.26495/tzh.v12i1.1264.

Gómez, H., Rodríguez, S., & Ramal, R. (2020). EL BAMBÚ: UNA SOLUCIÓN ECOLÓGICA SUSTENTABLE COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN. *Tzhoecoén*, 12(2), 253-262. doi: 10.26495/tzh.v12i1.1264. doi:10.26495/tzh.v12i1.1264

González Salcedo, L. O. (2001). *Uso del bambú en el concreto reforzado*. Valle del Cauca: Universidad Nacional de Colombia SEDE PALMIRA. Obtenido de <http://www.uneditorial.net/uflip/Uso-del-bambu-en-el-concreto-reforzado/pubData/source/Uso-del-bambu-en-el-concreto-reforzado.pdf>

Hernandez, J. R. (2010). *Tecnología del Concreto Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas*. Bogotá: ASOCRETO.

Hidalgo, O. (1978). *Nuevas técnicas de construcción con bambú*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Hidalgo, O. (1981). *Manual de construcción con bambú*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Centro de investigación de bambú y madera CIBAM.

McCormac, J. C., & Brown, R. H. (2011). *Diseño de Concreto reforzado*. México: ACI 318-08, Alfaomega.

Mendoza , J. A., & Rosales, J. N. (2014). *Uso de la caña guadua en la vivienda modular*. Cuenca: Universidad de cuenca facultad de arquitectura y urbanismo. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/5218>

Mercedes, J. (2006). *Guía Técnica Cultivo del Bambú*. Santo Domingo: Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal, Inc (CEDAF). Obtenido de <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/39256740/BAMBU-with-cover-page-v2.PDF?Expires=1630894355&Signature=FcEzBw->

peYH1xDdT8vKNcYT92nx-
mWKAwEhkeOwP44JYfn7XxXgoAXFJuTTrv2UkmcLKqB~dXoCjpTdoa3
0cysQNaaTE8S2mPlepa52Kc6xmzFrzY08Wc1SFRCa8iC1BpuTIntMvjhBS
wG9WXS7dG

Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015). *ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO NEC-SE-HM*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-HM-Hormig%C3%B3n-Armado.pdf>

Pantoja , N. H., & Acuña, D. F. (2004). Comportamiento estructural de la guadua angustifolia. Uniones en guadua. *Ingeniería e Investigación Universidad Nacional de Colombia*, 3-7. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/643/64324201.pdf>

Romo Proaño, M. (2008). *Temas de Hormigón Armado*. Quito: Escuela Politécnica del Ejército.

Suárez, A. M. (2011). *PROPUESTA DE LA TEORÍA DE LA FLUENCIA PARA EL DISEÑO DE CONEXIONES DE GUADUA ROLLIZA*. BOGOTÁ: UNIVERSIDAD DE LOS ANDES FACULTAD DE INGENIERÍA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL. Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/14645/u442970.pdf?sequence=1>

Tensolite. (19 de Octubre de 2020). Manual para la construcción de losas alivianadas de viguetas pretensadas.

Torres, B., Segarra, M., & Bragança, L. (2019). El bambú como alternativa de. *Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica*, 5, 389 - 400. doi: 10.30972/eitt.503787.

Uribe Vallejo, M., & Durán Contreras, A. (2002). *ESTUDIO DE ELEMENTOS SOLICITADOS A COMPRESIÓN ARMADOS POR TRES GUADUAS*. BOGOTÁ, COLOMBIA: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Obtenido de

https://www.usmp.edu.pe/centro_bambu_peru/pdf/Compresion_Armados_por_tres_guaduas.pdf

ANEXOS

5.1.1 Elaboración de las diferentes armaduras utilizadas

5.1.2 Corte, doblado y elaboración de las armaduras de acero



5.1.3 Elaboración de las armaduras mixtas



5.1.4 Trenzado de la fibra de bambú



5.1.5 Elaboración de la armadura de bambú (tablilla)



5.1.6 Proceso de curado de las viguetas y muestras cilíndricas



5.1.7 Ensayos de laboratorio con los diferentes tipos de vigueta



5.1.8 Rotura y agrietamiento de las vigas



5.1.9 Muestra número 4 con bambú de refuerzo (trenzado)

- La muestra numero 4 resistió 12 kN adicionales al culminar el ensayo hasta romperse como se observa.



5.1.10 Análisis de precios unitarios de las viguetas ensayadas en el laboratorio

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS	
RUBRO:	UNIDAD:
4 VIGUETAS DE HORMIGON SIN REFUERZO	U

EQUIPOS					
Descripcion	Cantidad	Tarifa	Costo hora	rendimiento	Costo
Herramienta menor	1.0000	0.80	0.80	1.0000	0.80
Subtotal					0.80

MANO DE OBRA					
Descripcion (categoria)	Cantidad	Jornada/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
Subtotal					0.00

MATERIALES				
Descripcion (categoria)	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo
Hormigon fc 240	m3	0.0540	111.82	6.04
Subtotal				6.04

TRANSPORTE				
Descripcion (categoria)	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo
Subtotal				0.00

Total costo directo	6.84
Indirectos y utilidades 20%	0.00
Costo total del rubro	6.84
Valor ofertado	6.84

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS	
RUBRO:	UNIDAD:
4 VIGUETAS DE HORMIGON CON REFUERZO DE ACERO	U

EQUIPOS					
Descripcion	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor	1.0000	0.80	0.80	1.0000	0.80
Subtotal					0.80

MANO DE OBRA					
Descripcion (categoria)	Cantidad	Jornada/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
Subtotal					0.00

MATERIALES				
Descripcion (categoria)	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo
Hormigon fc 240	m3	0.0540	111.82	6.04
Varilla acero Ø10mm x 12mts	u	1.00	9.59	9.59
Varilla acero Ø5.5mm x 5.9 mts	u	1.00	1.64	1.64
alambre galvanizado#8 4.20mts	u	0.143	2.54	0.36
Subtotal				17.63

TRANSPORTE				
Descripcion (categoria)	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo
Subtotal				0.00

Total costo directo	18.43
Indirectos y utilidades 20%	0.00
Costo total del rubro	18.43
Valor ofertado	18.43

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS	
RUBRO:	UNIDAD:
4 VIGUETAS DE HORMIGON CON ACERO Y BAMBÚ COMO REFUERZO	U

EQUIPOS					
Descripcion	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor	1.0000	0.80	0.80	1.0000	0.80
Subtotal					0.80

MANO DE OBRA					
Descripcion (categoria)	Cantidad	Jornada/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
Subtotal					0.00

MATERIALES				
Descripcion (categoria)	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo
Hormigon fc 240	m3	0.0540	111.82	6.04
Varilla acero Ø10mm x 12mts	u	0.50	9.59	4.80
Varilla acero Ø5.5mm x 5.9 mts	u	1.00	1.64	1.64
alambre galvanizado#8 4.20mts	u	0.143	2.54	0.36
Bambú 6mts	u	0.33	4	1.33
Subtotal				14.17

TRANSPORTE				
Descripcion (categoria)	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo
Subtotal				0.00

Total costo directo	14.97
Indirectos y utilidades 20%	0.00
Costo total del rubro	14.97
Valor ofertado	14.97

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS	
RUBRO:	UNIDAD:
8 VIGUETAS DE HORMIGON CON BAMBÚ COMO REFUERZO	U

EQUIPOS					
Descripcion	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor	1.0000	0.80	0.80	1.0000	0.80
Subtotal					0.80

MANO DE OBRA					
Descripcion	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
Subtotal					0.00

MATERIALES				
Descripcion (categoria)	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo
Hormigon fc 240	m3	0.1080	111.82	12.08
alambre galvanizado#8 4.20mts	u	0.143	2.54	0.36
Bambú esterilla 6mts	u	0.66	4	2.64
Subtotal				15.08

TRANSPORTE				
Descripcion (categoria)	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo
Subtotal				0.00

Total costo directo	15.88
Indirectos y utilidades 20%	0.00
Costo total del rubro	15.88
Valor ofertado	15.88

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS	
RUBRO:	UNIDAD:
HORMIGON Fc 240	m3

EQUIPOS					
Descripcion	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Horas uso	Costo
Concretera	1.0000	3.13	3.13	1.0000	3.13
Subtotal					3.13

MANO DE OBRA					
Descripcion (categoria)	Cantidad	Jornada/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
Subtotal					0.00

MATERIALES				
Descripcion (categoria)	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo
Cemento portland 50kg	saco	8.3000	8.5	70.55
agua	lts	207.50	0.05	10.38
arido fino (arena gruesa)	m3	0.488	22.00	10.74
arido grueso (3/4")	m3	0.774	22.00	17.03
Subtotal				108.69

TRANSPORTE				
Descripcion (categoria)	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo
Subtotal				0.00

Total costo directo	111.82
Indirectos y utilidades 20%	0.00
Costo total del rubro	111.82
Valor ofertado	111.82